پرلمان

فیزیک برای سرگرمی

بنگاه نشریات «میر»
مسکو

پرلمان

فیزیک برای سرگرمی

بنگاه نشریات «میر»
مسکو

فهرست

از پیشگفتار مؤلف برای چاپ سیزدهم ۱۰
فصل اول. سرعت. جمع حرکت‌ها ۱۲
ما با چه سرعتی حرکت میکنیم؟ ۱۲
در تعاقب زمان ۱۵
یک هزارم ثانیه ۱۵
ذره‌بین زمان ۱۸
کی ما سریعتر بدور خورشید میگردیم — روز یا شب؟ ۱۸
معمای چرخ گاری ۲۰
کندحرکت‌ترین قسمت چرخ ۲۱
این مسأله شوخی نیست ۲۱
قایق از کجا حرکت کرده است؟ ۲۳
فصل دوم. ثقل و وزن. اهرم. فشار ۲۵
برخیزید! ۲۵
قدم و دو ۲۸
از واگن در حال حرکت چطور باید پرید؟ ۳۰
گرفتن گلوله جنگی با دست در هوا ۳۱
هندوانه — بمب ۳۲
روی کفه قپان فرنگی ۳۴
اجسام کجا سنگین‌تر هستند؟ ۳۵
جسم در حال سقوط چقدر وزن دارد؟ ۳۶
سفر به ماه ۳۸
ژول ورن چطور مسافرت به ماه را توصیف کرده است و این مسافرت چگونه میبایست صورت بگیرد ۳۹
درست وزن کردن با ترازوئی که درست نیست ۴۲
نیرومندتر از خویش ۴۳

چرا اشیاء نوک‌تیز بآسانی فرو میروند؟ ۴۴
مانند لویاتان ۴۵
فصل سوم. مقاومت محیط ۴۷
گلوله و هوا ۴۷
تیراندازی با برد فوق‌العاده زیاد ۴۸
چرا بادبادک کاغذی به هوا بلند میشود؟ ۴۹
هواسرهای زنده ۵۰
پرواز بدون موتور برخی از گیاهان ۵۱
پرش طولانی چترباز ۵۲
بومرانگ ۵۳
فصل چهارم. چرخش. «محرک‌های دائمی» ۵۵
چگونه میتوان تخم مرغ پخته را از تخم مرغ خام تمیز داد؟ ۵۵
«چرخ خنده» ۵۶
گردبادهای جوهری ۵۷
گیاه فریب خورده ۵۸
«محرک‌های دائمی» ۵۹
«گیر کوچک» ۶۱
«نیروی عمده در گلوله‌ها است» ۶۲
آکومولاتور اوفیمتسف ۶۴
«معجزه است و معجزه نیست» ۶۴
باز هم «محرک‌های دائمی» ۶۵
«محرک دائمی» دوران پتر اول ۶۶
فصل پنجم. خصوصیات مایعات و گازها ۷۰
مسأله دو کتری ۷۰
مردمان دوران باستان چه چیز را نمیدانستند ۷۰
مایعات به بالا فشار می‌آورند! ۷۱
کدام یک سنگین‌تر است؟ ۷۳
شکل طبیعی مایعات ۷۳
چرا ساچمه گرد است؟ ۷۵
جامی که مانند چاه ویل «هر چه در آن بریزی جا میگیرد» ۷۶
ویژگی جالب و عجیب نفت سفید ۷۷
سکه‌ای که زیر آب نمیرود ۷۸
آب در غربال ۷۹
کف در خدمت تکنیک ۸۰
محرک «دائمی» خیالی ۸۱

حباب صابون ۸۳
نازک‌ترین چیز چیست؟ ۸۷
بدون تر کردن انگشت از آب ۸۷
چطور ما می‌نوشیم؟ ۸۸
قیف خوب ۸۸
یک تن چوب و یک تن آهن ۸۹
آدمی که هیچ وزن ندارد ۸۹
ساعت با کوک «دائمی» ۹۳
فصل ششم. پدیده‌های حرارتی ۹۶
چه وقت راه آهن اکتیابرسکایا درازتر است، تابستان یا زمستان؟ ۹۶
دزدی بدون کیفر ۹۷
ارتفاع برج ایفل ۹۸
از استکان چای تا لوله ترازنما ۹۸
افسانه چکمه در حمام ۱۰۰
چگونه معجزه‌ها صورت میگرفتند ۱۰۱
ساعت بی کوک ۱۰۲
سیگار آموزنده ۱۰۵
یخی که در آب جوش آب نمیشود ۱۰۵
روی یخ یا زیر یخ ۱۰۶
چرا از پنجره بسته باد میوزد؟ ۱۰۶
فرفره اسرارآمیز ۱۰۷
آیا پوستین گرم میکند؟ ۱۰۸
چه فصلی از سال زیر پای ماست؟ ۱۰۸
قابلمه کاغذی ۱۰۹
چرا یخ لیز است؟ ۱۱۱
مسأله قندیل یخ ۱۱۲
فصل هفتم. اشعه نور ۱۱۴
سایه‌های گرفته شده ۱۱۴
جوجه در درون تخم مرغ ۱۱۶
عکس‌های کاریکاتورمانند ۱۱۷
مسأله طلوع خورشید ۱۱۸
فصل هشتم. انعکاس و انکسار نور ۱۲۰
دیدن از پشت دیوار ۱۲۰
سر «بریده‌ای» که سخن میگوید ۱۲۲
در جلو یا در عقب؟ ۱۲۳

آیا میشود آئینه را دید؟ ۱۲۳
وقتی در آئینه نگاه میکنیم، که را می‌بینیم؟ ۱۲۳
نقاشی جلو آئینه ۱۲۴
کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه ۱۲۵
پرواز کلاغ ۱۲۶
دانستنی‌های تازه و کهنه در باره گل‌نما ۱۲۷
کاخ های اوهام و سراب ۱۲۹
چرا و چگونه نور منکسر میشود؟ ۱۳۱
چه وقت راه دراز زودتر از راه کوتاه پیموده میشود؟ ۱۳۳
رابینسون‌های تازه ۱۳۶
چطور میشود با یخ آتش روشن کرد؟ ۱۳۸
به کمک اشعهٔ خورشید ۱۴۱
دانستنی‌های کهنه و نو در باره سراب ۱۴۲
«شعاع سبز» ۱۴۵
فصل نهم. دیدن با یک چشم و با دو چشم ۱۴۹
وقتی عکس نبود ۱۴۹
چه چیز را بسیاری از اشخاص بلد نیستند؟ ۱۵۰
هنر تماشا کردن عکس ۱۵۱
عکس را در چه فاصله‌ای باید نگاه داشت؟ ۱۵۱
تأثیر عجیب ذره‌بین ۱۵۲
بزرگ کردن عکس‌ها ۱۵۳
بهترین جا در سینما ۱۵۴
اندرزی به خوانندگان مجلات مصور ۱۵۵
تماشای تابلوها ۱۵۵
استریوسکوپ چیست؟ ۱۵۶
استریوسکوپ طبیعی ما ۱۵۷
با یک چشم و با دو چشم ۱۶۰
طریقه ساده کشف چیزهای جعلی ۱۶۲
دید غولان ۱۶۲
جهان در استریوسکوپ ۱۶۴
دید با سه چشم ۱۶۵
درخشندگی چیست ۱۶۶
دید هنگام حرکت سریع ۱۶۷
از پشت عینک رنگی ۱۶۹
«معجزات سایه‌ها» ۱۶۹

تغییر غیر منتظره رنگ‌ها ۱۷۰
بلندی کتاب ۱۷۱
اندازه ساعت مناره ۱۷۲
سیاه و سفید ۱۷۳
کدام حرف سیاه‌تر است؟ ۱۷٤
تصاویر زنده ۱۷۵
سایر انواع خطای حس باصره ۱۷٦
اشخاص نزدیک‌بین چگونه می‌بینند؟ ۱۷۹
فصل دهم. صوت و شنوائی ۱۸۲
چگونه باید پژواک را جستجو کرد؟ ۱۸۲
صوت بجای نوار اندازه‌گیری ۱۸۵
آئینه‌های صوتی ۱۸٦
اصوات در تالار تاتر ۱۸۷
پژواک از کف دریا ۱۸۸
وزوز حشرات ۱۸۹
خطاهای حس سامعه ۱۹۰
ملخ کجا جیر جیر میکند؟ ۱۹۰
شگفتی‌های حس سامعه ۱۹۲
« معجزات وانتریلوکی » ۱۹۲

خوانندگان گرامی!

بنگاه نشریات « میر » خواهشمند است نظریات خود را در باره این کتاب و ترجمه و چاپ آن و نیز سایر نظریات و پیشنهادهای خود را برای ما بفرستید.

بنگاه نشریات « میر » کتاب‌های علمی و برخی کتاب‌های دیگر را به بسیاری از زبان‌های جهان، از جمله به زبان فارسی، ترجمه و منتشر میکند. شما میتوانید اطلاعات لازم در باره این کتاب‌ها را از راهنماهای کتابی که همه‌ساله از طرف بنگاه ما انتشار می‌یابد، به دست آورید.

خواهشمند است نظریات و پیشنهادهای خود را به نشانی‌های زیر بفرستید

« میر »، پروی ریژسکی ۲، مسکو ، اتحاد شوروی

یا « مژکنیگا »، گ — ۲۰۰ مسکو، اتحاد شوروی

اداره بازرگانی خارجی سراسر شوروی « مژدونارودنایا کنیگا » در ایران نیز نمایندگی دارد.

از پیشگفتار مؤلف برای چاپ سیزدهم

مؤلف در این کتاب کمتر به شرح و بیان مطلب تازه پرداخته، بلکه بیشتر کوشیده است به خوانندگان گرامی کمک کند تا «آنچه را که میدانند، بدانند»، یعنی آن مقدار معلومات اساسی و ساده‌ای را که در رشته فیزیک دارند، عمیق‌تر کنند و به آن جان تازه‌ای ببخشند، به آنها بیاموزد و آنها را برانگیزد تا این معلومات را آگاهانه و همه‌جانبه بکار برند. برای نیل به این هدف یک سلسله معماهای گوناگون، مطالب پیچیده و بغرنج، حکایت‌های سرگرم‌کننده، مسائل جالب، پارادکس‌ها و تناقضات، مقایسه‌های غیر منتظره در رشته فیزیک که از پدیده‌های زندگی روزمره بوده یا از صفحات حکایت‌ها و رمان‌های علمی و تخیلی معروف اقتباس گردیده، مورد بررسی قرار گرفته است. مؤلف بر آنستکه مطالب حکایت‌ها و رمان‌های علمی و تخیلی با هدف‌های تدوین کتاب بیشتر توافق دارد و بهمین دلیل اینگونه مطالب را بطور بسیار وسیعی مورد استفاده قرار داده و قطعاتی از رمان‌ها و حکایت‌های ژول ورن، ولس، مارک تواین و دیگر نویسندگان را آورده است. آزمایش‌های تخیلی که در این داستان‌ها توصیف شده، علاوه بر اینکه جالب و فریبنده هستند، میتوانند هنگام تدریس، بعنوان نمونه‌ها و مثال‌های زنده، نقش بزرگی بازی کنند.

مؤلف کوشیده است، در حدود امکان، مطالب فیزیکی را به صورت جالب و فریبا و دلچسبی بیان و توصیف کند. در اینجا آن حقیقت بدیهی روانشناسی ملاک عمل قرار گرفته است که علاقه به موضوع سبب افزایش دقت و سهولت درک مطلب میشود و بنا بر این به فرا گرفتن آگاهانه و عمیق مطالب کمک میکند.

در «فیزیک برای سرگرمی»، برخلاف آنچه در اینگونه کتاب‌ها معمول است، به آزمایش‌های فیزیکی تعجب‌آور که تأثیرات شدید می‌بخشند، جای بسیار کمی داده شده است. منظور از تدوین این کتاب با کتاب‌هائی که بمنظور آزمایش‌های فیزیکی تدوین میشود، تفاوت دارد. منظور عمده از تدوین کتاب «فیزیک برای سرگرمی» اینستکه فعالیت تصور علمی خوانندگان را برانگیزد، شیوه تفکر با روح علم فیزیک را به آنان بیاموزد و ارتباطات متعدد معلومات فیزیکی را با انواع گوناگون پدیده‌های زندگی روزمره و تمام چیزهائی که معمولا با آن تماس پیدا میکنند، در حافظه خوانندگان بوجود آورد. روشی را که مؤلف کوشیده است در تدوین کتاب بکار ببندد، ولادیمیر ایلیچ لنین بشرح زیر بیان کرده است: «نویسنده‌ای که برای عامه مردم مینویسد، ساده‌ترین مطالب معلوم برای همه را مبدأ قرار میدهد، به کمک استدلالات ساده و مثال‌های مناسب از این مطالب به نتایج عمده میرسد، خواننده متفکر را وامیدارد تا در باره مطالب تازه و تازه‌تر بیاندیشد و بدینوسیله خواننده را به فکر عمیق و

آموزش عمیق نزدیک میکند. نویسنده‌ای که برای عامه مردم مینویسد، خواننده‌ای را که فکر نمیکند و نمیخواهد یا نمیتواند فکر کند، در نظر نمیگیرد، برعکس در نظر میگیرد که خواننده کم معلومات قصد جدی دارد مغزش را بکار بیاندازد و به او کمک میکند تا این کار جدی و دشوار را انجام دهد، او را راهنمائی میکند، و به او کمک میکند تا نخستین گام‌ها را بردارد و می‌آموزد تا پس از آن مستقلا به پیش رود.» *

از آنجا که خوانندگان به دانستن تاریخچه این کتاب اظهار علاقه کرده‌اند، شمه‌ای از تاریخچه تدوین آن را به اطلاع آنان میرسانیم.

کتاب «فیزیک برای سرگرمی» نیم قرن پیش تدوین شده و نخستین کتاب از مجموعه آثار مؤلف است که اکنون تعداد آنها به دهها کتاب رسیده است.

بطوری که نامه‌های خوانندگان گواهی میدهد، کتاب «فیزیک برای سرگرمی» سعادت آن را یافته است که در دورافتاده‌ترین نقاط اتحاد شوروی مورد مطالعه قرار گیرد.

پخش وسیع کتاب که گواه بر علاقه وافر توده‌های وسیع به کسب معلومات در رشته فیزیک میباشد، مؤلف را بر مسئولیت خطیری که در بهبود مطالب کتاب بر عهده دارد، آگاه میسازد. درک این مسئولیت مؤلف را بر آن داشته است تا در چاپ‌های مکرر «فیزیک برای سرگرمی» در متن کتاب تغییرات زیادی بدهد و آن‌را تکمیل کند. میتوان گفت که این کتاب در تمام طول ۲۰ سال وجود آن نوشته میشده است. در آخرین چاپ از متن چاپ اول فقط نیمی باقی مانده و از مثال‌ها و تصویرها تقریباً هیچ چیز باقی نمانده است.

برخی از خوانندگان به مؤلف مراجعه و خواهش کرده‌اند که از تجدید نظر و حک و اصلاح متن صرف نظر کند تا آنها مجبور نشوند «برای ده دوازده صفحه تازه، هر چاپ مجدد کتاب‌را بخرند». اینگونه نظرها بهیجوجه مؤلف‌را از موظف بودن به بهبود همه‌جانبهٔ کتاب آزاد نمیکند. «فیزیک برای سرگرمی» یک کتاب ادبی نیست، بلکه کتابی است علمی، البته به زبان ساده و عامه‌فهم. حتی اصول اولیهٔ علم مورد بحث در این کتاب، یعنی فیزیک، بطور مداوم با مطالب تازه غنی میگردد و باید این مطالب را بطور متناوب در کتاب گنجاند.

از سوی دیگر، اغلب مؤلف را مورد سرزنش قرار میدهند که موضوعهائی از قبیل تازه‌ترین دست‌آوردهای رادیوتکنیک، شکافتن هستهٔ اتم، تئوری‌های معاصر فیزیک و امثال آن را در کتاب نمی‌گنجاند. اینگونه سرزنش‌ها نتیجهٔ سوء تفاهم است. کتاب «فیزیک برای سرگرمی» به منظور کاملا معینی تدوین شده است. طرح و بررسی اینگونه مسائل وظیفهٔ تألیفات دیگر است.

علاوه بر کتاب دوم «فیزیک برای سرگرمی» چند کتاب دیگر مؤلف به «فیزیک برای سرگرمی» مربوط و نزدیک است. یکی از این کتاب‌ها بنام «فیزیک در هر گام» برای خوانندگانی در نظر گرفته شده است که آمادگی نسبتاً کمی دارند و هنوز به آموزش مستقلانه فیزیک نپرداخته‌اند. دو کتاب دیگر، برعکس، برای کسانی در نظر گرفته شده است که آموزش برنامه فیزیک دوره دبیرستان را به پایان رسانیده باشند. این دو کتاب عبارتند از: «مکانیک برای سرگرمی» و «آیا فیزیک میدانید؟». کتاب «آیا فیزیک میدانید؟» در واقع، مکمل و پایان «فیزیک برای سرگرمی» است.

سال ۱۹۳۶.

پرلمان

---

* و. ای. لنین، مجموعه آثار، چاپ ٤، جلد ٥، صفحه ۲۸٥ (روسی).

فصل اول

سرعت. جمع حرکت‌ها

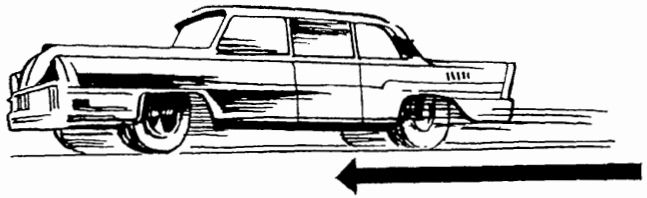
ما با چه سرعتی حرکت میکنیم؟

یک دونده خوب مسافت ۱/۵ کیلومتر را تقریباً در ۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه میدود (رکورد جهانی در سال ۱۹۵۸ معادل ۳ دقیقه و ۳۶/۸ ثانیه بود). برای مقایسه با سرعت معمولی یک نفر پیاده — ۱/۵ متر در ثانیه — باید محاسبه کوچکی کرد، آنوقت معلوم میشود که ورزشکار در هر ثانیه ۷ متر میدود. اما این دو سرعت کاملا با هم قابل مقایسه نیستند، زیرا پیاده میتواند ساعت‌های متوالی حرکت کند و ساعتی ۵ کیلومتر بپیماید، در صورتیکه ورزشکار فقط مدت کمی قادر است سرعت نسبتاً زیاد دو خود را حفظ کند. یک واحد پیاده نظام در هر ثانیه ۲ متر یا در هر ساعت ۷ کیلومتر و اندی، یعنی با سرعت سه بار کمتر از سرعت قهرمان دو، میدود. اما واحد پیاده نظام بر ورزشکار آن برتری‌را دارد که میتواند مسافت‌های بمراتب بیشتری را بپیماید.

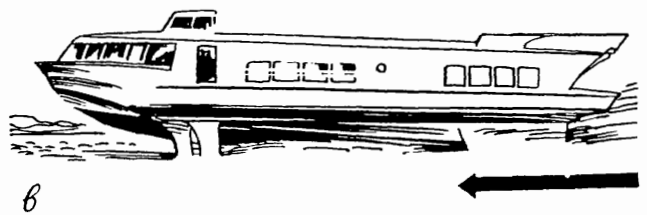
مقایسه راه رفتن معمولی انسان با سرعت جانورانی از قبیل حلزون و لاک‌پشت که در کندحرکت بودن ضرب‌المثل شده‌اند، جالب است. حلزون در هر ثانیه ۱/۵ میلیمتر یا در هر ساعت ۵/٤ متر می‌پیماید، یعنی درست هزار بار آهسته‌تر از انسان حرکت میکند. این امر نشان میدهد که شهرتش در کند حرکت بودن کاملا بجا و بحق است. لاک پشت هم که در کندحرکت بودن شهرت بسزائی دارد، از حلزون چندان سریعتر حرکت نمیکند — سرعت حرکت معمولی لاک‌پشت ۷۰ متر در ساعت است.

اگر حرکت انسان را با سایر حرکت‌های محیط خود، حتی با حرکت‌هائی که سرعت چندان زیادی هم ندارند، مقایسه کنیم، آنوقت انسان که در مقایسه با حلزون و لاک‌پشت چابک و تیزپا بود، بوضع دیگری در برابر ما عرض اندام میکند. البته، انسان از جریان آب بیشتر رودخانه‌های جلگه‌ای جلو می‌افتد و از بادهای نسبتاً ملایم چندان عقب نمیماند. اما انسان فقط با اسکی میتواند با مگس که در هر ثانیه ۵ متر پرواز میکند، موفقانه مسابقه بدهد. از خرگوش و از سگ شکاری حتّی سوار بر اسب و بتاخت هم نمیتواند جلو بزند. انسان فقط با هواپیما میتواند در سرعت با عقاب مسابقهٔ بدهد.

ماشین‌هائی که بشر اختراع کرده به وی امکان داده است تا تندروترین موجود روی زمین باشد.



a



в

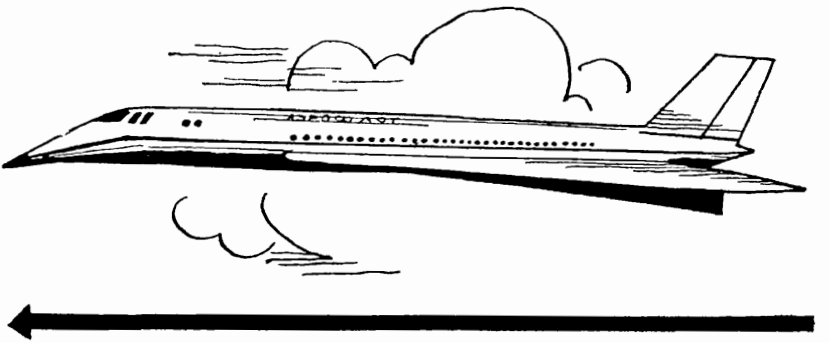
شکل ۱، a — اتومبیل «چایکا»، b — کشتی دیزل با بالهای زیرآبی

چندی پیش در اتحاد شوروی کشتی دیزل با بالهای زیرآبی ساخته شد که سرعت آن به ۶۰ تا ۷۰ کیلومتر در ساعت میرسد. انسان در خشکی سریعتر از آب میتواند حرکت کند. سرعت قطارهای مسافری به ۲۰۰ کیلومتر در ساعت میرسد. اتومبیل‌های سواری میتوانند با سرعت تا ۱۷۰ کیلومتر در ساعت حرکت کنند.

سرعت هواپیماهای معاصر بمراتب بیش از اینهاست. در بسیاری از خطوط هواپیمائی کشوری اتحاد شوروی هواپیماهای با ظرفیت زیاد «تو ۱۰۴»، «تو ۱۱۴»، «تو ۱۳۴»، «تو ۱۴۴» و «تو ۱۵۴» کار میکنند (شکل ۲). سرعت متوسط این هواپیماها در حدود ۸۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر در ساعت میباشد. تا چندی پیش در برابر طراحان هواپیما و مهندسین هواپیماسازی مسأله عبور از «حائل صوت» یعنی گذشتن از سرعت صوت (۳۳۰ متر در ثانیه یا ۱۲۰۰ کیلومتر در ساعت) قرار داشت. اکنون این مسأله حل شده است. سرعت هواپیماهای جت کوچک با موتور قوی به ۳۰۰۰ کیلومتر در ساعت میرسد.

دستگاه‌هائی که بوسیله انسان ساخته شده میتوانند با سرعت بیش از این نیز حرکت کنند. سرعت ماهواره‌هائی که در نزدیک قشرهای متراکم جو پرواز میکنند، در حدود ۸ کیلومتر در ثانیه است. سرعت اولیه دستگاههای فضائی که به سوی سیاره‌های منظومه شمسی پرتاب میشوند، از دومین سرعت کیهانی بیشتر است (در نزدیک زمین ۱۱/۲ کیلومتر در ثانیه).

خوانندگان گرامی میتوانند جدول سرعت‌ها را که در زیر بچاپ رسیده از نظر بگذرانند:



شکل ۲ — هواپیمای جت مسافری «تو ۱٤٤»

حلزون	۱/۰۵	میلی‌متر	در ثانیه	۰/٤ متر در ساعت
لاک‌پشت	۲۰	میلیمتر	در ثانیه	۷۰ » »
ماهی	۱	متر	در ثانیه	۳/٦ کیلومتر در ساعت
پیاده	۱/٤	»	»	۵ » »
اسب سوار — قدم	۱/۷	»	»	٦ » »
» یورتمه	۳/۵	»	»	۱۲/٦ » »
مگس	۵	»	»	۱۸ » »
اسکی‌باز	۵	»	»	۱۸ » »
اسب سوار — چهار نعل	۸/۵	»	»	۳۰ » »
کشتی دیزل با بالهای زیر آبی	۱٦	»	»	۵۸ » »
خرگوش	۱۸	»	»	٦۵ » »
عقاب	۲٤	»	»	۸٦ » »
سگ شکاری	۲۵	»	»	۹۰ » »
قطار راه آهن	۲۸	»	»	۱۰۰ » »
اتوبیل «زیل ۱۱۱»	۵۰	»	»	۱۷۰ » »
اتوبیل کورسی (رکورد)	۱۷٤	»	»	٦۳۳ » »
هواپیمای «تو ۱۰٤»	۲۲۰	»	»	۸۰۰ » »
صوت در هوا	۳۳۰	»	»	۱۲۰۰ » »
هواپیمای جت سبک	۸۵۰	»	»	۳۰۰۰ » »
زمین در مدار خود	۳۰۰۰۰	»	»	۱۰۸۰۰۰ » »

در تعاقب زمان

آیا میشود ساعت هشت صبح با هواپیما از «ولادی وستوک» پرواز کرد و ساعت هشت صبح همان روز به مسکو رسید؟ این سئوال بهیچوجه بیمعنی نیست. بله، میشود. برای درک مفهوم این جواب فقط باید بیاد آورد که تفاوت زمانی میان منطقه ولادی‌وستوک و منطقه مسکو ۹ ساعت است. اگر هواپیما بتواند مسافت میان ولادی‌وستوک و مسکو را در این مدت بپیماید، آنوقت در همان ساعتی که از ولادی‌وستوک پرواز کرده است، به مسکو میرسد.

فاصله میان ولادی‌وستوک و مسکو تقریباً ۹۰۰۰ کیلومتر است. بنا بر این سرعت هواپیما باید معادل $\frac{۹۰۰۰}{۹} = ۱۰۰۰$ کیلومتر در ساعت باشد. این سرعت در شرایط کنونی کاملا امکان‌پذیر است.

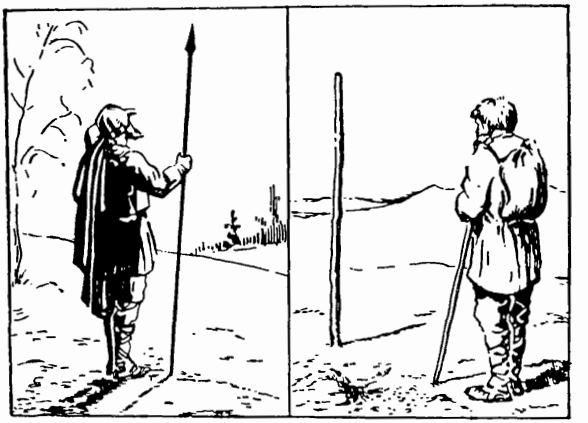
برای «جلو افتادن از خورشید» (یا دقیقتر، از زمین) در مدارهای نواحی قطبی سرعت بمراتب کمتری لازم است. در مدار ۷۷ درجه عرض شمالی (ارض جدید) هواپیما با سرعت ۴۵۰ کیلومتر در ساعت، در زمان معین، میتواند همان مسافتی را بپیماید که یک نقطه روی زمین در همان زمان به دور محور آن میچرخد. برای سرنشین چنین هواپیمائی خورشید از حرکت باز می‌ایستد و در آسمان بیحرکت معلق میماند و به افق باختر نزدیک نمیشود (البته هواپیما باید درسمت مناسب پرواز کند).

«جلو افتادن از ماه» در حرکتش به دور زمین از اینهم آسانتر است. سرعت حرکت ماه به دور زمین تقریباً ۲۹ بار کمتر از سرعت حرکت زمین به دور محور خود میباشد (در اینجا، البته سرعت‌های زاویه‌ای با هم مقایسه میشوند، نه سرعت‌های خطی). بنا بر این یک کشتی معمولی با سرعت ۲۰ — ۳۰ کیلومتر در ساعت میتواند در عرض‌های جغرافیائی متوسط از ماه «جلو بزند».

مارک تواین در یادداشت‌های خود «ساده‌لوحان در خارجه» این پدیده را یاد آور میشود: هنگام عبور ما از اقیانوس اطلس از نیویورک به جزایر آزورس «هوای تابستانی بسیار خوبی بود و شب‌ها حتی از روزها هم بهتر بود. ما ناظر پدیده عجیبی بودیم: ماه هر شب در یک ساعت معین و در نقطه معینی از آسمان طلوع میکرد. علت این روش عجیب و بیسابقه ماه در ابتدا برای ما اسرار آمیز بود، اما بعد پی بردیم که مطلب از چه قرار است: ما در هر ساعت معادل ۲۰ درجه طول جغرافیائی به طرف خاور حرکت میکردیم، یعنی درست با همان سرعتی که از ماه عقب نمانیم».

یک هزارم ثانیه

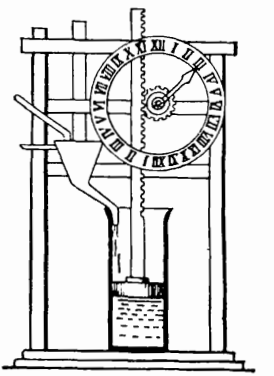
برای ما که عادت کرده‌ایم زمان را با مقیاس انسانی خود اندازه بگیریم، یک هزارم ثانیه مساوی صفر است. فقط از چندی پیش در کارهای ما با اینگونه فاصله‌های زمانی برخورد میشود. هنگامی که وقت را از روی بالا آمدن خورشید یا از روی درازی سایه تعیین میکردند، حتی از وقت تا حدود یک دقیقه نیز نمیتوانست صحبتی باشد (ش ۳). آدم‌ها دقیقه را مدت زمانی ناچیزتر از آن میدانستند که ارزش اندازه گرفتن را داشته باشد. انسانهای باستانی چنان زندگی آرام و بی‌عجله‌ای داشتند که در ساعت‌های آنها — ساعت‌های آفتابی، ساعت‌های آبی و ساعت‌های شنی — حتی تقسیمات خاصی برای دقیقه وجود نداشت (شکل ۴، و). فقط از اوایل قرن ۱۸ میلادی روی صفحهٔ ساعت‌ها عقربهٔ دقیقه شمار پیدا شد. از اوایل قرن ۱۹ عقربهٔ ثانیه شمار نیز پیدا شد.



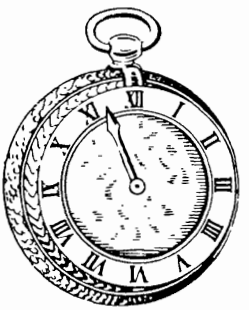
شکل ۳ ــ تعیین وقت از روی محل خورشید (سمت چپ) و از روی سایه (سمت راست).

در یک هزارم ثانیه چه میتواند رخ بدهد؟ خیلی چیزها! قطار در این مدت البته فقط در حدود ۳ سانتیمتر تغییر مکان میدهد، اما صوت ۳۳ سانتیمتر و هواپیما تقریباً نیم متر. زمین در یک هزارم ثانیه در مدار خود به دور خورشید ۳۰ متر و نور در همین مدت ۳۰۰ کیلومتر می‌پیماید.

موجودات کوچکی که ما را احاطه کرده‌اند اگر میتوانستند قضاوت کنند، لابد، یک هزارم ثانیه را مدت ناچیزی نمیشمردند. مثلا برای حشرات این مدت زمان قابل حس است. پشه طی یک ثانیه ۵۰۰ تا ۶۰۰ بار بال میزند، یعنی در یک هزارم ثانیه میتواند بالهایش را بالا ببرد یا پایین بیاورد. انسان قادر نیست اعضای بدن خود را مانند حشرات بسرعت حرکت دهد. سریعترین حرکتی که ما میکنیم بر هم



شکل ٤ ــ ساعت آبی که در دوران باستان بکار میرفت.



شکل ٥ ــ ساعت جیبی قدیمی.

زدن چشم یا «چشم بهم زدن» یا لحظه است. این حرکت بقدری سریع صورت میگیرد که ما حتی متوجه تاریک شدن دایره دید خود نمیشویم. اما عده کمی میدانند که اگر «یک چشم بهم زدن» را که مترادف زبان فوق‌العاده کمی است با واحد یک هزارم ثانیه اندازه بگیریم، آنوقت این حرکت در واقع بحد کافی آهسته صورت میگیرد. بطوری که با اندازه گیریهای دقیق معلوم شده است، «یک چشم بهم زدن» کامل بطور متوسط طی $\frac{۲}{۵}$ ثانیه یا ۴۰۰ هزارم ثانیه صورت میگیرد. این جریان به مراحل زیر تقسیم میشود: پایین آوردن پلک (۷۰ تا ۹۰ هزارم ثانیه)، حالت بیحرکتی پلک پایین آورده شده (۱۳۰ تا ۱۷۰ هزارم ثانیه) و بالاخره بالا بردن پلک (در حدود ۱۷۰ هزارم ثانیه). بطوریکه مشاهده میکنید، «یک چشم بهم زدن» بمعنای واقعی کلمه، مدت نسبتاً قابل ملاحظه‌ای است که طی آن پلک چشم حتی فرصت کمی استراحت نیز پیدا میکند. اگر ما میتوانستیم تأثیراتی را که یک هزارم ثانیه طول میکشد، بطور مجزا حس کنیم، آنوقت در «یک چشم بهم زدن» دو حرکت آرام و یکنواخت پلک چشم را که با یک مدت بیحرکت ماندن پلک از هم جدا میشوند، درک میکردیم.

چنانچه ساختمان سلسله اعصاب ما چنین میبود، جهانی‌را که ما را احاطه کرده است، با دگرگونی غیر قابل شناختی میدیدیم. توصیف مناظر عجیبی را که در آنصورت در برابر دیدگان ما نمودار میشد ولس نویسنده انگلیسی در حکایت «تازه‌ترین تسریع کننده» داده است. قهرمانان حکایت شربت شگفت‌آوری نوشیده بودند که در سلسله اعصاب چنان تأثیر می‌بخشید که جهاز حس ما را مستعد درک مراحل جداگانه حرکت‌های سریع میکرد.

اینک چند جمله از آن حکایت برای مثال در زیر نقل میشود:

«— آیا تا کنون هرگز دیده‌اید که پرده اینجور به پنجره زده شده باشد؟

من به پرده نگاه کردم و دیدم که گوئی پرده خشک شده و گوشه‌اش را که باد بالا زده بود، همانطور مانده است، و گفتم:

— هرگز ندیده‌ام. چیز عجیبی است!

او انگشتانش را که استکان را گرفته بود، از هم باز کرد و گفت:

— این را چطور؟

من منتظر بودم که استکان بیفتد و بشکند، اما استکان حتی تکان هم نخورد، بیحرکت در هوا معلق ماند.

ژیبرن گفت:

— شما، البته، میدانید که جسم وقتی سقوط میکند، در ثانیه اول ۵ متر پائین می‌آید. استکان هم حالا این ۵ متر را میپیماید، اما شما متوجه هستید که هنوز حتی یک صدم ثانیه هم نگذشته است*. این امر میتواند در شما تصوری از قدرت تأثیر «شربت تسریع کننده» من بوجود آورد.

استکان آهسته سقوط میکرد. ژیبرن دستش را به دور استکان و در بالا و زیر آن چرخاند... من از پنجره به بیرون نگاه کردم. یک دوچرخه‌سوار و پشت سرش توده‌ای از گرد و خاک بیحرکت ایستاده بود و داشت به گاری که آنهم حتی یک اینچ حرکت نمیکرد، میرسید.

---

* — بعلاوه باید در نظر داشت که جسم در حال سقوط در نخستین یک‌صدم ثانیه نه یک صدم ۵ متر بلکه (طبق فرمول $S=\frac{gt^۲}{۲}$) یک‌ده هزارم آن مسافت یعنی نیم میلیمتر و در نخستین یک هزارم ثانیه فقط $\frac{۱}{۲۰۰}$ میلیمتر را می‌پیماید.

... کالسکه‌ای که کوچکترین تکانی نمیخورد، توجه مارا جلب کرد. قسمت بالائی چرخ‌ها، پاهای اسب، نوک شلاق و فک پائین درشکه‌چی (او در همان لحظه شروع به دهن‌دره کرده بود) — همه اینها، گرچه آهسته، اما در هر صورت حرکت میکردند. بقیه چیزهائی که در این کالسکه بیقواره وجود داشت، کوچکترین حرکتی نمیکردند. آدم‌هائی که در آن نشسته بودند، درست مانند مجسمه بودند.

... یک نفر درست در همان لحظه‌ای که کوشش‌های مافوق قدرت بشری بکار میبرد تا روزنامه‌ای را جلو باد تا کند، بیحرکت خشکش زده بود. اما آن باد برای ما وجود نداشت.

... تمام آنچه من از لحظهٔ دخول «شربت تسریع کننده» به بدنم اندیشیده و گفته و کرده بودم، برای همهٔ اشخاص دیگر و برای سراسر جهان فقط یک چشم بهم زدن بود».

لابد برای خوانندگان جالب است بدانند حد اقل مدت زمانی را که میتوان با وسائل علمی معاصر اندازه گرفت، چقدر است؟ در اوایل قرن بیستم میلادی این مدت زمان معادل یک ده هزارم ثانیه بود. اما اکنون فزیسین‌ها قادرند در آزمایشگاه‌های خود یک صد میلیاردم ثانیه‌را اندازه بگیرند. این مدت زمان تقریباً به همان اندازه که یک ثانیه از ۳۰۰۰ سال کمتر است، از یک ثانیه تمام کمتر میباشد.

ذره‌بین زمان

وقتی ولس کتاب «تازه‌ترین تسریع کننده» خویش را مینوشت، باحتمال نزدیک بیقین فکر نمیکرد که زمانی چیزی شبیه به آن واقعاً عملی شود. اما ولس زنده ماند و آن زمان را دید. او مناظری را که زمانی نیروی تخیلش تصویر کرده بود، با چشم خود — البته فقط روی پرده سینما — میتوانست مشاهده کند. دستگاهی که «ذره‌بین زمان» نامیده میشود، بسیاری از پدیده‌هائی را که معمولا خیلی سریع روی میدهند، با سرعت کم روی پرده سینما نشان میدهد.

«ذره‌بین زمان» دستگاه فیلمبرداری است که مانند دستگاه‌های فیلمبرداری معمولی در هر ثانیه ۲۴ عکس برنمیدارد، بلکه بمراتب بیشتر از آن برمیدارد. اگر پدیده‌ای را که باین ترتیب فیلمبرداری شده است، با سرعت معمولی ۲۴ کادر در ثانیه روی پرده سینما بیاوریم، آنوقت بینندگان پدیده را از لحاظ زمانی کشیده و ممتد یعنی بهمان اندازه که سریعتر فیلمبرداری شده، آهسته‌تر از جریان معمولی آن خواهند دید. لابد خوانندگان اینگونه پرش‌های آهسته غیر طبیعی و سایر پدیده‌های مصنوعاً کند شده را روی پرده سینما یا صفحه تلویزیون دیده‌اند. بکمک دستگاههای مرکب‌تری از نوع همین دستگاهها میتوان جریان پدیده را بمراتب بیش از این کند کرد و تقریباً همان چیزی را که در حکایت ولس تصویر شده، نشان داد.

کی ما سریعتر بدور خورشید میگردیم — روز یا شب؟

یک بار در روزنامه‌های پاریس اعلانی منتشر شد که در آن وعده داده شده بود به هر کس در برابر پرداخت ۲۰ سانتیم وسیله مسافرت ارزان و در عین حال بدون ذره‌ای خستگی را نشان بدهند. اشخاص زودباوری پیدا شدند که آن ۲۰ سانتیم را فرستادند. هر یک از آنها در جواب، نامه‌ای بمضمون زیر با پست دریافت کرد:

« همشهری، آرام و راحت روی تختخوابتان بمانید و بخاطر بیاورید که زمین ما میگردد. در مدار پاریس — ۴۹ درجه — شما هر شبانه‌روز بیش از ۲۰۰۰۰ کیلومتر می‌پیمائید. اگر مناظر زیبا را دوست دارید، پرده پنجره را بالا بزنید و از تماشای منظره آسمان پرستاره لذت ببرید ».

بسبب این شیرینکاری بجرم کلاهبرداری به دادگاه جلب و به پرداخت جریمه محکوم شد. او پس از استماع رأی دادگاه و پرداخت جریمه، برخاست، قیافه آرتیستی بخود گرفت و با صدای رسا سخنان معروف گالیله را تکرار کرد:

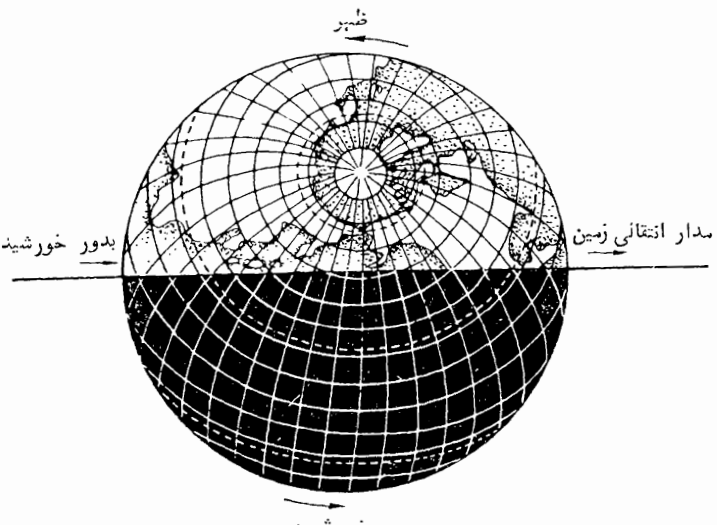
— با همه اینها، زمین میگردد...

آن متهم از جهتی حق داشت، زیرا هر یک از ساکنان کره زمین نه فقط ضمن چرخش زمین به دور محور خود « مسافرت میکند » بلکه زمین در گردش به دور خورشید نیز او را با سرعت باز هم بیشتری با خود میبرد. سیاره ما با تمام ساکنانش در هر ثانیه ۳۰ کیلومتر در فضا نقل مکان میکند و در عین حال به دور محور خود هم میچرخد.

باین مناسبت میتوان سئوال جالبی مطرح کرد: کی ما سریعتر به دور خورشید میگردیم — روز یا شب؟

این سئوال ممکن است باعث تعجب بشود، زیرا همیشه در یک طرف زمین روز و در طرف دیگر شب است. پس سئوال ما چه معنی دارد؟ ظاهراً بیمعنی است.

اما اینطور نیست. زیرا سئوال نمیشود که کی تمام کره زمین سریعتر تغییر مکان میدهد، بلکه سئوال میشود که کی ما ساکنان کره زمین سریعتر در میان ستارگان حرکت میکنیم. و این سئوال بهیچوجه بیمعنی نیست.



شکل ۶ — در نیمی از کره زمین که شب است مردم سریعتر از نیمی که روز است به دور خورشید میگردند.

ما در منظومهٔ شمسی دو حرکت میکنیم: به دور خورشید میگردیم و در عین‌حال به دور محور زمین میچرخیم. این دو حرکت باهم ترکیب میشوند، اما نتیجه‌ای که بدست می‌آید، بسته باینکه ما در نیمهٔ روز یا نیمهٔ شب زمین باشیم، متفاوت است. با یک نگاه به شکل ۶ پی میبرید که نصف شب سرعت چرخش زمین بدور محورش بر سرعت گردش زمین بدور خورشید افزوده میشود، و ظهر بر عکس از آن کم میشود. بنا بر این ما نصف شب سریعتر از ظهر در منظومه شمسی حرکت میکنیم.

از آنجا که نقاط اطراف خط استوا در هر ثانیه در حدود نیم کیلومتر حرکت میکنند، تفاوت میان سرعت ظهر و سرعت شب در حدود یک کیلومتر است. کسانی که هندسه میدانند به آسانی میتوانند حساب کنند که برای لنینگراد (که در مدار ۶۰ درجه واقع است) این تفاوت دو بار کمتر است. اهالی لنینگراد نصف شب هر ثانیه به اندازه نیم کیلومتر بیشتر از ظهر در منظومه شمسی حرکت میکنند*.

معمای چرخ گاری

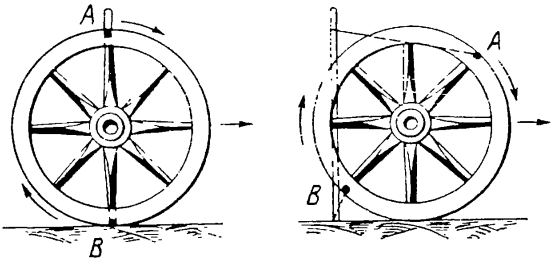
یک تکه کاغذ رنگی از پهلو به چنبر چرخ گاری (یا به لاستیک روئی دوچرخه) بچسبانید و وقتی گاری (یا دوچرخه) حرکت میکند به کاغذ نگاه کنید. پدیده عجیبی خواهید دید: وقتی کاغذ در قسمت پائین چرخ متحرک قرار دارد خیلی واضح و خوب دیده میشود، اما وقتی در قسمت بالای چرخ قرار میگیرد با چنان سرعتی حرکت میکند که شما حتی نمیتوانید آن را ببینید.

چنین برمی‌آید که گویا قسمت بالائی چرخ از قسمت پائینی آن سریعتر حرکت میکند. اگر پره‌های بالائی و پائینی چرخ یک گاری در حال حرکت را باهم مقایسه کنیم، همین پدیده را مشاهده خواهیم کرد. دیده میشود که پره‌های بالائی بهم چسبیده و بصورت واحد یکپارچه‌ای درآمده‌اند، در صورتیکه پره‌های پائینی را جدا از یکدیگر می‌بینیم. باز هم پدیده طوری صورت میگیرد که گویا قسمت بالائی چرخ از قسمت پائینی آن سریعتر حرکت میکند.

این معما را چگونه باید حل کرد و علت این پدیده عجیب را چطور باید توضیح داد؟ خیلی ساده. قسمت بالائی چرخ یک گاری در حال حرکت واقعاً از قسمت پائینی آن سریعتر حرکت میکند. این واقعیت در نظر اول باورنکردنی بنظر می آید، در صورتیکه با کمی تفکر میتوان به صحت آن معتقد شد. زیرا هر نقطه چرخ یک گاری در حال حرکت در آن واحد دو حرکت انجام میدهد: به دور محور میچرخد و در عین حال با محور پیش میرود. همانطور که در مبحث حرکت کره زمین دیدیم این دو حرکت با هم ترکیب میشوند و نتیجهٔ ترکیب برای قسمت بالائی و قسمت پائینی چرخ متفاوت است. در قسمت بالائی، حرکت دورانی چرخ با حرکت انتقالی آن جمع میشود، زیرا هر دو حرکت به یک سمت است. اما در پائین حرکت دورانی در جهت عکس حرکت انتقالی صورت میگیرد و در نتیجه از آن تفریق میشود. باین دلیل استکه قسمت‌های بالائی چرخ از قسمت‌های پائینی آن نسبت به یک ناظر ساکن سریعتر حرکت میکند.

---

*— برای تهران که در مدار ۳۵ درجه قرار دارد، این تفاوت در حدود ۸۰۰ متر است، یعنی اهالی تهران نصف شب هر ثانیه باندازه ۸۰۰ متر بیشتر از ظهر در منظومه شمسی حرکت میکنند. (مترجم).



شکل ۷ — برای اینکه یقین حاصل کنید که قسمت بالائی چرخ از قسمت پائینی آن سریعتر حرکت میکند، فاصله نقطه A و نقطه B چرخی را که بجلو غلتیده است (شکل سمت راست) از چوب بیحرکت باهم مقایسه کنید.

با یک آزمایش ساده میتوان فهمید که واقعاً چنین است. در یک فرصت مناسب چوبی‌را پهلوی چرخ گاری ایستاده به زمین فرو کنید — بطوریکه چوب در برابر محور چرخ قرار گیرد. در بالاترین و پائین‌ترین نقطه چنبر چرخ با گچ یا با زغال دو علامت بگذارید، این دو علامت درست در برابر چوب خواهد بود. بعد گاری را کمی بطرف راست بغلتانید (ش ۷) تا محور باندازه ۲۰ — ۳۰ سانتیمتر از چوب دور شود و ببینید علامت‌هائی که گذاشته‌اید چطور تغییر مکان داده‌اند. معلوم میشود که علامت بالائی (A) بمیزان قابل ملاحظه‌ای بیش از علامت پائینی (B) تغییر مکان داده، و نقطه (B) فقط کمی از چوب دور شده است.

کندحرکت‌ترین قسمت چرخ

بدین ترتیب، همهٔ نقطه‌های چرخ گاری در حال حرکت با سرعت مساوی تغییر مکان نمیدهد. کدام نقطه چرخ گاری در حال حرکت کندتر از سایر نقاط آن حرکت میکند؟

به آسانی میتوان فهمید که نقاطی از چرخ که در لحظهٔ معین با زمین تماس دارند، از همهٔ نقاط دیگر آن کندتر حرکت میکنند. اگر دقیقتر بگوئیم، این نقاط در لحظهٔ تماس با زمین کاملا بیحرکت هستند.

تمام آنچه گفته شد فقط در باره چرخی که روی زمین میغلتد صادق است، نه در باره چرخی که بدون تغییر مکان بدور محور خود میچرخد. مثلا در چرخ طیار نقاط پائینی و بالائی دورهٔ چرخ با سرعت یکسانی حرکت میکنند.

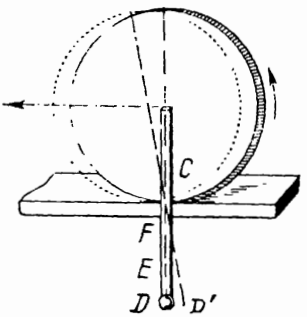
این مسأله شوخی نیست

حالا یک مسأله جالب‌تر مطرح میکنیم: آیا در قطاری که مثلا از لنینگراد به مسکو میرود، نقاطی هست که نسبت به خط راه‌آهن برعکس، یعنی از مسکو به لنینگراد حرکت کنند؟

معلوم میشود که در هر لحظه در هر یک از چرخ‌ها چنین نقاطی هست. پس این نقاط در کجا قرار دارند؟

البته شما میدانید که چرخ قطار راه‌آهن لبهٔ برآمده‌ای دارد. معلوم میشود نقاط پائینی این لبهٔ برآمده، ضمن حرکت قطار نه بجلو، بلکه به عقب تغییر مکان میدهند. با آزمایش زیر به آسانی میتوان یقین حاصل کرد که این مطلب صحیح است.

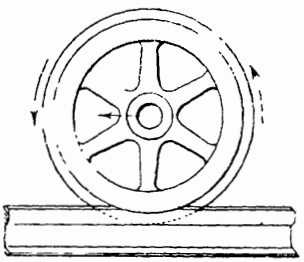
به دایرهٔ کوچکی، مثلا به یک سکه یا یک دکمه، یا سوم یک چوب کبریت بچسبانید، بطوری که در امتداد شعاع دایره قرار گیرد و قسمت زیادی از آن از کنارهٔ دایره بیرون آمده باشد. حالا اگر این دایره را (ش ۸) در نقطه C روی لبهٔ خط کش بگذارید و آن را از راست بچپ بغلتانید، نقطه‌های F، E، D واقع در آن قسمت از چوب‌کبریت که خارج از دایره است، نه بجلو، بلکه بعقب حرکت خواهند کرد. هر چه نقطه از کنارهٔ دایره دورتر باشد، ضمن غلتاندن دایره، بطور محسوس‌تری به عقب میرود (نقطه D به نقطه D′ میرود).



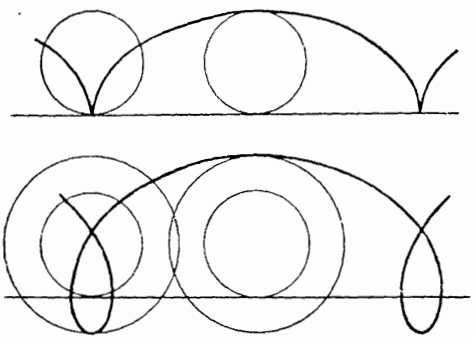
شکل ۸ — آزمایش با دایره و چوب کبریت. وقتی چرخ به طرف چپ میغلتد نقاط F، E، D واقع در آن قسمت چوب کبریت که خارج از دایره قرار دارد، بطرف دیگر یعنی به طرف راست حرکت میکنند.

نقطه‌های لبهٔ برآمدهٔ چرخ قطار راه‌آهن نیز درست مانند نقاط خارج از کناره دایره در آزمایش ما حرکت میکنند.

حالا دیگر شما نباید تعجب کنید که در قطار راه‌آهن نقاطی هست که نه بجلو بلکه بعقب حرکت میکنند. درست استکه این حرکت جزء بسیار کوچکی از یک ثانیه طول میکشد، امّا هرچه باشد، علیرغم تصورات معمولی ما، در قطار در حال حرکت تغییر مکان در جهت عکس وجود دارد. این مطلب در شکلهای ۹ و ۱۰ توضیح داده شده است.



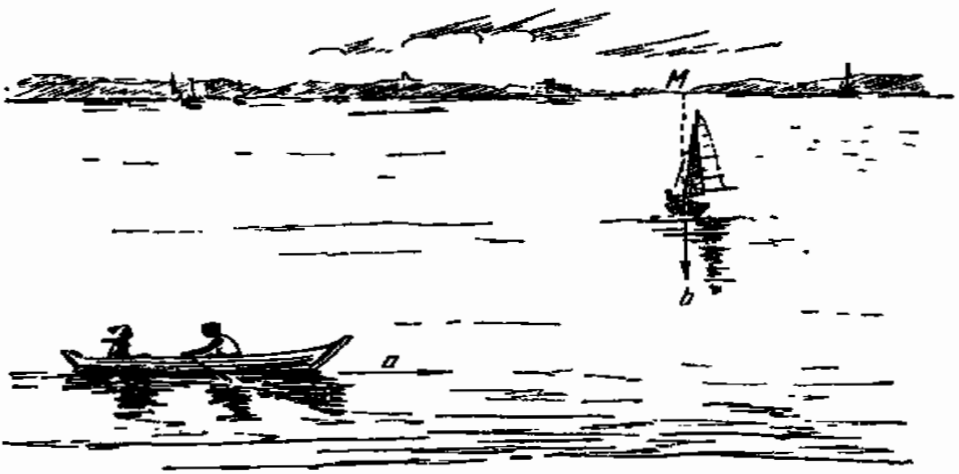
شکل ۹ — وقتی چرخ قطار راه آهن به طرف چپ حرکت میکند، قسمت‌های پائینی لبه برآمده آن به طرف راست، یعنی در جهت عکس حرکت میکنند.



شکل ۱۰ — در بالا منحنی‌ای («سیکلوئید») که هر نقطه چنبر چرخ گاری در حال حرکت رسم میکند، نشان داده شده است. در پائین منحنی‌ای که هر نقطهٔ لبهٔ برآمده چرخ قطار راه آهن رسم میکند، نشان داده شده است.

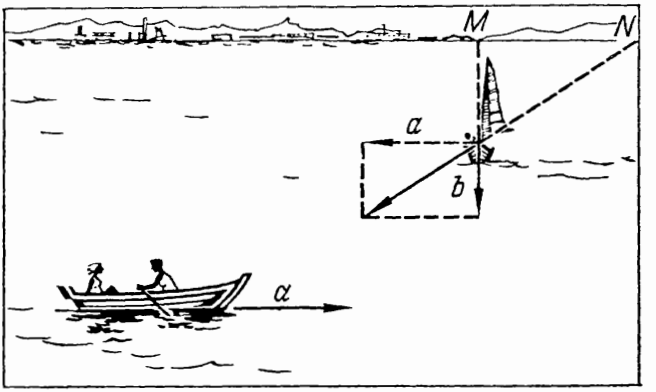
قایق از کجا حرکت کرده است؟

تصور کنید که یک قایق پاروئی در دریاچه حرکت میکند. فرض کنیم که بردار a (ش ۱۱) جهت و سرعت حرکت قایق پاروئی را نشان میدهد. قایق بادبانی نسبت به قایق پاروئی میانبر حرکت میکند. بردار b جهت و سرعت قایق بادبانی را نشان میدهد. اگر از شما بپرسند قایق بادبانی از چه نقطه‌ای در ساحل حرکت کرده است، فوراً نقطه M را نشان خواهید داد. اما اگر همین سئوال از سرنشینان قایق پاروئی میشد آنها نقطه دیگری را نشان میدادند. چرا؟



زیرا سرنشینان قایق پاروئی قایقی می‌بینند که نسبت به خط سیر قایق آنها نه با زاویه قائمه بلکه با زاویه دیگری حرکت میکند. علت این امر آنستکه آنها حرکت خود را حس نمیکنند، بنظرشان می‌آید که خودشان بیحرکت در یک نقطه ایستاده‌اند و همه چیز در اطراف با سرعت آنها حرکت میکند، اما در جهت عکس حرکت آنها. باین دلیل برای آنها قایق بادبانی نه فقط در جهت بردار b، بلکه در جهت خط نقطه چین a، عکس جهت حرکت قایق پاروئی، نیز حرکت میکند (ش ۱۲). هر دو حرکت قایق بادبانی — هم حرکت واقعی و هم حرکت ظاهری — طبق قاعده متوازی‌الاضلاع با هم ترکیب میشود. در نتیجه بنظر سرنشینان قایق پاروئی میرسد که قایق بادبانی در جهت قطر متوازی‌الاضلاع ساخته شده از b و a حرکت میکند. باین دلیل بنظر سرنشینان قایق پاروئی میرسد که قایق بادبانی نه از نقطه M در ساحل، بلکه از نقطه N که در سمت حرکت آنها از نقطه M خیلی جلوتر است، حرکت کرده است (ش ۱۲).

ما که همراه زمین در مدار آن بدور خورشید حرکت میکنیم و با اشعهٔ ستاره‌ها برمیخوریم، در باره مبدأ این اشعه همانطور نادرست قضاوت میکنیم که سرنشینان قایق پاروئی در تعیین نقطهٔ حرکت قایق بادبانی قضاوت میکردند. باین دلیل ستاره‌ها در سمت حرکت زمین کمی جلوتر از محل واقعی خودشان بنظر ما می‌آیند. البته سرعت حرکت زمین نسبت به سرعت نور بسیار ناچیز (۱۰۰۰۰ بار



شکل ۱۲ — بنظر سرنشینان قایق پاروئی میرسد که قایق بادبانی نسبت به سمت حرکت آنها نه بطور عمودی بلکه مایل حرکت میکند و نه از نقطه M بلکه از نقطه N حرکت کرده است.

کمتر) است. باین دلیل تغییر مکان ظاهری ستاره‌ها قابل ملاحظه نیست. اما این تغییر مکان ظاهری را میتوان بوسیله ابزار و آلات نجومی آشکار ساخت. این پدیده کج‌راهی یا انحراف نور نامیده میشود.

اگر به اینگونه مسائل علاقه پیدا کرده‌اید، بدون تغییر شرایط مسأله قایق، به سئوالات زیر جواب بدهید:

۱ — قایق پاروئی برای سرنشینان قایق بادبانی در چه جهت حرکت میکند؟

۲ — به عقیده سرنشینان قایق بادبانی قایق پاروئی کجا میرود؟

برای جواب دادن باین سؤالات باید روی بردار a (ش ۱۲) متوازی‌الاضلاع بردارهای سرعت را رسم کنید. قطر این متوازی‌الاضلاع نشان میدهد که بنظر سرنشینان قایق بادبانی قایق پاروئی مورب حرکت میکند، گوئی میخواهد به ساحل برود.

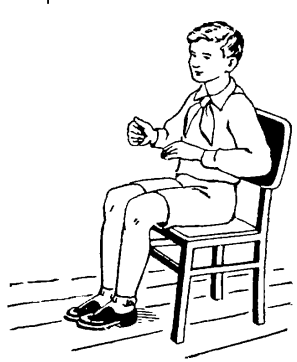
فصل دوم

ثقل و وزن . اهرم فشار

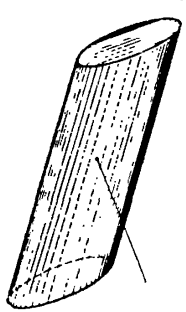
برخیزید!

اگر من به شما بگویم: «حالا طوری روی صندلی می‌نشینید که حتی اگر هم بسته نباشید نمیتوانید برخیزید»، البته گمان میکنید شوخی میکنم.

بسیار خوب. مانند آدمی که در شکل ۱۳ تصویر شده است بنشینید، یعنی بالاتنه‌تان را قائم نگهدارید و پاهایتان را به زیر صندلی خم نکنید. حالا بدون آنکه وضع پاهایتان را تغییر دهید و بدون آنکه بالاتنه‌تان‌را به جلو خم کنید، بکوشید برخیزید.



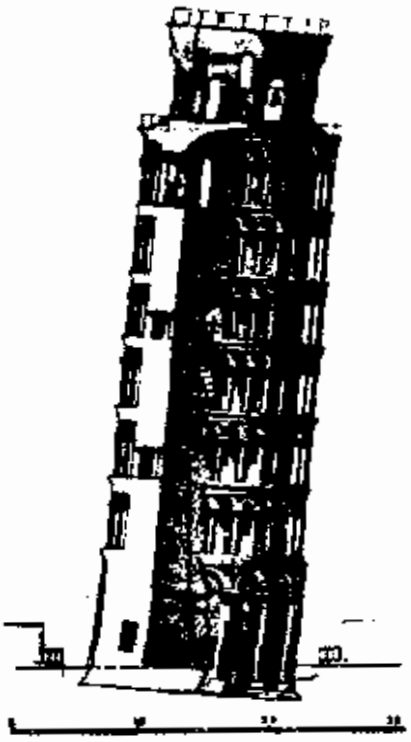
شکل ۱۳ — در این حالت ممکن نیست بتوان از روی صندلی برخاست.



شکل ۱۴ — چنین استوانه‌ای باید بیفتد، زیرا خط قائم از مرکز ثقل آن از خارج سطح اتکاء استوانه میگذرد.

ها، نمیتوانید؟ تا زمانی که پاهایتان را به زیر صندلی نبرید یا بالاتنه‌تان‌را به جلو خم نکنید، هر قدر هم به عضلاتتان فشار بیاورید، نمیتوانید برخیزید.

برای آنکه بفهمیم چرا نمیتوان برخاست، باید درباره تعادل اجسام بطور کلی، از جمله در باره تعادل بدن انسان، قدری بحث کنیم. فقط وقتی که خط قائم از مرکز ثقل یک جسم از داخل سطح اتکاء آن بگذرد، جسم نمی‌افتد. باین دلیل استوانهٔ مایل (ش ۱۴) حتما باید بیفتد. اما اگر



b

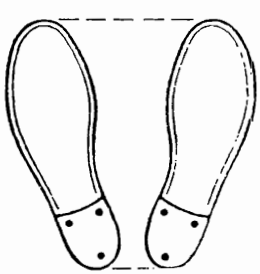
شکل ۱۰، ؛ — برج ناقوس مایل در آرخانگلسک (از روی یک عکس قدیمی). b — « مناره مایل » در پیزا.

استوانه بقدری کلفت میبود که خط قائم از مرکز ثقل آن از سطح اتکایش میگذشت، استوانه نمی‌افتاد. منارهای معروف به «منار مایل» در پیزا و بولونی و یا برج ناقوس مایل در آرخانگلسک (ش ۱۵)، با اینکه مایل ساخته شده‌اند نمی‌افتند، زیرا خط قائم از مرکز ثقل آنها از داخل سطح اتکاٴ آنها میگذرد (دلیل دیگر، دلیل درجهٴ دوم، آنستکه پایه‌های آنها در زمین فرو رفته است).

آدمی که ایستاده است فقط تا وقتیکه خط قائم از مرکز ثقلش از سطح محدود به کناره کف دو پایش میگذرد، نمی افتد (ش ۱۶). باین دلیل ایستادن روی یک پا مشکل است. ایستادن روی طناب از آنهم مشکلتر است، زیرا سطح اتکاٴ بسیار کوچک است و خط قائم از مرکز ثقل آدم بآسانی از حدود سطح اتکاٴ خارج میشود. توجه کرده‌اید که دریانوردان پیر چه طرز راه رفتن ویژهٴ عجیبی دارند؟ دریانوردان که تمام عمرشان را در کشتی گذرانده و با کشتی تلو تلو میخورند و خط قائم از مرکز ثقلشان هر ثانیه ممکن است از سطح زیر کف پاهایشان خارج شود، عادت میکنند چنان گام بردارند که سطح اتکاٴ بدنشان (یعنی پاهای از هم دور گذاشته شده) حتی المقدور بیشتر باشد و در نتیجه روی عرشه کشتی که دائم تکان میخورد بتوانند تعادل خودرا حفظ کنند. طبیعی است که این عادت هنگام راه رفتن روی زمین سفت و بدون تکان هم در آنها باقی میماند. میتوان مثال عکس این‌را نیز آورد، یعنی وقتیکه لزوم حفظ تعادل موجب زیبائی حالت بدن انسان میشود. آیا توجه کرده‌اید که بدن آدمی که روی سرش باری گذاشته و میبرد، چه حالت زیبائی دارد؟ زیبائی اندام مجسمه‌های زنهائی که روی سرشان کوزه گذاشته‌اند، بر همه معلوم است. وقتی روی سرمان باری گذاشته و میبریم، مجبور هستیم سر و بالاتنه را راست نگهداریم، زیرا کوچکترین تمایل بدن خطر آن را دارد که خط قائم از مرکز ثقل (در این موارد مرکز ثقل آدم از محل معمولی بالاتر میرود) از محیط سطح اتکاٴ خارج شود، آنوقت تعادل بدن بر هم میخورد.

حالا به آزمایش برخاستن آدمی که روی صندلی نشسته است، برمیگردیم. مرکز ثقل آدمی که نشسته است در داخل بدن نزدیک ستون فقرات، در حدود ۲۰ سانتیمتر بالاتر از ناف قرار دارد. اگر خط قائم از این نقطه را به طرف پائین رسم کنیم، از زیر صندلی، عقب کف پاها میگذرد. اما برای آنکه آدم بتواند برخیزد، این خط باید از میان کف دو پایش بگذرد.

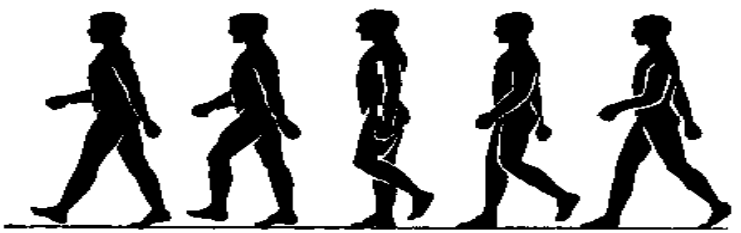
بنا بر این، وقتی میخواهیم برخیزیم یا باید سینه را جلو بدهیم و باین وسیله مرکز ثقل را جلو بیاوریم، یا باید پاها را عقب ببریم تا سطح اتکاٴ در زیر مرکز ثقل قرار گیرد. معمولا وقتی میخواهیم از روی صندلی برخیزیم، همین کار را میکنیم. اما اگر به ما اجازه ندهند هیچیک از این دو کار را بکنیم، آنوقت، بطوریکه در آزمایش بالا دیدید، نمیتوانیم برخیزیم.



شکل ۱۶ — وقتی آدم ایستاده است، خط قائم از مرکز بدنش از داخل سطح محدود به دوره کف پاهایش میگذرد.

قدم و دو

کاری که در تمام عمر هر روز دهها هزار بار انجام میدهید، باید برایتان کاملا روشن و معلوم باشد. معمولا اینطور فکر میکنند، اما این فکر در همه موارد درست نیست. بهترین مثال برای صحت این مدعا قدم و دو است. آیا چیزی هست که ما بیش از این دو حرکت با آن آشنا باشیم؟ اما، آیا کسانی که از طرز تغییر مکان بدن ما هنگام راه رفتن و دویدن تصور روشنی

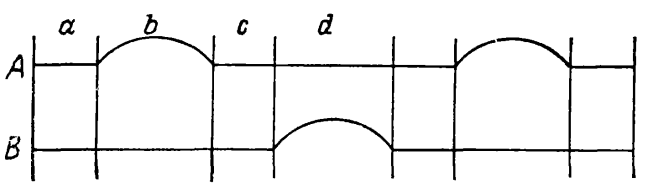


شکل ۱۷ — چگونگی راه رفتن آدم. حالت‌های پی در پی بدن هنگام راه رفتن.

داشته باشند و تفاوت میان این دو نوع حرکت را بطور وضوح بدانند، زیادند؟ گوش کنیم و ببینیم فیزیولوژی در باره قدم و دو چه میگوید*.

من یقین دارم که برای اکثریت مردم این توصیف کاملا تازگی دارد.

«فرض میکنیم که آدم روی یک پا، مثلا پای راست، ایستاده است. در نظر مجسم میکنیم که پاشنهٔ پایش‌را کمی بلند میکند و در همان موقع بدنش را به جلو خم میکند**.

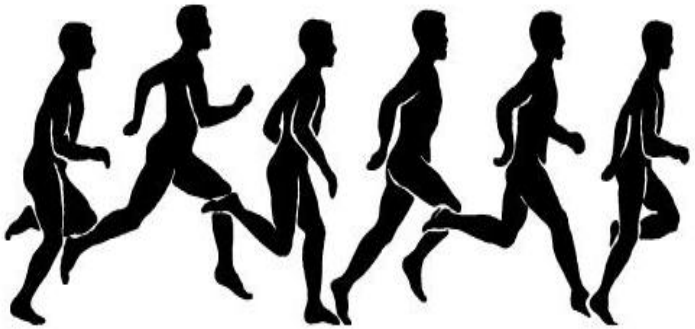


شکل ۱۸ — نمودار حرکت پاها هنگام راه رفتن. خط بالائی (A) مربوط به یک پا و خط پائینی (B) مربوط به پای دیگر است. خطوط مستقیم نمودار لحظات اتکاٴ پا به زمین و قوس‌ها نمودار حرکت بدون اتکاٴ میباشد. از نمودار دیده میشود که طی مدت a هر دو پا به زمین اتکاٴ دارند، در مدت b پای A در هواست و پای B همانطور به زمین اتکاٴ دارد، در مدت c از نو هر دو پا به زمین اتکاٴ دارند. هر چه قدم سریعتر باشد، بهمان نسبت مدت زمانهای a و c کوتاهتر میشوند (با نمودار شکل ۲۰ مقایسه کنید).

---

* — متن قسمت زیر از اثر پروفسور پل بر «سخنرانی‌های جانورشناسی» برداشته شده و تصاویر را مؤلف این کتاب بر آن افزوده است.

** — در این ضمن آدم در حال حرکت، برای جدا شدن از محل اتکاٴ خود، علاوه بر وزنش فشاری معادل در حدود ۲۰ کیلوگرم بر سطح اتکاٴ وارد می‌آورد. ضمناً از اینجا نتیجه میشود که آدم در حال حرکت بیشتر از آدم ایستاده بر زمین فشار وارد می‌آورد. — پرلمان.

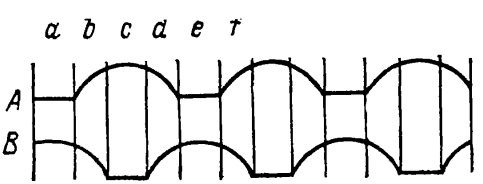


شکل ۱۹ — چگونگی دویدن آدم. حالت‌های پی در پی بدن هنگام دویدن.

روشن است که در این حالت خط قائم از مرکز ثقل از سطح اتکاء خارج میشود و آدم باید بجلو بیفتد. اما همینکه افتادن شروع شد فوراً پای چپ او که در هوا مانده بود، بسرعت بجلو حرکت میکند و جلو خط قائم از مرکز ثقل روی زمین قرار میگیرد، بطوریکه خط قائم در داخل سطحی واقع میشود که از خطوط اتصال نقاط اتکاء هر دو پا ایجاد شده است. بدین ترتیب از نو تعادل برقرار شده و آدم یک قدم برداشته است.

آدم میتواند در این حالت بسیار خسته کننده باقی بماند. اما اگر بخواهد به حرکت خود ادامه دهد، بدنش را باز هم به جلو خم میکند و خط قائم از مرکز ثقل را به خارج سطح اتکاء میبرد و در لحظهٔ خطر افتادن، از نو پایش را به جلو میبرد، اما حالا دیگر نه پای چپ بلکه پای راست‌را، و در نتیجه یک قدم دیگر برداشته است، و بهمین ترتیب قدم‌های بعدی را برمیدارد. بنا براین راه رفتن چیزی نیست جز یک رشته افتادن‌های پی در پی به جلو که با گذاشتن پای عقب به جلو و تکیه بر آن از افتادن‌ها جلوگیری شده است.

حالا مسأله را کمی از نزدیکتر بررسی میکنیم. فرض میکنیم قدم اول برداشته شده است. در این لحظه پای راست هنوز به زمین تماس دارد و پای چپ روی زمین گذاشته میشود. اما اگر قدم خیلی کوتاه نباشد، پاشنهٔ پای راست باید کمی بلند شود، زیرا همانا این بلند شدن پاشنه است که به بدن امکان میدهد به جلو خم شود و تعادل را برهم زند. قبل از همه پاشنهٔ پای چپ به زمین میرسد. وقتی پس از پاشنه، تمام کف پای چپ روی زمین قرار گرفت، پای راست کاملا به هوا بلند میشود. در همان وقت پای چپ که از زانو کمی خم شده بود، بوسیله انقباض عضلهٔ سه‌سر



شکل ۲۰ — نمودار حرکت پاها هنگام دویدن (با شکل ۱۸ مقایسه کنید). از نمودار دیده میشود که برای کسی که میدود لحظاتی وجود دارد (b, d, f) که هر دو پایش در هوا حرکت میکنند. تفاوت دو با قدم در همین است.

ران، راست میشود و برای یک لحظه بحالت قائم درمی‌آید. این عمل به پای نیم‌خم راست امکان میدهد که بدون تماس با زمین به دنبال بدن به جلو حرکت کند و درست در لحظهٔ لازم برای قدم بعدی، پاشنه‌اش به زمین برسد.

همینگونه حرکات پی در پی بعداً برای پای چپ آغاز میشود، در این وقت فقط انگشت‌های پای چپ به زمین تکیه دارند و بزودی باید پا به هوا بلند شود.

تفاوت دو با قدم در اینستکه هنگام دو، پائی که روی زمین قرار دارد، در نتیجه انقباض ناگهانی عضلات بشدت راست میشود و بدن را به جلو می‌اندازد، بطوریکه بدن در یک لحظه بکلی از زمین جدا میشود و بعد روی پای دیگر بسرعت بزمین می‌آید. این پا در مدتی که بدن در هوا بود بسرعت بجلو آورده شده است. بدین ترتیب، دو عبارت است از تعدادی پرشهای پی در پی از روی یک پا به روی پای دیگر.»

و اما نیروئی که آدم هنگام راه رفتن در یک راه افقی مصرف میکند، برخلاف تصور برخی، مساوی صفر نیست. مرکز ثقل یک نفر پیاده در هر قدم چند سانتیمتر بلند میشود. میتوان حساب کرد که کار هنگام راه رفتن در راه افقی معادل یک پانزدهم کاری است که برای بلند کردن بدن پیاده به ارتفاع مساوی راهی که پیموده است، لازم میباشد.

از واگن در حال حرکت چطور باید پرید؟

اگر این سؤال را به کسی بدهید، البته چنین جوابی خواهید شنید: «به جلو، در جهت حرکت، طبق قانون اینرسی». اما از او خواهش کنید توضیح بدهد که قانون اینرسی چه ربطی به این مسأله دارد، میتوان پیش‌بینی کرد که در اینصورت چه رخ میدهد. مصاحب شما با اعتماد کامل شروع به اثبات عقیده خود میکند. اما اگر حرف اورا قطع نکنید، خودش بزودی سکوت اختیار میکند، زیرا معلوم میشود که همانا در نتیجه قانون اینرسی باید به عقب در جهت عکس حرکت پرید.

واقعاً هم قانون اینرسی در اینجا نقش درجهٔ دوم را دارد، علت اصلی چیز بکلی دیگری است. اگر این علت اصلی را از نظر دور بداریم، واقعا باین نتیجه میرسیم که باید به عقب پرید، نه به جلو.

فرض کنید که مجبورید در حرکت بپرید. ضمن پریدن چه رخ میدهد؟

وقتی ما از واگن در حال حرکت میپریم، بدنمان دارای همان سرعت واگن است و طبق قانون اینرسی به جلو حرکت میکند. وقتی به جلو میپریم، البته نه اینکه این سرعت را از بین نمیبریم، بلکه برعکس، آن را باز هم افزایش میدهیم.

از اینجا نتیجه میشود که میبایست به عقب پرید، نه در جهت حرکت واگن به جلو. زیرا ضمن پریدن به عقب سرعت حاصله از پرش از سرعتی که بدن ما طبق قانون اینرسی حرکت میکند، کم میشود. در نتیجه، بدن ما پس از تماس با زمین با نیروی کمتری به جلو خواهد افتاد.

با همه اینها، اگر پریدن از وسیلهٔ نقلیهٔ در حال حرکت ضرورت پیدا کند، همه به جلو، در جهت حرکت میپرند. این واقعاً بهترین طرز پریدن است و بقدری مورد آزمایش قرار گرفته که ما همیشه خوانندگان را برحذر میکنیم که دیگر پرش به عقب را نیازمایند.

پس قضیه از ـ چه قرار است؟

اصل مطلب در نادرست بودن و ناتمام گذاشتن توضیحات است. چه ما به جلو بپریم و چه به عقب، در هر صورت خطر افتادن ما را تهدید میکند، زیرا وقتی پاها با زمین تماس پیدا میکنند و از حرکت باز می‌ایستند، بالاتنه باز هم حرکت خواهد کرد.* سرعت این حرکت هنگام پریدن به جلو حتی از سرعت آن هنگام پریدن به عقب بیشتر است. اما اهمیت اصلی مسأله در اینستکه خطر افتادن به جلو از خطر افتادن به عقب بمراتب کمتر میباشد. در مورد اول ما با یک حرکت عادی پا را جلو میگذاریم (چنانچه سرعت واگن زیاد باشد چند قدم میدویم) و باین وسیله از افتادن جلوگیری میکنیم. این حرکت عادی است، زیرا ما تمام عمر ضمن راه رفتن آن‌را انجام میدهیم: بطوریکه در مبحث پیش دیدیم، از نظر مکانیک، راه رفتن چیزی نیست جز یک رشته افتادن‌های پی در پی بدن ما به جلو که با گذاشتن پا به جلو از افتادن جلوگیری شده است. هنگام افتادن به عقب این حرکت نجاتبخش پاها وجود ندارد و بهمین دلیل خطر بمراتب بیشتر است. بالاخره این مطلب نیز اهمیت دارد که وقتی ما واقعا هم به جلو زمین میخوریم با قرار دادن دستها به جلو کمتر از زمین خوردن به عقب صدمه می‌بینیم.

باین ترتیب، علت اینکه خطر پریدن از واگن بجلو کمتر است، بیش از آنچه در قانون اینرسی نهفته باشد، در خود ما نهفته است. روشن استکه برای اجسام بی جان این قاعده قابل تطبیق نیست. احتمال شکستن بطری‌ایکه از واگن به جلو پرت کنیم از احتمال شکستن بطری‌ایکه به عقب پرت کنیم، بیشتر است. بنا براین، چنانچه لازم باشد بدلیلی از واگن بپرید و بخواهید قبلا باری را که با خود دارید پرت کنید، باید بار را به عقب پرت کنید و خودتان به جلو بپرید.

اشخاص کارآزموده، از قبیل بلیت‌فروش‌های تراموای و بازرس‌های قطار، اغلب این کار را میکنند: رو به جهت حرکت واگن می‌ایستند و به عقب میپرند. این کار دو سود دارد: از سرعتی که بدن با طبق قانون اینرسی دارد، میکاهد و بعلاوه از خطر زمین خوردن به پشت جلوگیری میکند، زیرا کسی که میپرد، رو بطرف زمین خوردن احتمالی میباشد.

گرفتن گلوله جنگی با دست در هوا

طبق اطلاع روزنامه‌ها، در دوره جنگ اول جهانی برای یک خلبان فرانسوی حادثه خارق‌العاده‌ای رخ داد. خلبان در ارتفاع دو هزارمتری پرواز میکرد و دید که نزدیک صورتش جسم کوچکی در حرکت است. خلبان بتصور اینکه حشره‌ای است، جسم را باچابکی با دست گرفت. تصور کنید وقتی که خلبان فهمید یک گلوله جنگی آلمانی را در هوا گرفته است، چقدر به حیرت و تعجب افتاد!

آیا این حادثه به افسانه‌های دروغین بارون مونش‌هاوزن که گویا گلوله‌های توپ را در هوا با دست میگرفت، شباهت ندارد؟

---

* — افتادن را از نقطه نظر دیگری نیز میتوان توضیح داد. در این باره به «مکانیک برای سرگرمی» فصل سوم، مبحث: «چه وقت خط افقی افقی نیست؟» مراجعه کنید.

با وجود این، در خبر مربوط به خلبانی که گلوله‌را در هوا گرفته بود، هیچ چیز غیر ممکن وجود ندارد.

زیرا گلوله همیشه با سرعت اولیه خود — ۸۰۰ — ۹۰۰ متر در ثانیه — حرکت نمیکند. سرعت گلوله به علت مقاومت هوا بتدریج کم میشود و در انتهای خط سیر، هنگام فرود آمدن، به در حدود ۴۰ متر در ثانیه میرسد. هواپیما نیز میتواند با این سرعت پرواز کند. بنا بر این، به آسانی ممکن است اتفاق بیفتد که گلوله و هواپیما دارای سرعت یکسانی باشند. آنوقت گلوله نسبت به خلبان بیحرکت خواهد بود، یا با سرعت بسیار کمی حرکت خواهد کرد. در اینصورت گرفتن گلوله در هوا هیچ اشکالی ندارد، بخصوص با دستکش، زیرا گلوله‌ای که در هوا پرواز میکند بشدت داغ میشود.

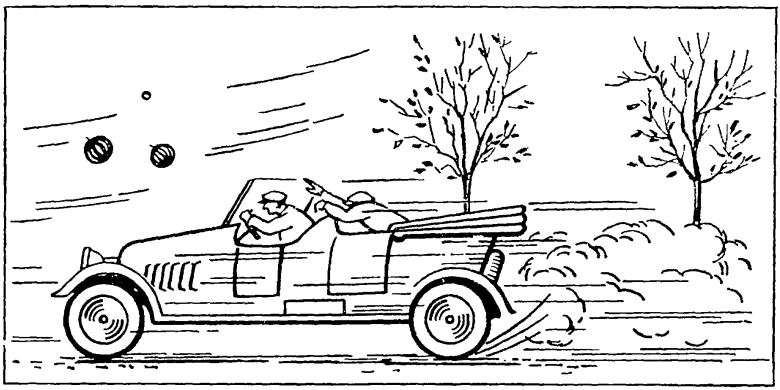
هندوانه — بمب

اگر در شرایط معینی ممکن است گلوله صدمه‌ای نرساند، عکس این قضیه نیز امکان پذیر است، یعنی ممکن است «جسم صلح پروری» که با سرعت کم پرتاب شده است، تأثیرات ویران کننده‌ای ببار آورد. هنگام مسابقه اتومبیل‌رانی لنینگراد — تفلیس (در سال ۱۹۲۴) دهقانان روستاهای قفقاز از اتومبیل‌هائی که بسرعت از کنار آنها میگذشتند، با پرتاب هندوانه و خربوزه و سیب به سوی سرنشینان، استقبال میکردند. تأثیر این هدیه‌های بی‌آزار و بی ضرر بهیچوجه خوش‌آیند نبود. زیرا خربوزه‌ها و هندوانه‌ها اطاق‌های ماشین‌هارا قر و له میکردند و میشکستند و سیب‌ها وقتی به سرنشینان میخوردند، صدمات جدی وارد می‌آوردند. علت این امر روشن است: سرعت خود اتومبیل‌ها بر سرعت هندوانه‌ها و سیب‌های پرتاب‌شده افزوده میشد و آنها را به گلوله‌های خطرناک و ویران کننده تبدیل میساخت. به آسانی میتوان حساب کرد که نیروی حرکت گلوله‌ٔ بوزن ۱۰ گرم برابر است با نیروی حرکت هندوانه بوزن ۴ کیلوگرام که به اتومبیل دارای سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ساعت پرتاب شود.

البته تأثیر سوراخ کننده هندوانه در این شرایط با تأثیر سوراخ کننده گلوله قابل مقایسه نیست، زیرا هندوانه سختی گلوله را ندارد.

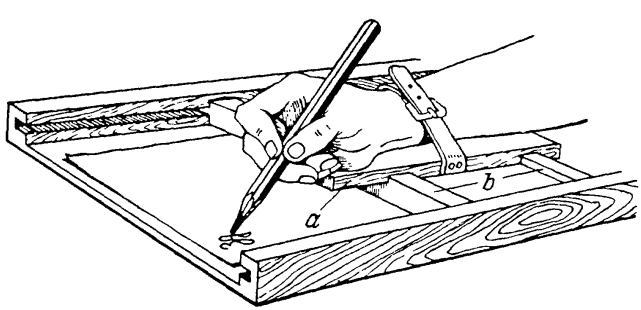
وقتی هواپیماهای سریع‌السیر در طبقات بالائی جو (ماوراٴ جو یا استراتوسفر) پرواز میکنند و سرعت هواپیما به ۳۰۰۰ کیلومتر در ساعت، یعنی برابر سرعت گلوله، میرسد، خلبانان با پدیده‌هائی نظیر آنچه هم اکنون بررسی شد، سر و کار پیدا میکنند. بدین معنی که هر جسمی سر راه اینگونه هواپیماهای فوق العاده سریع‌السیر قرار گیرد، برای هواپیما به گلوله ویران کننده‌ای تبدیل میشود. برخورد با یک مشت گلوله که از هواپیمای دیگری، حتی نه هواپیمائی که از روبرو پرواز میکند، افتاده باشد، درست مانند آنستکه هواپیمارا به مسلسل ببندند. گلوله‌های در حال سقوط با نیروئی برابر نیروی گلوله‌های رگبار مسلسل به هواپیما میخورند و آنرا سوراخ میکنند، چون سرعت‌های نسبی در هر دو مورد یکسان است (هواپیما و گلوله با سرعت ۸۰۰ متر در ثانیه بیکدیگر نزدیک میشوند)، پس تأثیرات ویران کننده برخورد یکسان خواهد بود.

برعکس، اگر گلوله از عقب هواپیمائی که با سرعت مساوی سرعت گلوله پرواز میکند، حرکت کند، آنوقت، بطوری که میدانیم، به خلبان صدمه‌ای نمیرساند. برشف راننده لکوموتیو در سال



شکل ۲۱ — هندوانه‌ای که به اتومبیل دارای سرعت زیاد پرتاب گردد به «گلوله توپ» تبدیل میشود.

۱۹۳۰ از این قانون که هرگاه دو جسم با سرعت تقریبا مساوی در یک جهت حرکت کنند بدون ضربه بیکدیگر میخورند، با مهارت استفاده کرد و یک قطار در حال حرکت مرکب از ۳۶ واگن را بدون ضربه به قطار خود وصل نمود و با این عمل از یک سانحهٔ راه‌آهن جلوگیری بعمل آورد. این واقعه در راه‌آهن جنوب در فاصله میان ایستگاههای یلنیکوف و الشانکا، در شرایط زیر روی داد. جلو قطاری که برشف میبرد، قطار دیگری میرفت. قطار جلوی بعلت کافی نبودن بخار ایستاد. راننده ۳۶ واگن از قطار خودرا در راه گذاشت و با لکوموتیو و بقیه واگن‌ها بطرف ایستگاه حرکت کرد. چون واگن‌ها در سرازیری قرار داشتند و زیر آنها کفشک نگذاشته بودند، واگن‌ها به عقب به حرکت درآمدند و ۱۰ کیلومتر در ساعت سرعت گرفتند و خطر آن میرفت که به قطار برشف بخورند. راننده سریع‌الانتقال همینکه خطر را دید فوراً راه حل پیدا کرد، بلافاصله قطار خودرا نگهداشت به عقب راند و بتدریج سرعت آن را به ۱۰ کیلومتر در ساعت نزدیک کرد. برشف موفق شد با این مانور قطار مرکب از ۳۶ واگن را بدون کوچکترین صدمه‌ای به قطار خود بچسباند.



شکل ۲۲ — افزاری که بوسیله آن میتوان در قطار در حال حرکت راحت نوشت.

بالاخره، براساس همین اصل افزاری ساخته شده است که نوشتن در قطار در حال حرکت را بسیار آسان میکند. نوشتن در واگن، ضمن حرکت قطار فقط به این دلیل مشکل است که تکان‌های محل اتصال ریلها در یک موقع به کاغذ و به سر قلم منتقل نمیشود. اگر کاری بکنیم که تکان در یک موقع به کاغذ و سر قلم منتقل شود، آنها نسبت به یکدیگر بیحرکت خواهند بود و نوشتن ضمن حرکت قطار دیگر اشکالی نخواهد داشت.

با افزاری که در شکل ۲۲ رسم شده است، به این هدف میتوان رسید.

دستی که قلم را گرفته است به تخته a بسته میشود، این تخته میتواند با شیارهای خود روی تخته b حرکت کند، تخته b نیز بنوبه خود میتواند در شیارهای تخته‌ایکه روی میز واگن قرار دارد، جلو و عقب برود. بطوریکه می‌بینیم، دست امکان حرکت کافی دارد که حروف و خطوط را پشت سر یکدیگر بنویسد. در عین حال هر تکانی به کاغذ روی تخته وارد بیاید، در همان آن و با همان نیرو به دستی که قلم را گرفته است منتقل میشود. در این شرایط نوشتن در قطار در حال حرکت همانقدر آسان است که در واگن بدون حرکت. فقط یک ناراحتی وجود دارد و آن اینکه نگاه با حرکت‌های تند و بریده بریده روی کاغذ میلغزد، زیرا به سر و به دست در یک موقع ضربه وارد نمی‌آید.

روی کفه قپان فرنگی

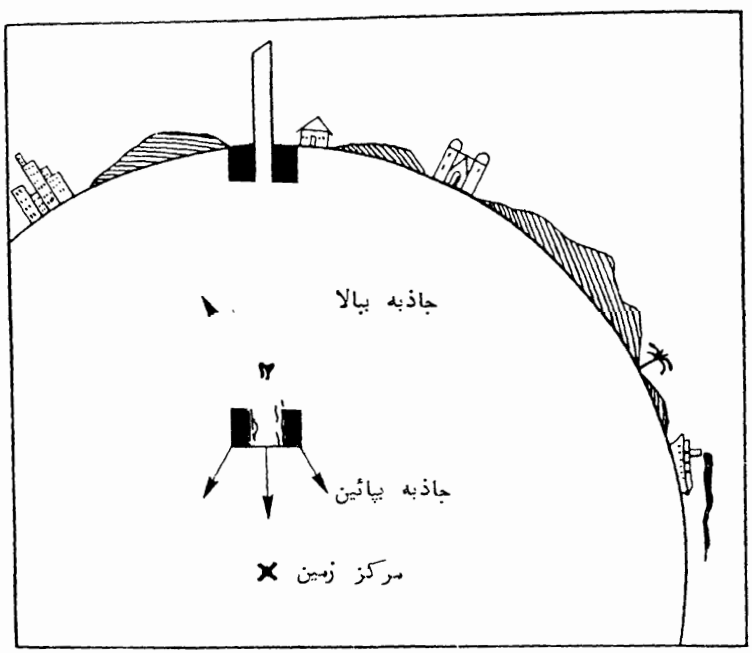
قپان فرنگی فقط وقتیکه روی کفه آن کاملا بیحرکت ایستاده اید وزن شما را درست نشان میدهد. وقتی خم میشوید، قپان در لحظه خم شدن وزن کمتری نشان میدهد. چرا؟ زیرا عضلاتی که بالاتنه را به پائین خم میکنند، در عین حال پائین تنه را به بالا میکشند و در نتیجه از فشار پائین تنه به سطح اتکاٴ آن میکاهند. برعکس، در لحظه‌ای که با فشار عضلات، بالاتنه و پائین‌تنه‌را به دو سوی مختلف هل میدهید و خم شدن بالاتنه را قطع میکنید، قپان وزن بیشتری را نشان میدهد، مقدار افزایش وزن با میزان افزایش شدت فشار پائین تنه بر روی کفه قپان متناسب است.

حتی بالا بردن دست که مقدار بسیار کمی بر وزن ما می‌افزاید، باید موجب نوسان ترازوی حساس بشود. عضلاتی که دست را بالا میبرند به شانه اتکاٴ دارند و در نتیجه شانه را با بالاتنه به پائین هل میدهند و فشار روی کفهٴ قپان افزایش می‌یابد. وقتی حرکت دستی‌را که بالا میبردیم متوقف میکنیم، عضلات عکس عضلات اول را به حرکت در می‌آوریم، این عضلات میکوشند شانه‌را به انتهای دست نزدیک کنند و شانه‌را به بالا بکشند، در نتیجه فشار بدن بر سطح اتکاٴ آن، یا بعبارت دیگر وزن کم میشود.

برعکس، وقتی دستمان‌را پائین می‌آوریم با این حرکت وزن خود را کم میکنیم و در لحظهٴ متوقف ساختن حرکت دست، بر وزن خود می‌افزائیم. خلاصه ما میتوانیم با عمل نیروهای درونی خویش وزن بدن خود را زیاد یا کم کنیم، البته در این مورد مقصود از وزن مقدار فشار وارده بر سطح اتکاٴ می‌باشد.

اجسام کجا سنگین‌تر هستند؟

هر چه از سطح زمین بالاتر برویم نیروی زمین که اجسام را بخود جذب میکند (نیروی جاذبه) کمتر میشود. اگر وزنهٔ یک کیلوگرمی را به ارتفاع ۶۴۰۰ کیلومتر از سطح زمین بالا ببریم، یعنی وزنه را باندازه دو برابر شعاع کره زمین از مرکز دور کنیم، نیروی جاذبه باندازه $۲^۲$ یعنی چهار بار کمتر خواهد شد و وزنه یک کیلوگرمی با ترازوی فنری بجای ۱۰۰۰ گرم، فقط ۲۵۰ گرم وزن خواهد داشت. کره زمین طبق قانون جاذبه، اجسام خارجی را طوری جذب میکند که گویا تمام جرم زمین در مرکز آن متمرکز شده است و این نیروی جاذبه با مجذور فاصله نسبت معکوس



شکل ۲۳ — چرا با فرو رفتن به عمق زمین نیروی ثقل کم میشود.

دارد. در مثال بالا فاصله وزنه از مرکز زمین دو برابر شده بود، در نتیجه جاذبه باندازه $۲^۲$ یعنی چهار بار ضعیفتر شده بود. اگر وزنه را باندازه ۱۲۸۰۰ کیلومتر از سطح زمین بالا ببریم، یعنی فاصله آن را با مرکز زمین سه برابر کنیم، نیروی جاذبه را باندازه $۳^۲$ یعنی ۹ بار ضعیفتر کرده‌ایم. در اینصورت وزنه ۱۰۰۰ گرمی فقط ۱۱۱ گرم وزن خواهد داشت، و باز هم هر چه فاصله را زیادتر کنیم وزن به نسبت مجذور فاصله کمتر خواهد شد.

طبیعتاً چنین فکری پیدا میشود که اگر با وزنه به اعماق زمین فرو برویم، یعنی جسم را به مرکز زمین نزدیک کنیم، باید مشاهده کنیم که نیروی جاذبه افزایش می‌یابد، یعنی وزنه در اعماق زمین باید سنگین‌تر باشد. این تصور نادرست است. با فرو رفتن به اعماق زمین وزن اجسام افزایش نمی‌یابد، بلکه برعکس، کم میشود. علت این امر اینستکه در اینصورت قسمت‌های جذب کننده زمین نه در یک طرف جسم، بلکه در چند طرف آن قرار دارند. به شکل ۲۳ نگاه کنید. بطوریکه مشاهده میکنید، جسمی که در عمق زمین قرار دارد، بوسیله قسمت‌هائی از زمین که در زیر آن واقع است، به پائین جذب میشود و در عین حال بوسیله قسمت‌هائی که در بالای آن واقع است، به بالا جذب میشود. میتوان ثابت کرد که در نتیجه نهائی فقط نیروی جاذبه کره‌ای بشعاع از مرکز زمین تا محل قرار داشتن جسم، روی جسم اثر میکند. بنا بر این هر چه جسم به اعماق زمین فرو رود وزن آن بسرعت تقلیل می‌یابد. وقتی جسم به مرکز زمین برسد، کلی وزن خودرا از دست میدهد و بی‌وزن میشود، زیرا قسمت‌هائی که جسم را احاطه کرده‌اند، آن را با نیروی یکسانی به همه طرف جذب میکنند.

بنا بر آنچه گفته شد، وزن جسم روی سطح زمین از هر جای دیگر بیشتر است، با دور شدن جسم از سطح زمین، به بالا یا به اعماق زمین، وزن آن کاهش می‌یابد*.

جسم در حال سقوط چقدر وزن دارد؟

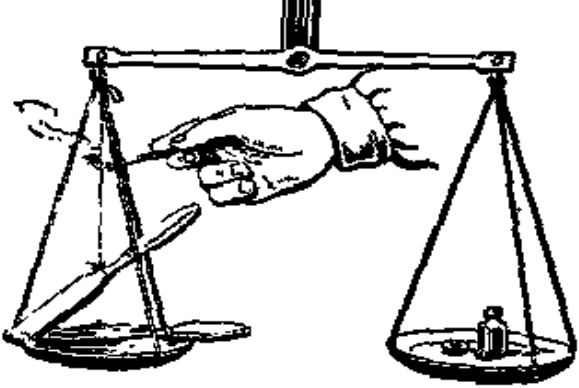
آیا متوجه شده‌اید که در لحظه‌ایکه آسانسور شروع به پائین آمدن میکند، چه حالتی در خود احساس میکنید؟ یک سبکی غیر عادی شبیه به حالت آدمی که از پرتگاه پائین می‌افتد... این حالت چیزی نیست جز احساس بی‌وزنی. در لحظهٔ اول وقتی کف آسانسور زیر پای شما پائین میرود، اما شما هنوز سرعت مساوی با سرعت آسانسور را کسب نکرده اید، جسم شما تقریبا بر کف آسانسور فشار نمی‌آورد، بنا بر این وزن بدن بسیار کم است. همینکه لحظه‌ای گذشت احساس این حالت عجیب از میان میرود. بدن شما که باید با سرعتی بیشتر از سرعت یکنواخت آسانسور سقوط کند، از نو وزن کامل خود را بدست می‌آورد.

یک وزنه از چنگک ترازوی فنری آویزان کنید و ترازو را با وزنه بسرعت پائین بیاورید، در این ضمن توجه داشته باشید که شاخص ترازو به کدام جهت حرکت میکند (برای راحتی یک تکه کوچک چوب پنبه در شکاف ترازو بگذارید و به تغییر محل آن توجه کنید). یقین حاصل خواهید کرد که شاخص ترازو هنگام سقوط، وزن کامل وزنه را نشان نمیدهد، بلکه بمراتب کمتر نشان میدهد. اگر ترازو بطور آزاد سقوط میکرد و شما امکان میداشتید هنگام سقوط آزاد مراقب شاخص ترازو باشید، میدیدید که وزنه هنگام سقوط آزاد اصلا وزن ندارد و شاخص ترازو روی رقم صفر است.

سنگین‌ترین جسم در تمام مدت سقوط آزاد کاملا بی وزن میشود. درک علت این امر آسان

---

*اگر کره زمین از لحاظ تراکم کاملا همگون بود، این حکم دقیقاً صدق میکرد. اما در واقع تراکم زمین با نزدیک شدن به مرکز آن افزایش می‌یابد. باین دلیل وقتی به اعماق زمین فرو میرویم، ابتدا تا مسافتی نیروی ثقل افزایش می‌یابد و فقط پس از آن شروع به کاهش میکند.



شکل ۲۴ — آزمایشی که بی‌وزنی جسم در حال سقوط را نشان میدهد.

است. ما نیروئی را که جسم نقطهٔ تعلیق را به پائین میکشد، یا بر سطح اتکاء خود فشار وارد می‌آورد، «وزن» جسم می‌نامیم. اما جسم در حال سقوط فنر ترازو را بهیچوجه نمیکشد، زیرا فنر نیز با جسم سقوط میکند. تا زمانی که جسم در حال سقوط است هیچ چیز را نمیکشد و به هیچ چیز فشار نمی‌آورد. بنا بر این اگر بپرسیم جسم در حال سقوط چقدر وزن دارد، درست مثل آنستکه بپرسیم، وقتی جسم وزن ندارد چقدر وزن دارد؟

گالیله پایه گذار مکانیک در قرن ۱۷ میلادی نوشت*: «ما هنگامی بار را روی دوش خود حس میکنیم که مانع سقوط آن میشویم. اما اگر با سرعتی مساوی سرعت باری که روی دوشمان است به پائین حرکت کنیم، آنوقت چطور بار میتواند فشار وارد بیاورد و باعث زحمت ما بشود؟ این مثل آنستکه بخواهیم نیزه ما به شخصی که با سرعتی مساوی سرعت ما جلوبان میدود، اصابت کند».**

آزمایش زیر که به آسانی میتوان آن را انجام داد، صحت گفته های گالیله را تایید میکند. در یک کفه ترازوی شاهین‌دار یک فندق شکن بگذارید، بطوری که یک دسته آن روی کفهٔ ترازو قرار بگیرد و دسته دیگر را با نخ به چنگک شاهین ترازو ببندید (ش ۲۴). در کفهٔ دیگر آنقدر وزنه بگذارید تا ترازو بحالت تعادل درآید. یک کبریت روشن را به نخ نزدیک کنید، نخ میسوزد و دسته بالائی فندق شکن به کفهٔ ترازو می‌افتد.

در این لحظه ترازو به چه حالتی در می‌آید؟ آیا در مدتی که دستهٔ فندق شکن سقوط میکند، کفهٔ ترازو که فندق شکن در آن قرار دارد، پائین می‌آید یا بالا میرود و یا در حال تعادل باقی میماند؟

حالا که شما میدانید که جسم در حال سقوط وزن ندارد، میتوانید از پیش به این سئوال جواب درست بدهید: کفهٔ ترازو باید برای یک لحظه بالا برود.

واقعاً هم، دستهٔ بالائی فندق شکن ضمن سقوط، گرچه به دستهٔ پائینی متصل است اما کمتر از حالت سکون بر آن فشار می‌آورد، و طبیعی است که کفه ترازو بالا میرود.

---

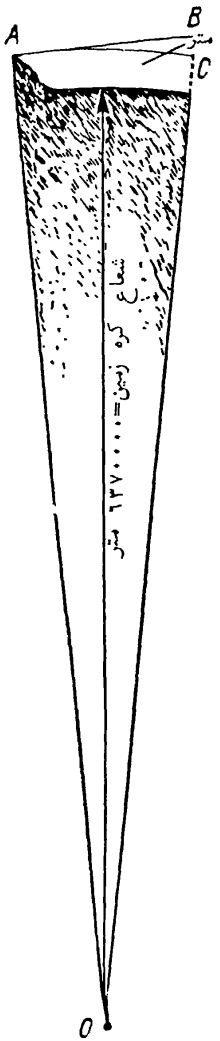
* در اثر «استدلالات ریاضی مربوط به دو رشته علم جدید». در سال ۱۹۳۴ ترجمه کامل روسی این اثر کم نظیر منتشر شد.

** بدون آنکه نیزه را از دست رها کنیم. (پرلمان)

در سالهای ۱۸۶۵ — ۱۸۷۰ در فرانسه رمان تخیلی ژول ورن بنام «سفر به ماه» منتشر شد. در این رمان فکر خارق‌العاده‌ای در مورد فرستادن یک گلولهٔ عظیم واگن‌مانند توپ با سرنشینان زنده به ماه مطرح شده است. ژول ورن نقشهٔ خود را بقدری شبیه به حقیقت مطرح ساخته بود که، لابد، برای اکثر خوانندگان این سئوال پیش می‌آمد: آیا ممکن نیست به این فکر جامهٔ عمل پوشاند؟ بد نیست در این مورد چند کلمه‌ای بگوئیم.*

ابتدا بررسی میکنیم که آیا ممکن است — حتی از نظر تئوری — با توپ طوری تیراندازی کرد که گلوله هرگز به عقب برنگردد و به زمین نیافتد؟ این کار از نظر تئوری ممکن است. واقعا هم، چرا گلوله‌ای که بطور افقی با توپ پرتاب شده است، بالاخره به زمین می‌افتد؟ زیرا زمین ضمن جذب گلوله خط سیر آن را کج میکند. گلوله نه بخط مستقیم، بلکه روی خط منحنی‌ای که بسوی زمین متمایل است، حرکت میکند. باین دلیل دیر یا زود به سطح زمین برمیخورد. البته، سطح زمین نیز منحنی است، اما انحنا خط سیر گلوله بمراتب بیش از انحنا سطح زمین است. اگر انحنا خط سیر گلوله را کم کنیم و آن را با انحنا سطح زمین برابر سازیم، در آنصورت چنین گلوله‌ای هرگز نمیتواند روی زمین بیافتد. این گلوله روی محیط دایره‌ای که با سطح کرهٔ زمین هم مرکز است، حرکت خواهد کرد، بعبارت دیگر، بصورت ماهواره زمین در خواهد آمد.

چگونه میتوان موفق شد که گلوله‌ای که با توپ پرتاب میشود روی خط منحنی‌ای با انحنا کمتر از انحنا سطح زمین حرکت کند؟ برای رسیدن به این هدف فقط باید به گلوله سرعت کافی داد. به شکل ۲۰ که مقطع قسمتی از کره زمین را نشان میدهد، توجه کنید. روی کوهی که ارتفاع آن را بحساب نمی‌آوریم، در نقطه A توپی قرار دار. اگر جاذبه زمین وجود نداشت، گلوله‌ای که با این توپ پرتاب میشد، پس از یک ثانیه در نقطه B میبود. اما جاذبه زمین وضع را تغییر میدهد و گلوله تحت تأثیر نیروی جاذبهٔ زمین پس از یک ثانیه نه در نقطهٔ B بلکه ۵ متر پائین‌تر، یعنی در نقطهٔ C خواهد بود. پنج متر مسافتی است که هر جسم در



شکل ۲۰ — محاسبه سرعت گلوله‌ای که باید برای همیشه زمین را ترک کند.

* حالا پس از پرتاب ماهواره های مصنوعی و نخستین موشک‌های کیهان پیما میتوانیم بگوئیم که برای مسافرت‌های فضائی از موشک استفاده میشود، نه از گلوله توپ. اما حرکت موشک پس از پایان کار آخرین طبقه آن، تابع همان قوانینی است که گلوله توپ میباشد. باین دلیل گفتهٔ مؤلف کهنه نشده است. (هیأت تحریریه)

حال سقوط آزاد (درخلأ) تحت تأثیر نیروی ثقل در نزدیک سطح زمین در نخستین ثانیه می‌پیماید. اگر گلولهٔ ما پس از این ۵ متر سقوط، از سطح زمین درست همانقدر ارتفاع داشته باشد که در نقطه A داشته است، درآنصورت معلوم میشود که روی منحنی هم مرکز با سطح کرهٔ زمین حرکت میکند.

کافی است خط AB (ش ۲۰)، یعنی مسافتی را که گلوله در یک ثانیه روی خط افقی می‌پیماید، حساب کنیم. آنوقت میفهمیم که گلوله را با چه سرعتی در ثانیه از دهانهٔ توپ پرتاب کنیم تا به مقصود خود نائل آئیم. این محاسبه از روی مثلث قائم الزاویه OAB کار آسانی است. در این مثلث OA شعاع کرهٔ زمین (در حدود ۶۳۷۰۰۰۰ متر)، OC = OA، BC = ۵ متر، پس OB = ۶۳۷۰۰۰۰۵ متر است. از اینجا طبق قضیه فیثاغورث خواهیم داشت:

$$(AB)^2 = (۶\,۳۷۰\,۰۰۰\,۵)^2 - (۶\,۳۷۰\,۰۰۰)^2$$

با محاسبه این فرمول می بینیم که AB تقریبا مساوی ۸ کیلومتر است.

بدین ترتیب، اگر هوا که بشدت مانع حرکت سریع میشود وجود نداشته باشد، گلوله‌ای که با سرعت ۸ کیلومتر در ثانیه روی خط افقی پرتاب شود هرگز به زمین نمی‌افتد، بلکه، مانند ماهواره، تا ابد به دور زمین میگردد.

حالا اگر گلوله را با توپ با سرعت باز هم بیشتر پرتاب کنیم، گلوله به کجا خواهد رفت؟ در مکانیک نجومی ثابت میشود که هرگاه گلوله با سرعت ۸ یا ۹ یا حتی ۱۰ کیلومتر در ثانیه از دهانه لولهٔ توپ پرتاب شود، باید بشکل بیضی دور کرهٔ زمین بگردد. ضمناً هر چه سرعت اولیه بیشتر باشد، این بیضی کشیده تر خواهد بود. چنانچه سرعت گلوله بیش از ۱۱/۲ کیلومتر در ثانیه باشد، گلوله منحنی نامسدودی بنام شلجمی رسم خواهد کرد که همیشه از زمین دور میشود. (ش ۲۶)

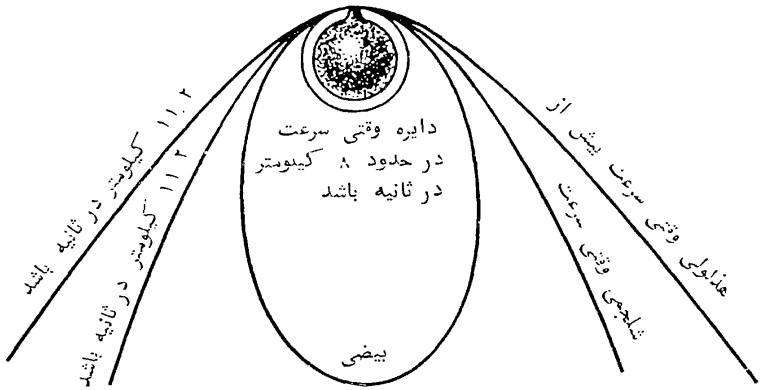
بنا بر این مشاهده میشود که از نظر تئوری پرواز به ماه در داخل گلوله‌ای که با سرعت بحد کافی زیاد پرتاب شود امکان‌پذیر است.*

(استدلالات بالا بفرض اتمسفری که در برابر حرکت گلوله ممانعت بوجود نیاورد، صورت گرفت. اما در شرایط واقعی، وجود مقاومت هوا رسیدن باین هدف‌ها را فوق‌العاده دشوار و شاید غیر ممکن میسازد).

ژول ورن چطور مسافرت به ماه را توصیف کرده است و این مسافرت چگونه میبایست صورت بگیرد

برای کسانی که رمان فوق‌الذکر ژول ورن را خوانده‌اند، آن لحظهٔ جالب مسافرت که گلوله از نقطه‌ای میگذشت که جاذبه زمین و ماه برابر میباشد، فراموش‌نشدنی است. در آنجا حادثه‌ای واقعاً افسانوی روی داد: تمام اجسام داخل گلولهٔ توپ وزن خود را از دست دادند و خود سرنشینان با یک پرش کوچک، بدون تکیه‌گاه در هوا معلق میماندند.

* اما در اینجا ممکن است اشکالات کاملا ویژه‌ای پیش بیاید. این مسأله در کتاب دوم «فیزیک برای سرگرمی» و نیز در کتاب دیگر اینجانب «مسافرت‌های بین کرات» بطور مشروحتر بررسی میشود.



وقتی سرعت از ۸ تا ۱۱/۲ کیلومتر در ثانیه باشد

شکل ۲۶ — سرنوشت گلوله‌ای که با سرعت اولیه ۸ کیلومتر در ثانیه و بیش از آن با توپ پرتاب شود.

این صحنه کاملا درست توصیف شده است، اما ژول ورن از نظر دور داشته است که این منظره میبایست هم قبل و هم بعد از عبور از نقطهٔ با جاذبهٔ برابر، نیز مشاهده شود. به آسانی میتوان ثابت کرد که سرنشینان گلوله و همهٔ اشیاء داخل آن از نخستین لحظهٔ پرواز آزاد باید بی‌وزن بشوند.

این مطلب باورنکردنی بنظر می‌آید، اما من یقین دارم که ۱ساعه تعجب خواهید کرد چرا خود شما قبلا متوجه سهو باین بزرگی نشده‌اید.

یک صحنه از رمان ژول ورن را بازگو میکنیم. بیشک، فراموش نکرده اید که چطور مسافران لاشهٔ سگ را بیرون انداختند و چگونه با حیرت و تعجب دیدند که لاشه به زمین نمی‌افتد، بلکه همراه گلولهٔ توپ همانطور بسرعت پیش میرود. نویسنده این پدیده را بدرستی توصیف کرده و صحیح توضیح داده است. واقعاً هم، بطوریکه میدانید، اجسام در خلاء با سرعت یکسانی سقوط میکنند. جاذبهٔ زمین به تمام اجسام شتاب یکسانی میدهد. در این مورد معین، هم گلولهٔ توپ و هم لاشهٔ سگ میبایست تحت تأثیر جاذبهٔ زمین سرعت سقوط یکسانی (شتاب یکسانی) داشته باشند، بعبارت صحیحتر، سرعتی که هنگام به پرواز درآمدن از دهانهٔ لولهٔ توپ به آنها داده شده بود، میبایست تحت تأثیر قوهٔ ثقل بطور یکسانی کم شود. بنا بر این، سرعت گلولهٔ توپ در هر نقطه از خط سیر میبایست با سرعت جسد مساوی باشد. باین دلیل بود که وقتی جسد سگ را از گلوله بیرون انداختند، همانطور بدنبال گلوله حرکت میکرد و ذره‌ای از آن عقب نمیماند.

اینجاستکه پی میبریم نویسنده به چه مسأله‌ای نیاندیشیده بود: در صورتیکه جسد سگ در خارج از گلولهٔ توپ سقوط نمیکند، پس چرا در داخل آن باید سقوط کند؟ آخر، هم در خارج و هم در داخل نیروهای یکسانی روی آن تأثیر میکنند. لاشهٔ سگ که در درون گلولهٔ توپ بدون تکیه‌گاه قرار دارد، باید در فضای داخل گلوله معلق بماند، سرعت آن با سرعت گلولهٔ توپ کاملا مساوی است، پس لاشه نسبت به گلوله بیحرکت باقی میماند.

آنچه در مورد لاشهٔ سگ صحیح است، برای بدن سرنشینان و بطور کلی برای همهٔ اشیاء داخل گلولهٔ توپ صحیح میباشد، یعنی در هر نقطهٔ خط سیر سرعت آنها با سرعت گلولهٔ توپ برابر است. بنا بر این وقتی حتی بدون تکیه‌گاه میمانند، نباید بیافتند. صندلی‌ای را که در کف گلولهٔ در حال پرواز جای دارد، میتوان بطور واژگون در سقف آن جای داد، و صندلی «پائین» نخواهد افتاد، زیرا همراه سقف به حرکت خود به جلو ادامه خواهد داد. مسافر میتواند روی این صندلی بنشیند، طوری که سرش بطرف پائین باشد و بدون ذره‌ای احساس افتادن به کف گلوله، همانطور در جای خود باقی بماند. چه نیروئی میتواند او را مجبور به افتادن کند؟ آخر، اگر او بیافتد، یعنی به کف گلولهٔ توپ نزدیک شود، در واقع بمعنای آنستکه گلوله در فضا سریعتر از سرنشین حرکت میکند. (در غیر اینصورت صندلی به کف گلوله نزدیک نمیشد). اما این کار ممکن نیست، زیرا ما میدانیم که همهٔ اشیاء داخل گلوله دارای همان شتابی هستند که خود گلوله دارد.

ژول ورن متوجه این مطلب نشده بود. او خیال میکرد که اشیاء داخل گلوله‌ای که بطور آزاد در حرکت است، فقط تحت تأثیر نیروهای جاذبه میباشند و مانند زمانی که گلولهٔ توپ بیحرکت بود، همانطور به سطح اتکاء خود فشار خواهند آورد. نویسنده از نظر دور داشته بود که وقتی هم جسم و هم تکیه‌گاه آن با شتاب یکسانی که تحت تأثیر نیروهای جاذبه کسب کرده‌اند، در فضا حرکت میکنند (سایر نیروهای خارجی — نیروی ثقل، نیروی مقاومت هوا — وجود ندارند) نمیتوانند بر یکدیگر فشار وارد آورند.

بدین ترتیب، از آن لحظهٔ مسافرت که تأثیر نیروی گازها بر روی گلولهٔ توپ قطع شد، سرنشینان گلوله هیچ وزنی نداشتند و میتوانستند بطور آزاد در هوای داخلی گلوله معلق بمانند و دور بزنند. کلیهٔ اشیاء داخل گلوله نیز میبایست درست همینطور کاملا بی‌وزن بنظر بیایند. سرنشینان گلوله از روی این نشانه بآسانی میتوانستند تعیین کنند که در فضا پرواز میکنند یا همانطور بیحرکت در داخل توپ مانده‌اند. اما ژول ورن در رمان خود شرح میدهد که چطور مسافران در نخستین نیم ساعت مسافرت آسمانی خویش میکوشیدند بفهمند: آیا پرواز میکنند یا نه؟ و هر چه فکر میکردند، نمیتوانستند به این سئوال جواب بدهند.

«— نیکل، آیا ما حرکت میکنیم؟

نیکل و آردان به هم نگاه کردند، آنها نوسان گلولهٔ توپ را حس نمیکردند.

آردان تکرار کرد:

— واقعا، آیا ما حرکت میکنیم؟

نیکل پرسید:

— یا روی زمین فنوریدا آرام دراز کشیده‌ایم؟

میشل افزود:

— یا در کف خلیج مکزیک؟».

اینگونه شک و تردیدها برای سرنشینان کشتی ممکن است، اما برای سرنشینان گلوله‌ای که بطور آزاد پرواز میکند، معقول نیست، زیرا سرنشینان کشتی وزن خود را حفظ میکنند، اما سرنشینان گلوله ممکن نیست متوجه نشوند که بکلی بی وزن شده‌اند.

این گلولهٔ واگن‌مانند تخیلی میبایست پدیده عجیبی را مجسم کند. جهان بسیار کوچکی که

در آن اجسام وزن ندارند و اگر آنها را در هوا رها کنی آرام و بیحرکت در جای خود باقی میمانند، اشیاء در هر حالتی که باشند تعادل خود را حفظ میکنند، آب از بطری واژگون شده نمیریزد...

ژول ورن هیچیک از این پدیده‌ها را در نظر نگرفته بود، در صورتیکه این امکانات حیرت‌انگیز میتوانست میدان پهناوری برای تخیلات نویسنده فراهم آورد.*

درست وزن کردن با ترازوئی که درست نیست

برای درست وزن کردن چه چیز مهمتر است: ترازو یا وزنه؟

اگر بگوئید هر دو بیک اندازه مهم است اشتباه کرده‌اید، زیرا اگر وزنه‌های درست در اختیار داشته باشید، با ترازوئی هم که درست نباشد، میتوانید درست وزن کنید. برای درست وزن کردن با ترازوئی که درست نیست چند راه وجود دارد. دو راه از این راهها را بررسی میکنیم.

راه اول راهی استکه از طرف مندله‌یف شیمی‌دان بزرگ روسی پیشنهاد شده است. اول در یک کفه ترازو باری میگذارند. این بار هر چه باشد تفاوت ندارد، فقط باید از جسمی که میخواهند وزن کنند سنگینتر باشد. در کفه دیگر ترازو آنقدر وزنه میگذارند تا توازن برقرار شود. بعد جسمی را که مینحواهند وزن کنند در کفه‌ای که وزنه‌ها قرار دارد میگذارند و آنقدر از وزنه‌ها برمیدارند تا از نو توازن برقرار شود. روشن است که وزن وزنه‌های برداشته شده با وزن جسم برابر است، زیرا حالا جسم در همان کفه بجای وزنه‌های برداشته شده قرار گرفته است، پس وزن آنها با وزن جسم مساوی است.

این راه که آن را راه «بار ثابت» مینامند، بخصوص وقتیکه باید چند جسم را پشت سر هم وزن کرد، بسیار مناسب است. بار اولیه ثابت میماند و از آن برای وزن کردن همهٔ جسم‌ها استفاده میشود.

راه دوم، بنام دانشمندی که آن را پیشنهاد کرده است، «راه بورد» نامیده میشود و بطریق زیر اجرا میگردد: جسمی را که میخواهند وزن کنند در یک کفهٔ ترازو میگذارند، در کفهٔ دیگر آنقدر شن یا ساچمه میریزند تا توازن برقرار شود. بعد جسمی‌را که میخواهند وزن کنند از کفهٔ ترازو برمیدارند (به شن‌ها دست نمیزنند) و بجای آن آنقدر وزنه میگذارند تا از نو توازن برقرار شود. روشن است که حالا وزن وزنه‌ها با وزن جسمی که در آن کفه بوده است، برابر میباشد. چون در این راه جسم را از کفه ترازو برمیدارند و عوض آن وزنه میگذارند، این راه را راه «تعویض» نیز میگویند.

این راه ساده برای ترازوهای فنری که فقط یک کفه دارند نیز قابل استفاده است، بشرط آنکه مقداری وزنهٔ درست در اختیار داشته باشید. در اینجا دیگر احتیاجی به شن یا ساچمه نیست. جسم

---

* حالا از گفتگوهای فضانوردان شوروی و امریکائی و از فیلمهائی که در فضا برداشته شده شرایط کار و زندگی در حالت بی‌وزنی بخوبی معلوم است. بسیاری از خوانندگان هنگام پخش مستقیم تلویزیونی از سفینه‌های فضائی شوروی، پدیده‌های حالت بی وزنی را روی صفحهٔ تلویزیون‌های خود دیده‌اند. کتاب خایکین «نیروهای اینرسی و بی‌وزنی»، بنگاه نشریات «نائوکا» سال ۱۹۶۷، و کتاب لوانتوفسکی «ثقل، بی‌وزنی، فرابار» بنگاه نشریات «ازنانیه» سال ۱۹۶۵ به بررسی ویژه مسألهٔ بی وزنی تخصیص داده شده است. (هیأت تحریریه)

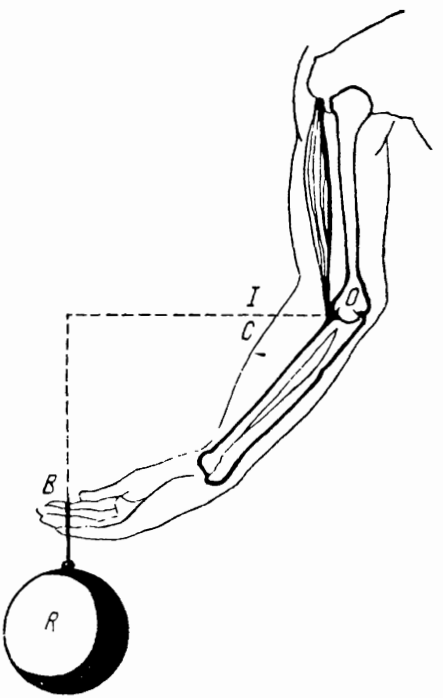
را در کفهٔ ترازو بگذارید و ببینید شاخص روی کدام درجه می‌ایستند. بعد جسم را بردارید و آنقدر وزنه در کفهٔ ترازو بگذارید تا شاخص از نو روی همان درجه بایستد. واضح است که وزن این وزنه‌ها با وزن جسمی که وزنه‌هارا بجای آن گذاشته‌اید مساوی میباشد.

نیرومندتر از خویش

چه باری میتوانید بلند کنید؟ فرض کنیم ۱۰ کیلوگرم. خیال میکنید این ۱۰ کیلوگرم نیروی عضلات دست شما را تعیین میکند؟ اشتباه میکنید، عضلات بمراتب نیرومندترند! برای مثال به عمل عضلهٔ دست که عضلهٔ دوسر نام دارد، توجه کنید (ش ۲۷). استخوان ساعد اهرمی است که عضلهٔ دوسر بازو به نزدیک نقطهٔ اتکاٴ آن وصل شده و بار به سر دیگر این اهرم زنده فشار می‌آورد. فاصلهٔ میان بار و نقطهٔ اتکاٴ اهرم، یعنی مفصل آرنج، تقریباً ۸ برابر فاصلهٔ میان انتهای عضله و نقطهٔ اتکاٴ میباشد. بنا بر این اگر بار ۱۰ کیلوگرم باشد، عضله با نیروی ۸ برابر آن کشیده میشود. عضله که در این حالت نیرویش به ۸ برابر نیروی دست ما میرسد، بدون اهرم میتوانست نه ۱۰ کیلوگرم، بلکه ۸۰ کیلوگرم بلند کند.

ما میتوانیم بدون اغراق بگوئیم که هر آدم بمراتب از خودش نیرومندتر است، یعنی عضلات ما نیروئی بمراتب بیشتر از آنچه در حرکات ما ظاهر میشود، انجام میدهند.

آیا اینگونه ساختمان بدن مناسب و مفید است؟ در نظر اول، مثل اینکه نه، زیرا می بینیم که در اینجا مقداری نیرو تلف میشود و بهیچوجه جبران نمیگردد. اما بیائید «قانون زرین» مکانیک را که از قدیم‌الایام معروف است، بیاد بیاوریم: آنچه را در صرف نیرو از دست میدهیم در تغییر مکان بدست می‌آوریم. در اینجا نیز سرعت بیشتری بدست می‌آوریم، دست‌های ما ۸ بار سریعتر از عضلاتی که آنهارا بحرکت در می آورند، حرکت میکنند. طرز اتصال عضلات را که ما



شکل ۲۷ — ساعد انسان اهرم نوع دوم است (در شکل با حرف C نشان داده شده). نیروی محرکه بر نقطه I وارد می‌آید. نقطه اتکاٴ اهرم در نقطه O مفصل قرار دارد. فشاری که عضله در برابر آن مقاومت میکند (بار R) بر نقطه B وارد می‌آید. طول BO تقریباً ۸ برابر IO میباشد. (تصویر از اثر بورلی دانشمند قرن ۱۷ میلادی، از اهالی فلورانس، بنام «در باره حرکت حیوانات» اقتباس شده است. در این اثر قدیمی برای نخستین بار قوانین مکانیک بر فیزیولوژی تطبیق شده است).

در بدن حیوانات مشاهده میکنیم، موجب چابکی حرکت دست و پا میشود، این چابکی برای تنازع بقاء از نیرو مهمتر است. اگر ساختمان دست و پای ما طبق این اصل نبود، ما موجوداتی فوق‌العاده کند حرکت میبودیم.

چرا اشیاء نوک‌تیز بآسانی فرو میروند؟

آیا به این مسأله فکر کرده‌اید که چرا سوزن بآسانی چیزهای مختلف را سوراخ میکند؟ چرا سوراخ کردن ماهوت یا مقوا با سوزن نازک آسان و با میخ نوک‌پهن مشکل است؟ ظاهراً در هر دو مورد مقدار مساوی نیرو بکار میرود.

نیرو مساوی است، اما با وجود این فشار مساوی نیست. در مورد اول تمام نیرو در نوک نیز سوزن متمرکز میشود. در مورد دوم همان نیرو در سطح زیاد نوک میخ پخش میگردد. بنا بر این در صورتیکه دست ما سوزن و میخ را با نیروی یکسانی بفشارد، فشار سوزن بمراتب بیشتر از فشار میخ نوک پهن است. همه میگویند سازوئی که ۲۰ دندانه دارد، از سازوئی بهمان وزن که ۶۰ دندانه دارد، ناک را در عمق بیشتری نرم میکند. چرا؟ زیرا بار روی هر دندانه در مورد اول بیش از مورد دوم است.

وقتی از فشار صحبت میشود، همیشه باید علاوه بر نیرو، سطحی را که نیرو بر آن وارد می‌آید نیز در نظر گرفت. وقتی به ما میگویند فلان آدم ۱۰۰۰ روبل حقوق میگیرد، ما هنوز نمیدانیم این مقدار زیاد است یا کم، باید دانست در یک ماه یا یک سال. عمل نیرو نیز عیناً همینطور، بسته به آنستکه آن نیرو در یک سانتیمتر مربع تقسیم میشود یا در یک صدم میلیمتر مربع متمرکز میگردد. آدم با اسکی روی برف نرم راه میرود، اما بی‌اسکی توی برف فرو میرود. چرا؟ زیرا در مورد اول فشار بدن او در سطح بمراتب بیشتری تقسیم میشود، تا در مورد دوم. اگر سطح اسکی مثلا ۲۰ برابر سطح کف کفش ما باشد، در آنصورت فشاری که بدن ما با اسکی بر برف وارد می‌آورد، ۲۰ بار ضعیف تر از فشاری است که با کفش بدون اسکی وارد می‌آورد. برف نرم در برابر فشار مورد اول مقاومت میکند، اما در برابر فشار مورد دوم نمیتواند مقاومت کند.

بهمین دلیل زیر سم اسب‌هائی که در باطلاق کار میکنند، «کفش‌های» مخصوصی می‌بندند تا سطح اتکاء پاهای آنها را زیاد و باین وسیله فشار بر زمین باطلاقی را کم کنند. در اینصورت پای اسب در باطلاق فرو نمیرود. آدم‌ها نیز در برخی جاهای باطلاقی همین کار را میکنند. آدمها روی یخ نازک خزیده میروند تا وزن بدن خودرا بر سطح بیشتری تقسیم کنند.

بالاخره، علت اینکه تانک ها و تراکتورهای شنیل‌دار با وجود وزن زیاد در زمین نرم فرو نمیروند، اینستکه وزن آنها بر سطح اتکاء بزرگی تقسیم میشود. ماشین شنیل‌دار بوزن ۸ تن و حتی بیش از آن، بر هر سانتیمتر مربع بیش از ۶۰۰ گرم فشار وارد نمی‌آورد. اتومبیل‌های شنیل‌دار که برای حمل و نقل بار در باطلاق‌ها بکار میروند، از این نقطه نظر خیلی جالبند. این نوع اتومبیل‌ها مثلا وقتی ۲ تن بار میبرند، بر هر سانتیمتر مربع زمین بیش از ۱۶۰ گرم فشار وارد نمی‌آورند و باین دلیل در زمینهای باطلاقی و شن زارها بخوبی حرکت میکنند.

در این موارد سطح اتکاء بزرگ از نظر فنی بهمان اندازه مناسب و مفید است که در مورد سوزن سطح اتکاء کوچک مناسب و مفید میباشد.

بنا بر آنچه گفته شد، اشیاء نوک تیز فقط در نتیجهٔ سطح بسیار کوچکی که عمل نیرو بر آن تقسیم میشود، براحتی فرو میروند و سوراخ میکنند. درست بهمین دلیل استکه کارد تیز بهتر از کارد کند می برد، زیرا نیرو در سطح کمتری متمرکز میشود.

بدین ترتیب، اشیاء تیز باین دلیل خوب سوراخ میکنند و خوب می‌برند که در نوک تیز یا لبه تیز آنها فشار زیادی متمرکز میشود.

مانند لویاتان*

چرا وقتی روی چهارپایه معمولی می‌نشینیم احساس میکنیم که سفت است، اما وقتی روی صندلی که آنهم جوبی است می‌نشینیم اصلا چنین احساسی نمیکنیم؟ چرا وقتی روی هاماکی که از تخهای نرم ست؛ چرا وقتی روی تور سیمی که بجای درش ت در ه احساس نمیکنیم که سفت است؟

فهم ین مطلب مشکل نیست. نشیمن‌گاه چهارپایهٔ معمولی مستوی است. بدن ما فقط در سطح کوچکی با آن تماس می‌یابد و تمام وزن بالاتنه روی آن متمرکز میشود. اما نشیمن‌گاه صندلی مقعر است و در سطح بیشتری با بدن ما تماس مییابد و وزن بالاتنه بر این سطح تقسیم میشود، بنا بر این روی هر واحد سطح بار کمتر و در نتیجه فشار کمتری وارد می آید.

بدین ترتیب اصل مسأله در اینستکه فشار بطور مناسب‌تری تقسیم میشود. وقتی ما روی دوشک نرمی دراز میکشیم در آن فرورفتگی‌هائی متناسب با برآمدگی‌های بدن ما بوجود می‌آید. در این حالت فشار وارد بر سطح پائینی بدن تقریبا یکنواخت تقسیم میشود، بطوریکه بر هر سانتیمتر مربع فقط چند گرم فشار وارد می‌آید. تعجب‌آور نیست که ما در این حالت احساس نرمی میکنیم.

این تفاوت‌را بآسانی میتوان با عدد نشان داد. سطح بدن یک انسان بالغ در حدود ۲ متر مربع یا ۲۰۰۰۰ سانتیمتر مربع است. فرض کنیم وقتی روی تختخواب دراز میکشیم تقریبا $\frac{1}{4}$ سطح بدن ما، یعنی ۰/۵ متر مربع یا ۵۰۰۰ سانتیمتر مربع روی دوشک قرار میگیرد و با آن تماس پیدا میکند. وزن بدن انسان بطور متوسط در حدود ۶۰ کیلوگرم یا ۶۰۰۰۰ گرم است. بنا بر این بر هر سانتیمتر مربع فقط باندازه ۱۲ گرم فشار وارد می‌آید. اما وقتی روی تخته‌های بدون دوشک دراز میکشیم، فقط نقاط کوچکی از بدن ما که سطح کل آنها در حدود ۱۰۰ سانتیمتر مربع است، با سطح تکهٔ تماس پیدا میکند. بنا بر این بر هر سانتیمتر مربع نه در حدود ۱۰ گرم، بلکه نیم کیلوگرم فشار وارد می‌آید. ملاحظه میکنید که تفاوت از زمین تا آسمان است، ما فوراً این تفاوت را حس میکنیم و میگوئیم که «بستر‌مان سفت است».

اما اگر فشار بر سطح بزرگی بطور یکسان تقسیم شود، ممکن است حتی روی سفت‌ترین بستر احساس سفتی نکنیم. فرض کنید که روی گل نرمی دراز کشیده‌اید، شکل خارجی بدن شما روی گل

---

*لویاتان که معرب آن «لاویثان» میباشد، نام جانور افسانوی است که در کتاب مقدس مذهبی موسوم به «کتاب عهد عتیق» از آن نام برده شده است. این نام را در باره آدم زورمند و عظیم‌الجثه نیز استعمال میکنند. (مترجم)

نقش می‌بندد. بعد، از روی گل برمیخیزید و میگذارید گل بهمان شکل خشک شود (گل ضمن خشک شدن ۵ تا ۱۰ درصد منقبض میشود، اما فرض میکنیم که این عمل صورت نگیرد). وقتی گل با نقشی که از بدن شما روی آن مانده است، مثل سنگ سفت شد، باز هم روی آن بخوابید، بطوری که بدنتان در این قالب سنگی قرار گیرد. آنوقت با اینکه بمعنای واقعی کلمه روی سنگ خوابیده اید، احساس سفتی نمیکنید و مثل آنستکه روی دوشک پر قو خوابیده‌اید. شما شبیه لویاتان افسانوی میشوید که لوسونوسف در اشعار خود توصیف کرده است:

همی خوابد بروی سنگ نوک‌تیز
نبیند سفتی و سختی در آن جای
به نیروی عظیم و استوارش
شمارد سنگ خارا را گل و لای

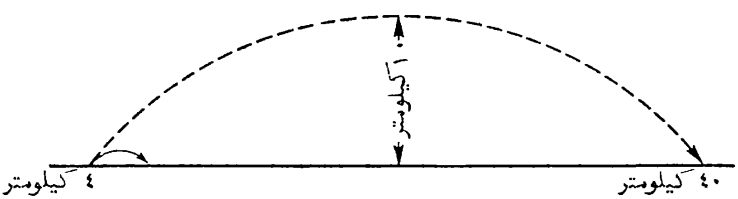
اما دلیل اینکه شما سفتی بستر را احساس نمیکنید، نه «نیروی عظیم و استوار»، بلکه تقسیم وزنتان بر سطح اتکاء بسیار بزرگی میباشد.

فصل سوم

مقاومت محیط

گلوله و هوا

همه میدانند که هوا در برابر پرواز گلوله مقاومت میکند، اما فقط عده کمی میتوانند بطور وضوح مجسم کنند که این مقاومت ترمزکننده تا چه حد زیاد است. اکثریت مردم فکر میکنند که محیط لطیفی مانند هوا که ما معمولا حتی آن را حس نمیکنیم، نمیتواند بطور محسوسی مانع پرواز سریع گلولهٔ تفنگ بشود.



شکل ۲۸ — پرواز گلوله در خلأ و در هوا. قوس بزرگ راهی را نشان میدهد که اگر هوا وجود نمیداشت گلوله می‌پیمود. قوس کوچک سمت چپ راهی است که گلوله در هوا واقعاً می‌پیماید.

اما به شکل ۲۸ نظر بیاندازید، آنوقت می‌فهمید که هوا برای گلوله مانعی فوق‌العاده جدی میباشد. در این شکل قوس بزرگ راهی را نشان میدهد که اگر هوا وجود نداشت، گلوله می‌پیمود. گلوله‌ای که با زاویهٔ ۴۵ درجه و سرعت اولیهٔ ۶۲۰ متر در ثانیه از لولهٔ تفنگ بیرون بیاید، قوس بسیار بزرگی به ارتفاع ۱۰ کیلومتر رسم می‌کرد و مسافتی در حدود ۴۰ کیلومتر می‌پیمود. اما در واقع، گلوله با همین شرایط قوس نسبتا کوچکی رسم میکند و مسافتی در حدود ۴ کیلومتر می‌پیماید. این قوس که در شکل ۲۸ نشان داده شده، در پهلوی قوس اولی تقریباً به چشم نمیخورد. اینست نتیجه عکس‌العمل هوا! اگر هوا نمیبود می‌توانستیم بارانی از گلوله به ارتفاع ۱۰ کیلومتر بلند کنیم و از مسافت ۴۰ کیلومتری بر سر دشمن بریزیم.

تیراندازی با برد فوق‌العاده زیاد

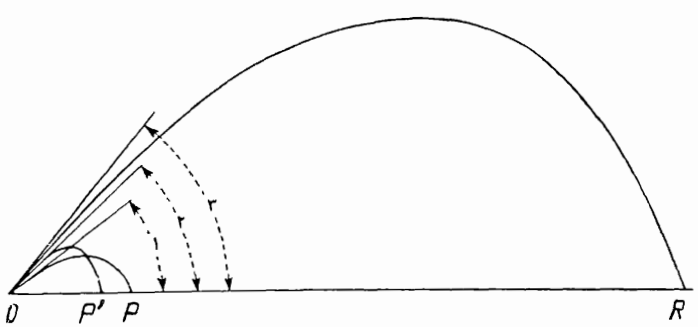
در اواخر جنگ جهانی اول سال ۱۹۱۸ موفقیت‌های نیروهای هوائی فرانسه و انگلیس بد حمله‌های هوائی آلمان پایان داد، توپخانه آلمان برای نخستین بار به گلوله باران کردن دشمن از مسافت صد کیلومتر و بیش از صد کیلومتر پرداخت. ستاد ارتش آلمان برای ضربه وارد آوردن بر پایتخت فرانسه که بیش از ۱۱۰ کیلومتر از جبهه دور بود، راهی غیر از حمله هوائی یعنی راه استفاده از توپخانه را برگزید.

این راه راهی بود کاملا تازه که تا آن زمان هیچکس آن را نیازموده بود. توپچی‌های آلمانی تصادفاً به این راه برخوردند. ضمن تیراندازی با توپ کالیبر بزرگ با زاویهٔ زیاد بطور غیر منتظره معلوم شد که برد تیر بجای ۲۰ کیلومتر به ۴۰ کیلومتر میرسد. معلوم شد گلوله‌ای که با زاویهٔ زیاد و با سرعت اولیهٔ زیاد پرتاب شود، به قشرهای بالائی رقیق اتمسفر میرسد که در آنجا مقاومت هوا بسیار کم است. گلوله قسمت زیادی از خط سیر خود را در چنین محیطی با مقاومت کم می‌پیماید و سپس با زاویه زیاد به زمین فرود می‌آید. در شکل ۲۹ بطور وضوح دیده میشود که با تغییر زاویه تیر برد تیر، یعنی مسافتی که گلوله می‌پیماید چقدر زیاد تغییر میکند.

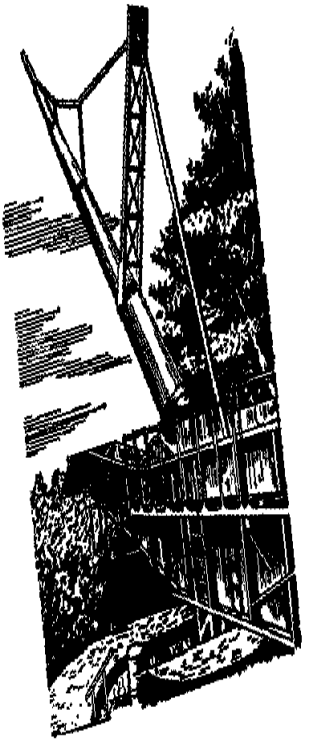
آلمانی‌ها همین مشاهده را پایه و اساس طرح توپ بابرد فوق‌العاده زیاد برای گلوله‌باران کردن پاریس از مسافت ۱۱۰ کیلومتر قرار دادند. توپ را با موفقیت ساختند و در طی تابستان سال ۱۹۱۸ با آن بیش از سیصد گلوله بر روی پاریس انداختند.

اطلاعاتی که بعداً در باره این توپ بدست آمده بقرار زیر است:

این توپ لولهٔ عظیم پولادینی بود بطول ۳۴ متر و به کلفتی یک متر تمام، ضخامت بدنه لوله در قسمت خزانه ۴۰ سانتی‌متر و وزن توپ ۷۵۰ تن بود. طول گلوله‌های ۱۲۰ کیلوگرمی آن یک متر و



شکل ۲۹ — چگونگی برد تیر متناسب با تغییر زاویه تیر در توپ با برد فوق‌العاده زیاد. گلوله با زاویه تیر (۱) در نقطه P و با زاویه تیر (۲) در نقطه P′ فرود می‌آید، اما با زاویه تیر (۳) برد تیر یکباره چندین برابر میشود، زیرا گلوله به قشرهای رقیق آتمسفر میرسد.



شکل ۳۰ — توپ آلمانی «کولوسال». نمای ظاهری.

کالیبر گلوله ۲۱ سانتی‌متر بود. خرج* توپ معادل ۱۵۰ کیلوگرم باروت بود. فشار داخل لوله به ۵۰۰۰ اتمسفر میرسید و سرعت اولیهٔ گلوله ۲۰۰۰ متر در ثانیه بود. تیراندازی با زاویهٔ ۵۲ درجه صورت میگرفت. گلوله قوس عظیمی رسم میکرد که بالاترین نقطه آن در ارتفاع ۴۰ کیلومتر بالای سطح زمین یعنی در ارتفاعات بسیار زیاد ماوراء جو قرار داشت. گلوله خط سیر خود را از موضع توپ تا پاریس — ۱۱۵ کیلومتر — در مدت ۳/۵ دقیقه طی میکرد، دو دقیقه از این سه دقیقه و نیم را در ماوراء جو می‌پیمود.

نخستین توپ با برد فوق‌العاده زیاد، یعنی حد بزرگ توپ‌های با برد فوق‌العاده زیاد امروزی، چنین اعجوبه‌ای بوده است.

هر چه سرعت اولیهٔ گلوله بیشتر باشد مقاومت هوا نیز بیشتر است. مقاومت هوا متناسب با سرعت تغییر نمی‌یابد، بلکه، بسته به مقدار سرعت، متناسب با توان دو یا توان‌های بیشتر سرعت افزایش می‌یابد.

چرا بادبادک کاغذی به هوا بلند میشود؟

آیا هرگز کوشیده‌اید بفهمید چرا وقتی نخ بادبادک کاغذی را به جلو میکشیم بادبادک بالا میرود؟

اگر بتوانید به این سؤال جواب بدهید، آنوقت می‌فهمید که چرا هواپیما پرواز میکند، چرا تخم‌های افرا در هوا حرکت میکنند و حتی میتوانید علت حرکات عجیب و غریب بومرانگ را تا حدودی بفهمید. همهٔ این پدیده‌ها از یک نوع هستند. همان هوائی که در برابر پرواز گلوله چنان مقاومت جدی میکند، برای پرواز نه فقط تخم افرا و بادبادک کاغذی سبک، بلکه برای پرواز هواپیمای سنگین با دهها سرنشین نیز شرایط فراهم می‌آورد.

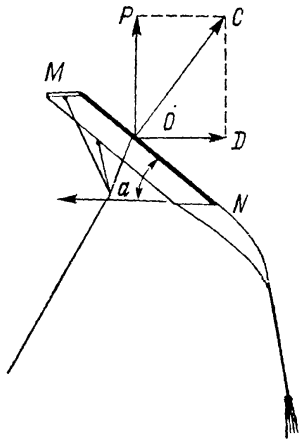
برای توضیح علت بالا رفتن بادبادک کاغذی لازم است رسم ساده‌ای بکشیم. فرض میکنیم خط MN (شکل ۳۱) مقطع بادبادک را نشان میدهد. وقتی بادبادک را هوا میکنیم و نخ آن را میکشیم، بادبادک بعلت سنگینی دنبالهٔ آن بطور مایل حرکت میکند. فرض میکنیم این حرکت از راست به چپ صورت میگیرد. زاویهٔ تمایل سطح بادبادک را با افق بوسیلهٔ زاویهٔ a نشان میدهیم. حالا ببینیم ضمن این حرکت چه نیروهائی روی بادبادک تأثیر میکنند. البته هوا در برابر حرکت بادبادک مقاومت میکند و بر آن فشاری وارد می‌آورد. این فشار در شکل ۳۱ بصورت بردار OC نشان داده شده است. از آنجا که هوا همیشه بطور عمودی بر سطح فشار وارد می‌آورد خط OC نسبت به خط MN با زاویه

---

* خرج — در اصطلاح توپخانه به مقدار باروتی گفته میشود که برای یک بار پر کردن توپ بکار میرود. (مترجم)

قائمه کشیده شده است. میتوان با ساختن متوازی‌الاضلاعی که متوازی‌الاضلاع نیروها نام دارد، نیروی OC را به دو نیرو تجزیه کرد. بدین ترتیب بجای نیروی OC دو نیروی OD و OP را بدست می آوریم. از این دو نیرو، نیروی OD بادبادک را به عقب میراند و در نتیجه ازسرعت اولیه آن میکاهد. نیروی دیگر یعنی نیروی OP بادبادک را بالا میکشد و از وزن آن میکاهد و اگر باندازه کافی زیاد باشد، میتواند وزن بادبادک را از میان ببرد و آن را بلند کند. باین دلیل است که وقتی نخ بادبادک را میکشیم، بادبادک به هوا بلند میشود.

هواپیما نیز همان بادبادک است، با این تفاوت که بجای نیروی محرک دست ما نیروی محرک ملخ هواپیما یا موتور جت عمل میکند و هواپیما را به جلو میراند و در نتیجه هواپیما را، مانند بادبادک، بالا میبرد. در اینجا فقط شمای کلی پدیده داده شده است. عوامل دیگر نیز هست که موجب بالا رفتن هواپیما میشود، در بارهٔ این عوامل بعداً بحث خواهد شد.*



شکل ۳۱ — نیروهائی که روی بادبادک تأثیر میکنند.

هواسرهای زنده**

ملاحظه میکنید که هواپیما بر خلاف آنچه معمولا فکر میکنند، مانند پرندگان ساخته نشده، بلکه بیشتر به سنجاب‌های پرنده و ماهی‌های پرنده و سایر این نوع حیوانات شباهت دارد. اما جانوران نامبرده از پرده‌های پرواز خود برای بلند شدن استفاده نمیکنند، بلکه فقط برای پرش‌های بزرگ و یا بقول خلبانان برای «سریدن بدون کار موتور» استفاده میکنند. در این جانوران نیروی OP (ش ۳۱) برای تعادل با وزن بدنشان کافی نیست. این نیرو فقط از وزن آنها میکاهد و در نتیجه کمک میکند که بتوانند از نقاط مرتفع پرش‌های بزرگ انجام دهند (ش ۳۲). سنجاب‌های پرنده از نوک یک درخت به شاخه‌های پائینی درخت دیگر پرش‌هائی بطول ۲۰ — ۳۰ متر انجام میدهند. در هند و در سیلان نوع بمراتب بزرگتری از سنجاب‌های پرنده بنام «تاگوآن» وجود دارد که به بزرگی گربه‌های ماست و وقتی «هواسر» خود را باز میکند پهنای آن به نیم متر میرسد. این پردهٔ پرواز بزرگ به این جانور امکان میدهد تا باوجود وزن نسبتا زیادش پرش‌هائی بطول در حدود ۵۰ متر انجام دهد. حیوان دیگری از این نوع که در جزایر زوند و فیلیپین زندگی میکند، پرش‌هائی بطول تا ۷۰ متر انجام میدهد.

---

* به کتاب دوم «فیزیک برای سرگرمی» مبحث «موج‌ها و گردبادها» مراجعه کنید.

** هواسر — کلمه‌ای است مرکب از «هوا» و ریشه فعل «سریدن» که بمعنای «هواپیمای بی موتور» یا planeur بکار میرود. (مترجم)

شکل ۳۲ — سنجاب‌های پرنده هنگام پرش. سنجاب‌های پرنده از نقاط مرتفع پرش‌هائی بطول ۲۰ — ۳۰ متر انجام میدهند.

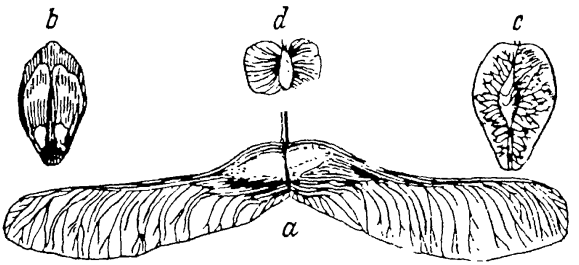
پرواز بدون موتور برخی از گیاهان

گیاهان نیز اغلب برای پخش میوه‌ها و تخم‌های خود از هواسر استفاده میکنند. میوه‌ها و تخم‌های بسیاری از گیاهان (از قبیل گل قاصدی، ریش‌بز و پنبه) یک دسته تار نازک دارند که مانند چتر نجات عمل میکند، بسیاری دیگر دارای جوانه‌ها و برآمدگی‌های مسطحی هستند که آنها را در هوا نگهمیدارند. میوه‌ها و تخم های درختان سوزن‌برگ، افرا، زبان گنجشک، غان، کولکی، زیرفون و بسیاری از گیاهان چتری نیز اینگونه هواسرهای گیاهی دارند.

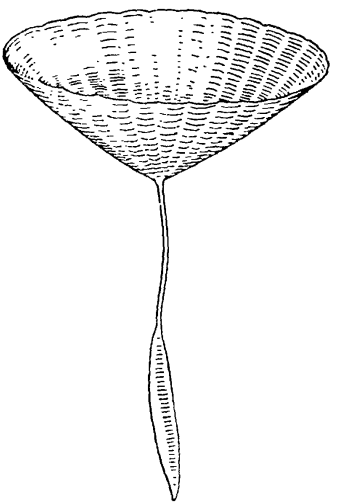
کرنر فون ماریلان در کتاب معروف خود « زندگی گیاهان » مینویسد :

« بسیاری از میوه‌ها و تخم‌ها در روزهای آفتابی و بدون باد بوسیله جریان قائم هوا تا ارتفاعات زیادی بالا میروند، اما پس از غروب آفتاب معمولا از نو در همان نزدیکی فرود می‌آیند. اینگونه پرواز ها برای روئیدن گیاهان در برآمدگی‌ها و شکاف‌های سرازیری‌های تند و سنگلاخ های عمودی که تخم‌ها بطریق دیگری نمیتوانند آنجا بیافتند، مهمتر است تا برای پخش گیاهان در طول و عرض. اما جریان‌های افقی هوا تخم‌ها و میوه‌هائی را که در هوا در پروازند تا مسافت‌های زیاد می‌برند.

بال‌ها یا چترهای تخم‌های برخی از گیاهان فقط هنگام پرواز به تخم‌ها متصل میمانند. تخم‌های خارخسک به آرامی در هوا شناورند، اما همینکه به مانعی بربخورند تخم از چتر جدا میشود و به زمین می افتد. علت اینکه خارخسک در پای دیوارها و چپرها اینهمه زیاد میروید، همین است. تخم‌های برخی از گیاهان دیگر همیشه به چتر متصل میمانند ».



شکل ۳۴ — تخم‌های پرنده گیاهان: a — تخم بالدار افرا، b — کاج، c — نارون، d — غان.



شکل ۳۳ — میوه ریش‌بز.

در شکل ۳۳ و ۳۴ برخی میوه‌ها و تخم‌های دارای «هواسر» تصویر شده است.

هواسرهای گیاهی از جهات بسیاری از هواسرهای ساخت انسان کاملتر هستند. نسبت به وزن خود بار بمراتب بیشتری را بلند میکنند. علاوه بر این برخی از «هواپیماهای گیاهی» بطور خودکار تعادل خودرا حفظ میکنند. مثلا اگر تخم یاسمن هندی را وارونه کنیم، خود تخم از نو برمیگردد و طرف محدبش به سوی پائین قرار میگیرد. اگر ضمن پرواز به مانعی بربخورد تعادلش را از دست نمی‌دهد و سقوط نمیکند، بلکه آرام فرود می‌آید.

پرش طولانی چترباز

در اینجا پرش‌های قهرمانانه چتربازان ما به‌یاد انسان می‌آید. این استادان پرش با چترنجات از ارتفاع در حدود ۱۰ کیلومتر میپریدند و فقط پس از طی قسمت اعظم راه حلقهٔ چتر نجات را میکشیدند و آخرین چند صد متر را با چتر آهسته فرود می‌آمدند.

بسیاری تصور میکنند که وقتی انسان بدون باز کردن چترنجات از هواپیما می پرد، طوری فرود می‌آید که گوئی در خلأ است. اگر چنین می‌بود، اگر جسم انسان در هوا مانند در خلأ فرود می‌آمد، پرش طولانی مدتی بمراتب کمتر از مدت واقعی طول میکشید و سرعت فرود آمدن در انتهای پرش فوق‌العاده زیاد می‌شد.

اما مقاومت هوا مانع افزایش سرعت میشود. سرعت فرود آمدن چترباز هنگام پرش‌های طولانی فقط در نخستین ده دوازده ثانیه و در مسافت چند صد متر اولیه افزایش می‌یابد. در نتیجهٔ افزایش سرعت مقاومت هوا بقدری زیاد میشود که بزودی لحظه‌ای فرا میرسد که سرعت دیگر تغییر نمیکند. حرکت باشتاب به حرکت یکنواخت تبدیل میشود.

میتوان بوسیله محاسبه نمای کلی پرش طولانی‌را از نظر مکانیک ترسیم کرد. فرود آمدن با شتاب چترباز، بسته به وزن وی، ۱۲ ثانیه یا قدری کمتر طول میکشد. در این ده دوازده ثانیه چترباز در حدود ۴۰۰ — ۵۰۰ متر فرود می‌آید و سرعت فرود آمدنش به در حدود ۵۰ متر در ثانیه میرسد. تمام بقیه راه را تا باز کردن چترنجات با همین سرعت و با حرکت یکنواخت می پیماید.

قطره‌های باران نیز تقریبا همینطور فرود می‌آیند، با این تفاوت که نخستین مرحله فرود آمدن، یعنی وقتی سرعت هنوز افزایش می‌یابد، برای قطرهٔ باران فقط در حدود یک ثانیه و حتی کمتر میباشد. باین دلیل سرعت نهائی قطرهٔ باران به اندازهٔ سرعت چترباز هنگام پرش طولانی زیاد نیست و بسته به کوچکی و بزرگی قطرهٔ باران از ۲ تا ۷ متر در ثانیه میباشد. *

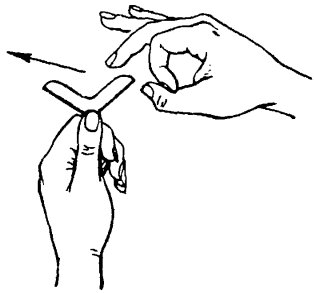
بومرانگ

بومرانگ کامل ترین محصول فن و تکنیک انسان اولیه میباشد. این اسلحه عجیب و بی نظیر مدت مدیدی موجب حیرت و تعجب دانشمندان بود. واقعاً هم اشکال عجیب و پیچ‌درپیچی که بومرانگ در هوا رسم میکند (شکل ۳۰) موجب حیرت و تعجب هر شخصی میشود.

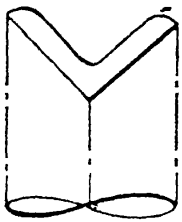
اکنون تئوری پرواز بومرانگ بطور دقیق و مفصل بررسی شده و دیگر شگفت‌آور و معجزه‌آمیز نیست. ما از شرح و تفصیل جزئیات جالب این مسأله صرفنظر میکنیم و فقط میگوئیم که خط سیر

شکل ۳۰ — بومی‌های استرالیا هنگام شکار برای آنکه از پناهگاه شکار کنند، از بومرانگ اینطور استفاده میکنند. خط سیر بومرانگ (در صورتیکه به هدف اصابت نکند) با خط نقطه چین نشان داده شده است.

* مسألهٔ سرعت قطره‌های باران در کتاب «مکانیک برای سرگرمی» و مسألهٔ پرش طولانی در کتاب «آیا شما فیزیک میدانید؟» تألیف اینجانب بطور مفصل تر بررسی شده است.



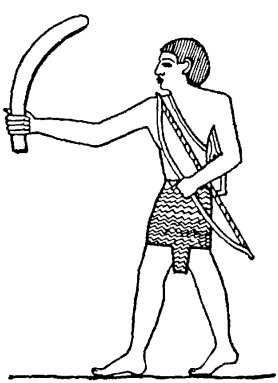
شکل ۳۶ — بومرانگ کاغذی و طرز پرتاب آن.



شکل ۳۷ — فرم دیگر بومرانگ کاغذی (با اندازه‌های طبیعی).

عجیب و غریب پرواز بومرانگ نتیجهٔ تأثیر متقابل سه عامل است: ۱ — پرتاب اولیه، ۲ — چرخش بومرانگ، و ۳ — مقاومت هوا. استرالیائی میتواند بطور غریزی این سه عامل را باهم در آمیزد. برای آنکه نتیجهٔ لازم را بدست آورد، با مهارت زاویه انحراف بومرانگ، نیرو و جهت پرتاب را تغییر میدهد. اما باید دانست که هر کسی میتواند در این هنر تا حدودی ورزیده و ماهر شود.

برای تمرین در اطاق باید به بومرانگ کاغذی اکتفا کرد. این بومرانگ را میتوان بطوری که در شکل ۳۶ نشان داده شده، مثلا از کارت‌پستال ساخت. طول هر پره آن باید در حدود پنج سانتیمتر و عرض هر پره قدری کمتر از یک سانتیمتر باشد. این بومرانگ را با نوک شست بگیرید و با انگشت به انتهای آن ضربتی وارد آورید، بطوری که جهت ضربت به جلو و کمی به بالا باشد. بومرانگ در حدود پنج متر پرواز میکند، با حرکتی هموار و یکنواخت منحنی‌ای که گاهی خیلی پر پیچ و خم و جالب است، رسم میکند و چنانچه در اطاق به چیزی برنخورد، جلو پای شما فرود می‌آید.



شکل ۳۸ — تصویر یک جنگاور مصر قدیم، در حال پرتاب بومرانگ.

اگر بومرانگ را به اندازه و فرمی که در شکل ۳۷ با اندازه‌های طبیعی نشان داده شده، بسازید، بهتر از حالت پیش پرواز خواهد کرد. خوب است بومرانگ را کمی خم کنید و به آن حالت پیچ‌مانندی بدهید (شکل ۳۷، قسمت پائینی). در صورتیکه قدری تجربه داشته باشید، میتوانید این بومرانگ را طوری پرتاب کنید که در هوا منحنی‌های پر پیچ و خم رسم کند و به همان جائی که به پرواز در آمده بود، برگردد.

در خاتمه متذکر میشویم که بر خلاف آنچه معمولا تصور میکنند، بومرانگ بهیچوجه اسلحهٔ ویژه تنها بومیان استرالیا نیست. بومرانگ در بسیاری از نواحی هندوستان نیز به کار میرود و بطوریکه از بقایای نقاشی‌های روی دیوارها مستفاد میشود، زمانی، اسلحه معمولی جنگاوران آسوری بوده است. در نوبه و مصر قدیم نیز بومرانگ وجود داشته است. یگانه چیزی که ویژهٔ استرالیا میباشد، انحنای مختصری است که به بومرانگ میدهند. بهمین دلیل است که بومرانگ‌های استرالیائی منحنی‌های مرکب و پر پیچ و خم رسم میکنند و چنانچه به هدف نخورند، به جلو پای پرتاب کننده برمیگردند.

فصل چهارم

چرخش . "محرکهای دائمی"

چگونه میتوان تخم مرغ پخته را از تخم مرغ خام تمیز داد؟

اگر لازم باشد که بدون شکستن تخم مرغ، بفهمیم تخم مرغ پخته است یا خام، چه باید کرد؟ دانستن علم مکانیک به ما امکان میدهد که با موفقیت از این بن‌بست کوچک بیرون بیائیم.

باید دانست که تخم مرغ پخته و تخم مرغ خام یک جور نمی‌چرخد. از این قانون میتوان برای حل مسألهٔ بالا استفاده کرد. باید تخم مرغ مورد نظر را در بشقاب لب تختی گذاشت و با دو انگشت آن را به چرخش درآورد (شکل ۳۹). تخم مرغ پخته (بخصوص سفت) بمراتب سریعتر و بیشتر از تخم مرغ خام خواهد چرخید. چرخاندن تخم مرغ خام حتی مشکل است، در صورتیکه تخم مرغ آب‌پز سفت بقدری سریع میچرخد که به شکل جسم یک پارچهٔ کره‌مانندی به نظر می‌رسد و ممکن است خود بخود روی نوک تیزش بچرخد.

علت این پدیده‌ها آنستکه تخم مرغ آب‌پز سفت مانند جسم یک پارچه‌ای میچرخد، اما مایع داخل تخم مرغ خام فوراً به چرخش در نمی‌آید و در نتیجهٔ اینرسی خود مانع چرخش پوست سفت تخم مرغ میشود و نقش ترمز را ایفا میکند.

از چرخش باز داشتن تخم مرغ پخته و خام نیز یکسان صورت نمیگیرد. اگر انگشت خود را به تخم مرغ پخته در حال چرخش بزنیم، تخم مرغ فوراً از چرخش باز می‌ایستد. اما تخم مرغ خام برای

شکل ۳۹ — طرز چرخاندن تخم مرغ.

شکل ۴۰ — طرز تمیز تخم مرغ پخته از تخم مرغ خام از روی چرخش آنها در حال آویزان بودن.

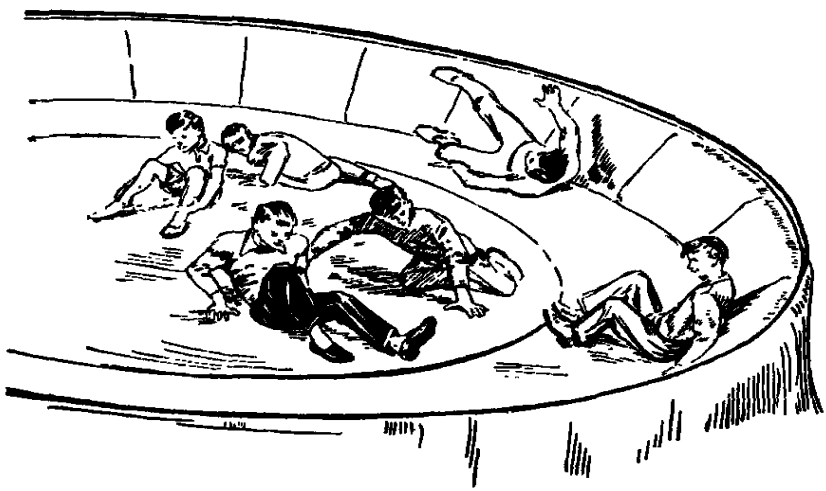
یک لحظه از چرخش باز می‌ایستد و همینکه انگشت خود را از روی آن برداریم، از نو کمی میچرخد. این پدیده نیز در نتیجه اینرسی صورت میگیرد: پس از آنکه پوست سفت تخم‌مرغ خام از چرخش باز ایستاد، مایع درون آن باز هم به حرکت خود ادامه می‌دهد، اما محتوی تخم‌مرغ پخته با پوست آن در یک موقع از چرخش باز می‌ایستد.

اینگونه آزمایش‌ها را بصورت دیگر نیز میتوان انجام داد. به دور یک تخم مرغ خام و یک تخم‌مرغ پخته (در طول) دو حلقه لاستیکی بکشید و آنها را با دو نخ یکسان آویزان کنید (ش ٤٠). هر دو نخ را بمقدار مساوی تاب بدهید و رها کنید. تفاوت میان تخم‌مرغ پخته و خام فوراً آشکار میشود. تخم‌مرغ پخته وقتی به حالت اولیه رسید، در نتیجهٔ اینرسی نخ‌را در جهت عکس و بعد از نو در جهت اول تاب میدهد. این عمل چند بار تکرار میشود و هر بار تعداد دورها کمتر میشود. اما تخم‌مرغ خام یکی دو بار می‌چرخد و مدت زیادی پیش از تخم‌مرغ پخته از چرخش باز می‌ایستد، زیرا مایع درون آن حرکت را ترمز میکند.

«چرخ خنده»

چتر را باز کنید، نوکش را روی زمین بگذارید، دسته‌اش را بگیرید و بچرخانید تا چتر با سرعت زیادی بچرخد. این کار مشکل نیست. بعد یک توپ یا یک گلولهٔ کاغذی توی چتر بیاندازید. توپ یا گلوله کاغذی توی چتر نخواهد ماند، بلکه در اثر آنچه طبق معمول، بغلط «نیروی گریز از مرکز» می‌نامند و در واقع چیزی جز تظاهر اینرسی نیست، به خارج پرتاب خواهد شد. ضمناً توپ نه در امتداد شعاع چتر، بلکه در امتداد خط مماس به حرکت دورانی پرتاب میشود.

وسیلهٔ تفریح ویژه‌ای که «چرخ خنده» نام دارد بر اساس همین اثر حرکت دورانی ساخته شده است (شکل ٤١). «چرخ خنده» در اغلب پارک‌های فرهنگ هست و کسانی که به پارک میروند



شکل ٤١ — «چرخ خنده». اشخاصی که روی دایره در حال چرخش قرار دارند، به اطراف پرتاب میشوند.

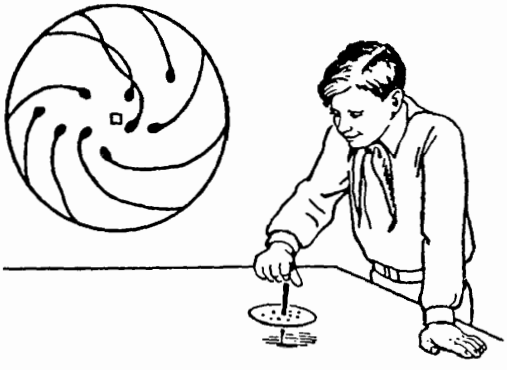
امکان دارند تأثیر اینرسی را روی شخص خودشان بیازمایند. عده‌ای روی صفحه مدوری میروند، و بسته به میل خودشان، می‌ایستند، می‌نشینند یا دراز میکشند. موتوری که زیر صفحه قرار دارد آن را آهسته و یکنواخت به چرخش در می‌آورد و بتدریج بر سرعت آن می‌افزاید و دمبدم سریعتر می‌چرخاند. آنوقت همهٔ کساتی که روی صفحه هستند تحت تأثیر اینرسی به طرف محیط دایره میلغزند. در ابتدا این حرکت تقریباً نامحسوس است، اما بتدریج که «سرنشینان» از مرکز دور میشوند و به محیط دایره هائی با شعاع بیشتری میلغزند، سرعت و در نتیجه اینرسی حرکت، متناسب با شعاع دایره، محسوستر میگردد و «سرنشینان» به اطراف «چرخ خنده» پرتاب میشوند و هیچ کوششی برای آنکه در جای خود ثابت بمانند، نتیجه‌ای نمی‌بخشد.

کرهٔ زمین، در واقع، یک چنین «چرخ خنده‌ای» نست، اما با ابعاد فوق‌العاده بزرگ. البته زمین ما را از روی خود پرتاب نمیکند، اما در هر صورت از وزن ما میکاهد. در روی خط استوا که سرعت چرخش بیش از هر جای دیگر است، کاهش وزن بعلت اینرسی به $\frac{1}{300}$ میرسد. باین علت و بعلت دیگر (فشردگی زمین در قطب‌ها) روبهمرفته وزن هر جسمی باندازه نیم درصد یعنی $\frac{1}{200}$ کاهش می‌یابد، بطوری که وزن یک انسان بالغ در استوا تقریباً ۳۰۰ گرم کمتر از قطب است.

گردبادهای جوهری

در مرکز دایره‌ای از مقوای سفید صاف چوب کبریت نوک تیزی فرو کنید. فرفره‌ای تقریباً دو بار بزرگتر از آنچه در شکل ۴۲ سمت چپ تصویر شده است، خواهید داشت. برای چرخاندن فرفره روی نوک تیز چوب کبریت مهارت و چابکی خاصی لازم نیست کافی است چوب کبریت را با دو انگشت بچرخانید و فرفره را بسرعت در جای صافی رها کنید.

با چنین فرفره‌ای میتوانید آزمایش بسیار جالبی بکنید. قبل از آنکه فرفره را به چرخش در آورید، روی مقوا چند قطره کوچک جوهر بچکانید. پیش از آنکه جوهر خشک شود فرفره را بچرخانید. وقتی



شکل ۴۲ — قطره‌های جوهر روی صفحه مدور مقوائی در حال چرخش اینطور پخش میشوند.

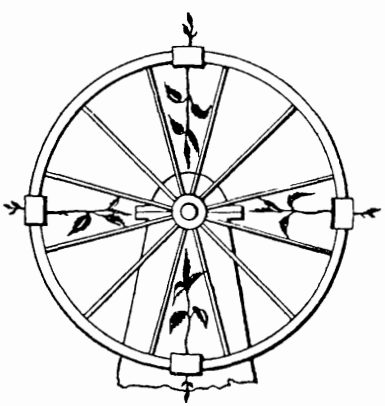
فرفره از چرخش باز ایستاد، نگاه کنید و ببینید قطره‌های جوهر به چه صورتی د ر آمده‌اند. خواهید دید که هر یک از قطره‌های جوهر بشکل خط مارپیچی پخش شده و مجموعه آنها چیزی شبیه به گردباد بوجود آورده‌اند.

این شباهت با گردباد تصادفی نیست. مارپیچ های جوهر روی صفحهٔ مقوا چه چیز را نشان میدهد؟ این مارپیچ ها رد حرکت قطره‌های جوهرند. قطرهٔ جوهر تحت تأثیر همان عواملی قرار میگیرد که آدم روی صفحه دوار «چرخ خنده» قرار میگرفت. وقتی قطرهٔ جوهر تحت تأثیر عمل گریز از مرکز از مرکز دور میشود به نقاطی از صفحهٔ مدور میرود که سرعت دورانی آنها از سرعت خود قطرهٔ جوهر بیشتر است. در این نقاط صفحهٔ مدور از زیر قطره جوهر سر میخورد و از آن جلو می‌افتد. عمل طوری صورت میگیرد که گوئی قطرهٔ جوهر از صفحهٔ مدور عقب میماند و نسبت به شعاع صفحه به عقب میرود. باین دلیل مسیر آن منحنی میشود و ما روی صفحه رد حرکت با خط منحنی را می‌بینیم.

جریان‌های هوائی که از محل فشار زیاد جو (در «آنتی سیکلن») پخش میشوند، یا به محل فشار کم جو (در «سیکلن») گرد می‌آیند، نیز تحت تأثیر همین عوامل قرار میگیرند. مارپیچ های جوهری همانندهای با مقیاس بسیار کوچک این گردباد های عظیم میباشند.

گیاه فریب خورده

چنانچه سرعت چرخش زیاد باشد نیروی گریز از مرکز بحدی افزایش مییابد که از اثر سنگینی زیادتر میشود. آزمایش جالب زیر نشان میدهد که با چرخش یک چرخ معمولی نیروی گریز از مرکز تا چه حد افزایش می‌یابد. میدانیم که ساقه گیاه جوان همیشه به طرف عکس نیروی سنگینی، یعنی بعبارت ساده به بالا رشد میکند. اما اگر تخم‌های گیاهی را روی چنبر چرخ دواری بکارید و در تمام مدتی که گیاه میروید چرخ با سرعت زیادی بچرخد، چیز حیرت انگیزی خواهید دید (این کار را «نایت» گیاه شناس انگلیسی بیش از صد سال پیش برای نخستین بار انجام داد): ریشه‌های جوانه‌ها به خارج و ساقه‌ها به داخل در امتداد شعاع چرخ رشد خواهند کرد (شکل ۴۳).



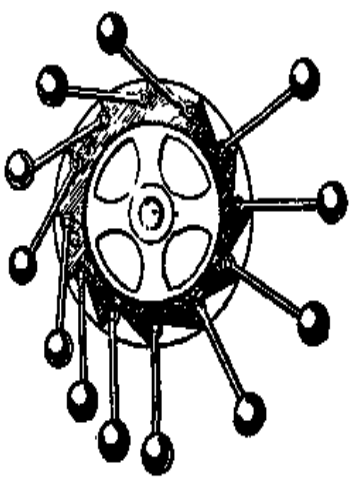
شکل ۴۳ — لوبیاهائی که روی چنبر چرخ دوار روئیدند. ساقه‌ها به طرف محور چرخ و ریشه‌ها به خارج متوجه‌اند.

با این عمل ما گیاه را بطور شرطی گول زده‌ایم، یعنی کاری کرده‌ایم که بجای نیروی سنگینی، نیروی دیگری که سمت آن از مرکز به خارخ متوجه است، روی گیاه تأثیر کند. از آنجا که جوانه همیشه به طرف عکس جهت نیروی سنگینی رشد میکند، در این مورد به داخل چرخ، از چنبر به طرف محور، رشد کرده است. سنگینی مصنوعی‌ای که ما بوجود آورده بودیم، از سنگینی طبیعی نیرومندتر بوده * و جوانه تحت تأثیر آن رشد کرده است.

* نظریه معاصر در مورد قوهٔ جاذبه در اینجا تفاوت اصولی قائل نیست.

«محرک‌های دائمی»

عبارت های «محرک دائمی» و «حرکت دائمی» را اغلب، هم به معنای حقیقی و هم به معنای مجازی کلمه بکار میبرند، اما عدهٔ زیادی نمیدانند این عبارت را چطور باید فهمید. محرک دائمی به یک دستگاه تصوری گفته میشود که بدون توقف خود بخود حرکت کند و بعلاوه کار مفیدی انجام دهد، مثلا بار بردارد. با اینکه از مدتها پیش عده‌ای کوشیده‌اند چنین دستگاهی اختراع کنند، اما تا کنون کسی نتوانسته است آن را بسازد. بیهوده و عبث ماندن این کوشش‌ها موجب پیدایش نظریه قطعی محال بودن محرک دائمی و اثبات قانون بقای انرژی، یعنی عمده‌ترین نظریهٔ علم معاصر گردید. و اما منظور از حرکت دائمی حرکتی استکه بدون انجام کاری بطور مداوم صورت گیرد.



در شکل ٤٤ یکی از قدیم‌ترین پروژه‌های محرک دائمی، یعنی دستگاه خیالی‌ای که خود بخود حرکت میکند، ترسیم شده است. حالا نیز گاهی طرفداران متعصب و ناکام این نظریه در احیای آن میکوشند. چند میله که در سر هر یک وزنه سنگینی قرار دارد، بوسیله لولا به دور چرخی نصب شده است. چرخ در هر حالتی قرار داشته باشد، فاصلهٔ وزنه‌های طرف راست از مرکز چرخ بیش ازفاصلهٔ وزنه‌های طرف چپ است. بنا بر این، طرف راست باید همیشه طرف چپ را بکشد و در نتیجه چرخ را بچرخاند. پس چرخ باید تا ابد یا لااقل تا وقتی که محور آن سائیده نشده است، بچرخد. مخترع چنین فکر می‌کرده است. اما اگر چنین محرکی بسازیم، نخواهد چرخید. پس چرا حساب مخترع درست در نمی‌آید؟

باین دلیل: گرچه فاصلهٔ وزنه‌های طرف راست از مرکز همیشه بیشتر است، اما ناگزیر در هر حالتی تعداد این وزنه‌ها از تعداد وزنه‌های طرف چپ کمتر است. به شکل ٤٤ نگاه کنید: در طرف راست فقط ٤ وزنه و در طرف چپ ٨ وزنه قرار میگیرد. معلوم میشود که تمام دستگاه به حالت تعادل در می‌آید و طبیعی است که چرخ نخواهد چرخید، بلکه چند بار تکان خواهد خورد و به همان حالت خواهد ایستاد. *

اکنون بطور قطع و اعتراض ناپذیر ثابت شده است که نمیتوان دستگاهی ساخت که خود بخود دائماً در حرکت باشد و ضمناً کاری هم انجام دهد. کوشش برای حل چنین مسأله ای کاری است بیهوده و عبث. در گذشته، بخصوص در قرون وسطی، عده زیادی برای حل این مسأله کوشش‌های فراوانی کردند و برای اختراع «محرک دائمی» (به لاتینی perpetuum mobile) زحمت و وقت زیادی صرف کردند، اما کوچکترین موفقیتی بدست نیاوردند. داشتن چنین محرکی حتی از هنر کیمیاگری و ساختن طلا از فلزات ارزان فریبنده تر بنظر می‌آمد.

---

* حرکت این نوع دستگاه از طریق قضیه‌ای بنام قضیه سمان‌ها توصیف میشود.

در اثر پوشکین «صحنه‌هائی از دوران شوالیه‌ها» در سیمای شخصی بنام برتولد چنین خیال‌پردازی توصیف شده است:

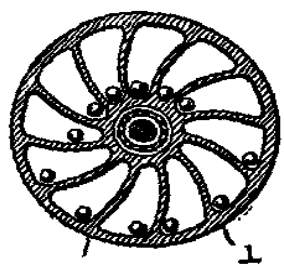
«مارتین پرسید:

— perpetuum mobile چیست؟

برتولد به او جواب داد:

— perpetuum mobile حرکت دائمی است. اگر من حرکت دائمی را پیدا کنم، دیگر برای آفرینندگی انسان مرزی نمی‌بینم... مارتین عزیزم، ملاحظه میکنی! ساختن طلا مسألهٔ فریبنده‌ای است، این کشف ممکن است جالب و پرسود باشد، اما پیدا کردن perpetuum mobile ... آه!..»

صدها «محرک دائمی» اختراع کردند، اما هیچ یک از آنها حرکت نکرد. در هر موردی، همانطور که در مورد بالا دیدیم، مخترع مسأله‌ای را در نظر نمی گرفت و همین امر تمام نقشه‌های او را نقش بر آب می کرد.



شکل ٤٥ — محرک دائمی خیالی با گلوله‌های غلتان.

باز هم یک نمونه دیگر محرک دائمی خیالی: چرخی که در درون آن گلوله‌های سنگین غلتان کار گذاشته شده است (شکل ٤٥). مخترع تصور میکرد که گلوله‌های یک طرف چرخ که همیشه از محور چرخ دورتر قرار دارند، چرخ را میچرخانند.

واضح است که به همان دلیلی که در چرخ شکل ٤٤ دیدیم، این چرخ هم نخواهد چرخید. با وجود این در یکی از شهرهای امریکا برای رکلام و جلب توجه مردم به کافه چرخ عظیمی از همین نوع ساخته شده بود (شکل ٤٦). البته این «محرک دائمی» بوسیله مکانیسم دیگری که با مهارت پنهان شده بود، بطور نا مشهودی به حرکت در می‌آمد، اما تماشاچیان تصور میکردند که گلوله‌های غلتان درون شکاف‌ها چرخ را به حرکت در می‌آورد. محرک‌های دائمی خیالی دیگری که زمانی برای جلب نظر مردم در ویترین‌های مغازه‌های ساعت سازی به نمایش گذاشته میشدند، نیز از همین نوع بودند. همه آنها بطور نا مشهودی بوسیله جریان برق به حرکت در می‌آمدند.

یک بار یکی از این «محرک های دائمی» رکلامی برای من درد سر زیادی فراهم آورد. دانش‌آموزان کارگر من بقدری شیفته آن شده بودند که به استدلالات من در مورد نا ممکن بودن محرک دائمی با سردی برخورد میکردند. منظرهٔ گلوله‌های غلتانی که چرخ را میچرخاندند و بوسیله همان چرخ بالا میرفتند، آنهارا بیش از دلائل من متقاعد میساخت. آنها نمیخواستند باور کنند که آن دستگاهٔ مکانیکی عجیب بوسیله جریان برق شبکه برق شهر به حرکت در می‌آمد. آن زمان در روزهای تعطیل برق شهر را قطع میکردند و این امر مرا از مخمصه نجات داد. من که از این مسأله اطلاع داشتم به شاگردانم گفتم در روزهای تعطیل به ویترین سری بزنند. آنها به اندرز من عمل کردند. بعد من پرسیدم:

— خوب، محرک را دیدید؟ آنها خجالت زده جواب دادند:

— نخیر. جلوش روزنامه آویزان کرده‌اند، دیده نمیشود...

آنها از نو به قانون بقای انرژی اعتماد پیدا کردند و دیگر آن اعتماد را از دست ندادند.

شکل ٤٦ — محرک دائمی خیالی در شهر لوس‌آنجلس (کالیفورنیا) که برای رکلام ساخته شده بود.

«گیر کوچک»

عده زیادی از مخترعین مکتب ندیده روسی نیز برای حل مسأله فریبندهٔ «محرک دائمی» زحمت کشیده اند. آلکساندر شگلوف دهقانی از اهالی سیبری یکی از آنان میباشد که سالتیکوف شدرین نویسنده مشهور روسی در داستان خود «زندگی سعادتمند و آرام کنونی» وی را بنام «پرزنتوف بازاری» توصیف کرده است. شدرین در باره بازدید از کارگاه این مخترع چنین مینویسد:

«پرزنتوف بازاری مردی بود در حدود سی و پنج ساله، لاغر و رنگ پریده با چشمان درشت متفکر و موهای صاف بلند که دسته دسته روی گردنش آویزان بود. خانهٔ دهاتیش بحد کافی وسیع بود، اما چرخ طیار بزرگی درست نصف آن را اشغال کرده بود، بطوریکه جمعیت ما بزحمت در آن جا گرفت. چرخ توخالی بود و پره‌های سیمی داشت. چنبر نسبتاً بزرگ آن مثل جعبهٔ توخالی از تخته ساخته شده بود. مکانیسمی که رمز مخترع را تشکیل میداد در داخل همین فضای خالی قرار داشت. البته این

رمز چندان خردمندانه نبود، چیزی مانند چند کیسه پر از شن بود که میبایست متقابلا نسبت به هم در حال تعادل قرار بگیرند. از میان یکی از پره‌ها چوبی گذرانده بود که چرخ را بیحرکت نگاه میداشت.
من شروع به حرف کردم و پرسیدم:
— شنیده‌ایم که شما قانون حرکت دائمی را در عمل بکار برده‌اید؟
او با حجالت جواب داد:
— نمیدانم چطور بعرضتان برسانم، تصور میکنم، مثل اینکه...
— میشود تماشا کرد؟
— بفرمائید! باعث سعادت بنده...
او مارا جلو چرخ برد، بعد دور چرخ گرداند. معلوم شد که هم از جلو و هم از عقب چرخ است.
— میچرخد؟
— قاعدتاً باید بچرخد، اما مثل اینکه اطوار در می‌آورد...
— میشود چوب را بیرون آورد؟
پرزنتوف چوب را از درون پره بیرون آورد، اما چرخ تکان نخورد. پرزنتوف تکرار کرد:
— اطوار در می‌آورد! باید شوک وارد آورد.
— بعد با هر دو دست چنبر چرخ را گرفت، چند بار به بالا و پائین گرداند و بالاخره بشدت چرخاند و ول کرد. چرخ به چرخش درآمد و چند دور نسبتا سریع و هموار چرخید، اما شنیده میشد که چطور کیسه‌های شن در درون چنبر گاه به دیواره‌ها فشار می‌آوردند و گاه از آنها جدا میشدند. بعد سرعت چرخش چرخ تقلیل یافت و تقلیل یافت، صدای ترق و تروقی به گوش رسید و بالاخره چرخ بکلی از حرکت باز ایستاد.
مخترع خجالت‌زده توضیح داد:
— لابد گیر کوچکی کرده است — و باز هم با تمام نیرو چرخ را به چرخش در آورد.
اما بار دوم نیز همان جریان عیناً تکرار شد.
— شاید اصطکاک را بحساب نیاورده‌اید؟
— اصطکاک را هم بحساب آورده‌ام... چه اصطکاکی؟ این از اصطکاک نیست، بلکه همینطور... درست آدم را شاد میکند، اما بعد یکدفعه... اطوار در می‌آورد، لج میکند و والسلام شد تمام. اگر چرخ از مصالح حسابی ساخته شده بود... اما همینطور از تکه پاره‌های قراضه...»
البته، اینجا مطلب نه در «گیر کوچک» است و نه در «مصالح حسابی» بلکه در نادرست بودن ایدهٔ اصلی مکانیسم میباشد. چرخ در اثر «شوک» (تکانی) که مخترع به آن وارد می‌آورد کمی میچرخید و بعد وقتی نیروئی که از خارج به آن داده شده بود در اثر اصطکاک به پایان میرسید، ناگزیر میبایست بایستد.

«نیروی عمده در گلوله‌ها است»

کارونین (پتروپاولوفسکی) نویسنده روسی از لاورنتی گلدیرف دهقانی از اهالی پرم، مخترع دیگر «محرک دائمی» حکایت میکند. نویسنده در حکایت «perpetuum mobile» این مخترع مکتب ندیده روسی را بنام پیختین توصیف میکند. کارونین که شخصاً گلدیرف را میشناخته است، اختراع او را بطور نسبتاً مفصلی شرح میدهد:

« در برابر ما ماشین عجیبی با ابعاد بزرگ قرار داشت که در نظر اول به دستگاه تعلیمی اسب‌ها شبیه بود و از چند تیر چوبی بد رنده شده، چند تیر عرضی و یک سلسله چرخ طیار و چرخ دندانه‌دار تشکیل شده بود. همهٔ آنها یغور و ناصاف و بدترکیب بودند. در پائین‌ترین محل زیر ماشین تعدادی گلولهٔ چدنی قرار داشت و تعداد زیادی هم از همین گلوله‌ها در کناری کوت شده بود.

کارپرداز پرسید:

— این همان است؟

— بله قربان، همان است...

— خوب، میچرخد؟

— البته که میچرخد...

— برای آنکه آن را بچرخانی اسب داری؟

— پیختین جواب داد:

— اسب چه لزومی دارد؟ خودش میچرخد، — و به نشان دادن ساختمان دستگاه عجیب پرداخت. نقش عمده را همان گلوله‌های چدنی بازی میکردند که در کنار دستگاه کوت شده بود.

— نیروی عمده در این گلوله‌هاست... ملاحظه بفرمائید: اول گلوله توی این پاتیل می‌افتد... از آنجا مثل برق لامع از این ناو میگذرد و آنجا آن پاتیل به زیرش میخورد و بلندش میکند و گلوله بسرعت روی آن چرخ میپرد و از نو به آن تکان شدیدی میدهد، چنان تکانی که در اثر آن صفیر میکشد... ضمن آنکه این گلوله میپرد، گلوله دیگر کار خود را میکند... آنوقت آن گلوله باز هم میپرد و اینجا می‌افتد. بعد از نو از این ناو بسرعت میگذرد... روی آن پاتیل می‌افتد و بعد روی آن چرخ میپرد و از نو آن را بلرزه در می‌آورد! و این عمل مرتب تکرار میشود. اصل مطلب در همین است.... الساعه به کارش می‌اندازم...

پیختین در انبار به اینور و آنور میدوید و گلوله‌هائی را که پخش و پلا بودند جمع میکرد... بالاخره همهٔ گلوله‌ها را در کنار خود کوت کرد، یکی از آنها را برداشت و بشدت روی نزدیکترین پاتیل چرخ انداخت، بعد بسرعت گلوله دومی و پس از آن سومی را... در انبار چنان هنگامه‌ای راه افتاد که تصورناپذیر بود: گلوله‌ها با صدای گوشخراشی به پاتیل های فلزی میخوردند، چوب چرخ ها و تیرها ترق و تروق می‌کردند و صفیر و زوزه و غژغژ و سر و صداهای جهنمی فضای نیمه تاریک انبار را پرکرده بود...»

نویسنده تصدیق میکند که ماشین گلدیرف حرکت می کرده است. اما این سوء تفاهم محض است. چرخ فقط تازمانی میتوانسته است بچرخد که گلوله‌های بالابرده‌شده پائین می‌آمدند، آنوقت این گلوله‌ها، مانند وزنه‌های ساعت دیواری، بحساب انرژی ذخیره‌شده ضمن بالا بردن آنها چرخ را بحرکت در می‌آوردند. این حرکت دستگاه مدت زیادی نمیتوانست ادامه یابد. وقتی همهٔ گلوله‌هائی که قبلا بالا برده بودند، توی پاتیل ها می افتادند و در پائین قرار میگرفتند، دستگاه از حرکت باز می‌ایستاد، حتی ممکن بود در نتیجه عکس‌العمل گلوله‌هائی که دستگاه میبایست بالا ببرد، قبل از آن نیز از حرکت باز بایستد.

خود مخترع هم بعداً وقتی ماشین را در یکاترینبورگ به نمایش گذاشته بود و در همان نمایشگاه با ماشین های صنعتی واقعی آشنا شد، از مصنوع خویش قطع امید کرد. وقتی از او در باره ماشینی که اختراع کرده و خود بخود حرکت میکند، پرسیدند، با خاطری افسرده جواب داد:

— باید دورش انداخت. دستور بدهید تکه‌تکه‌اش کنند تا اقلا از هیزمش بشود استفاده کرد...

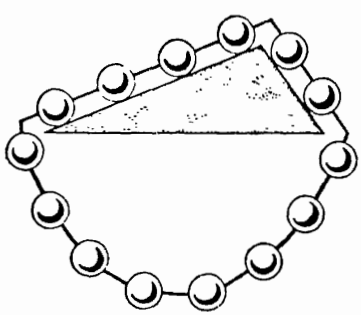
آکومولاتور اوفیمتسف

دستگاهی که بنام آکومولاتور انرژی مکانیکی اوفیمتسف معروف است، گواه بر آن بود که اگر در باره حرکت «دائمی» فقط بر اساس شکل ظاهری قضاوت کنیم، چقدر زود دچار اشتباه میشویم. اوفیمتسف مخترعی از اهالی کورسک نوع جدیدی دستگاه بادی با آکومولاتور «اینرسی» ارزان اختراع کرد که به شکل چرخ طیار ساخته شده بود. اوفیمتسف در سال ۱۹۲۰ مدل آکومولاتور خود را ساخت. این مدل از یک دیسک عبارت بود که با یاتاقان ساچمه‌ای حول محور عمودی میچرخید، یاتاقان در محفظه‌ای قرار داشت که هوای آن را تخلیه کرده بودند. دیسک را با سرعت ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه به چرخش در می‌آوردند و پس از آن پانزده شبانه روز متوالی میچرخید! وقتی یک ناظر ظاهربین دیسکی میدید که روزهای متوالی بدون نیروی خارجی میچرخید، ممکن بود باور کند که شاهد عملی شدن واقعی حرکت دائمی میباشد.

«معجزه است و معجزه نیست»

کوشش بیهوده برای ساختن محرک «دائمی» عده زیادی را به خاک سیاه نشانده است. من کارگری را میشناختم که تمام دستمزد و اندوخته خویش‌را برای ساختن مدل محرک «دائمی» خرج کرده در نتیجه کارش به گدائی کشیده بود. او قربانی ایده غیر عملی خود شده بود. همیشه گرسنه و نیم‌برهنه بود و از همه خواهش میکرد برای ساختن «آخرین مدلی» که «بدون شک حرکت خواهد کرد» به وی پول بدهند. آدم دلش میسوخت که این شخص فقط و فقط در نتیجه خوب ندانستن اصول اولیهٔ فیزیک به آنهمه محرومیت دچار شده بود.

جالب استکه اگر کوشش برای ساختن محرک «دائمی» همیشه بی نتیجه مانده، بر عکس، درک عمیق عدم امکان آن بارها موجب کشف‌های سودمند شده است.



شکل ۴۷ — «معجزه است و معجزه نیست»

راهی که ستوین دانشمند برجستهٔ اواخر قرن ۱۶ و اوایل قرن ۱۷ هلندی به کمک آن قانون تعادل نیروها در سطح شیب‌دار را کشف کرد، مثال بسیار خوبی است. این ریاضی دان دانشمند، شایستهٔ آنستکه بمراتب بیش از شهرتی که نصیبش شده است، شهرت داشته باشد، زیرا او کشف‌های مهم زیادی کرده است، که ما اکنون همیشه از آنها استفاده میکنیم. مثلا: کسر اعشاری را اختراع کرد، به کار بردن نماینده و توان را در جبر متداول ساخت، قانون هیدروستاتیکی را کشف کرد (این قانون بعدها دو باره بوسیله پاسکال کشف شد).

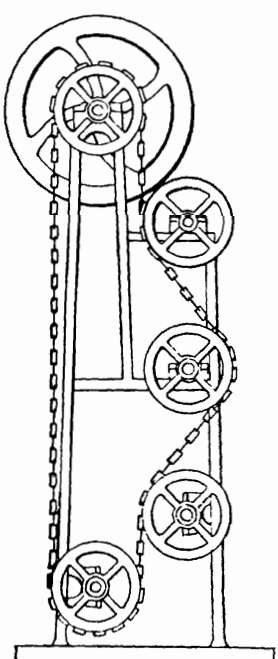
ستوین قانون تعادل نیروها در سطح شیب‌دار را نه با استفاده از قانون متوازی‌الاضلاع نیروها، بلکه فقط به کمک طرحی که در شکل ۴۷ عیناً تصویر شده است، کشف کرد. زنجیری مرکب از ۱۴ گلوله یکسان به دور یک منشور سه وجهی انداخته شده است. زنجیر چه حالتی خواهد داشت؟ قسمت بائینی زنجیر که بصورت نیم دایره‌ای آویزان است، خود بخود به حالت تعادل در می‌آید. اما

آیا میان دو قسمت دیگر زنجیر نیز تعادل برقرار میشود؟ بعبارت دیگر، آیا میان دو گلولهٔ سمت راست و چهار گلولهٔ سمت چپ تعادل برقرار میشود؟ البته تعادل برقرار میشود، زیرا در غیر اینصورت زنجیر دائماً از راست به چپ حرکت خواهد کرد، چونکه بجای گلوله‌هائی که به پائین لغزیده است گلوله‌های دیگری خواهد آمد و هرگز تعادل برقرار نخواهد شد. اما چون میدانیم که چنین زنجیری هرگز خود بخود حرکت نمیکند، پس واضح است که میان دو گلولهٔ سمت راست و چهار گلولهٔ سمت چپ تعادل وجود دارد. گوئی معجزه‌ای روی میدهد: نیروی کشش دو گلوله مساوی نیروی کشش چهار گلوله است.

ستوین از این معجزه خیالی یک قانون مهم مکانیک را کشف کرد. او چنین فکر میکرد: وزن دو قسمت زنجیر — قسمت بلند و قسمت کوتاه — مساوی نیست، بهمان اندازه که سطح بلند منشور از سطح کوتاه آن بلندتر است، وزن قسمت بلند زنجیر از وزن قسمت کوتاه آن بیشتر است. از اینجا نتیجه میشود که اگر وزن دو جسم که بوسیله طناب به هم بسته شده اند با طول دو سطح شیب دار که روی آن قرار گرفته‌اند، متناسب باشد، بین آن دو جسم تعادل برقرار میشود.

در مورد خاصی که سطح کوتاه عمودی باشد، قانون معروف مکانیک حاصل میشود: برای آنکه جسمی را روی سطح شیب‌داری نگه داریم باید در جهت عکس شیب نیروئی بهمان اندازه کمتر از وزن جسم بکار ببریم که ارتفاع سطح شیب‌دار از طول آن کمتر است.

بدین ترتیب با مأخذ قرار دادن فکر محال بودن محرک دائمی، کشف مهمی در مکانیک صورت گرفت.



شکل ۴۸ — آیا این محرک دائمی است؟

باز هم «محرک‌های دائمی»

در شکل ۴۸ زنجیر سنگینی می‌بینید که از روی چند چرخ میگذرد و طوری قرار دارد که در هر حالتی قسمت طرف راست آن از قسمت طرف چپ سنگین تر است. مخترع خیال میکرد: بنا بر این طرف راست باید با طرف چپ تعادل نداشته باشد و همیشه به پائین کشیده شود و تمام دستگاه را به حرکت در آورد. آیا واقعاً چنین است؟

البته نه. ما هم اکنون دیدیم که اگر دو نیرو دو قسمت زنجیری را با زاویه‌های مختلف بکشند، ممکن است قسمت سنگین و قسمت سبک زنجیر تعادل داشته باشند. در این دستگاه نیز طرف چپ زنجیر بحالت عمودی کشیده شده و طرف راست آن مایل است. باین دلیل با وجود اینکه طرف راست سنگین‌تر است، طرف چپ را نمیکشد و حرکت «دائمی» که مخترع انتظار آن را داشته است، ممکن نیست بوجود آید.

یکی از مخترعین محرک «دائمی» که در سال‌های شصت قرن گذشته اختراع خود را در نمایشگاه پاریس بمعرض نمایش گذاشته بود، جالب‌تر از همه عمل کرده است. محرک «دائمی» او عبارت

از چرخ بزرگی بود که چند گلوله در داخل آن میغلتید. مخترع ادعا میکرد که هیچکس قادر نیست چرخ را از حرکت باز دارد. تماشاچیان یکی پس از دیگری میکوشیدند چرخ را نگهدارند، اما همینکه دست خود را از روی چرخ بر میداشتند، چرخ از نو به چرخش در می‌آمد. هیچکس حدس نمیزد که چرخ همانا در نتیجه کوشش تماشاچیان برای متوقف ساختن آن میچرخد. آنها ضمن هل دادن چرخ به عقب فنری را که با مهارت تام در درون دستگاه پنهان بود، کوک میکردند.

«محرک دائمی» دوران پتر اول

نامه‌های متعددی که پتر اول در سال های ۱۷۱۰ — ۱۷۲۲ برای خرید یک محرک دائمی در آلمان نوشته و دریافت داشته، تا کنون باقی مانده است. مخترع این دستگاه شخصی بود بنام دکتر اورفیرئوس که با اختراع چرخی که «خود بخود حرکت میکرد» در سراسر آلمان مشهور شده بود. مخترع موافقت کرد اختراع خود را به قیمت سرسام‌آوری به تزار روسی بفروشد. پتر اول دانشمند کتابداری بنام شوباخر را برای جمع‌آوری چیزهای نادر به کشورهای باختر فرستاده بود. شوباخر که برای خرید اختراع اورفیرئوس با وی مذاکره میکرد، در باره خواست‌های مخترع به تزار چنین گزارش داده است:

«آخرین حرف مخترع این بود: در یک کفه ۱۰۰۰۰۰ یفیموک* بگذارید، من ماشین را در کفه دیگر میگذارم».

طبق گفته شوباخر، مخترع در باره خود ماشین ادعا میکرده است که ماشین «واقعاً هست و احدی نمیتواند از آن بد بگوید، مگر کینه‌توز باشد، اما جهان پر از اشخاص کینه‌توزی است که بهیچوجه نمیتوان به آنها اعتماد کرد».

در ژانویه سال ۱۷۲۰ پتر اول قصد سفر به آلمان داشت تا «محرک دائمی» را که آنهمه در اطرافش سر و صدا راه افتاده بود، شخصاً بازدید کند، اما اجل به تزار مهلت نداد که نیت خویش را عملی سازد.

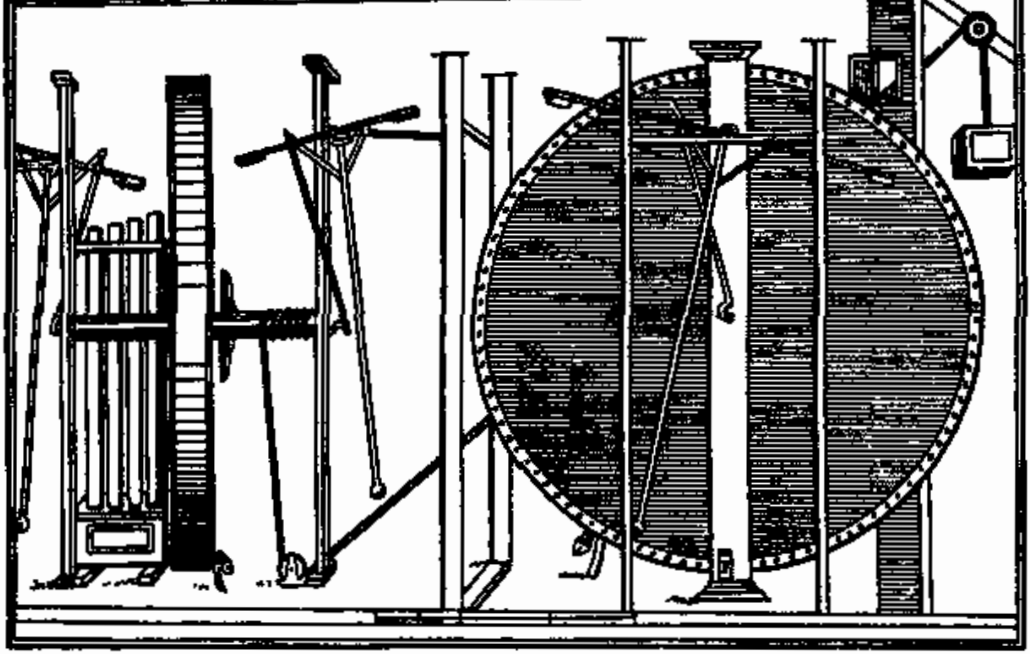
این دکتر اورفیرئوس مرموز که بوده و «ماشین نامدار» وی چه بوده است؟ من با زحمت زیاد توانسته‌ام هم در باره این و هم در باره آن اطلاعاتی به دست بیاورم.

نام خانوادگی حقیقی اورفیرئوس «بسلر» بود. او در سال ۱۶۸۰ در آلمان متولد شد، به کسب علوم الهی و طب و نقاشی پرداخت و بالاخره به اختراع محرک «دائمی» دست زد. اورفیرئوس در میان هزاران مخترع «محرک دائمی» مشهورترین، و به احتمال قوی کامیاب‌ترین آنهاست. او تا آخرین روزهای حیات خود (در سال ۱۷۴۰ وفات یافت) با درآمدی که از به نمایش گذاشتن ماشین خود بدست می‌آورد، در رفاه و آسایش زندگی میکرد.

در شکل ۴۹ که از یک کتاب قدیمی اقتباس شده، ماشین اورفیرئوس بصورتیکه در سال ۱۷۱۴ بوده تصویر شده است. شما در این شکل چرخ بزرگی می‌بینید که گویا نه فقط خود بخود میچرخیده، بلکه ضمن چرخیدن بار سنگینی را به ارتفاع نسبتا زیادی نیز بلند میکرده است.

---

* — یفیموک (Joachimsthaler) معادل تقریباً یک روبل.

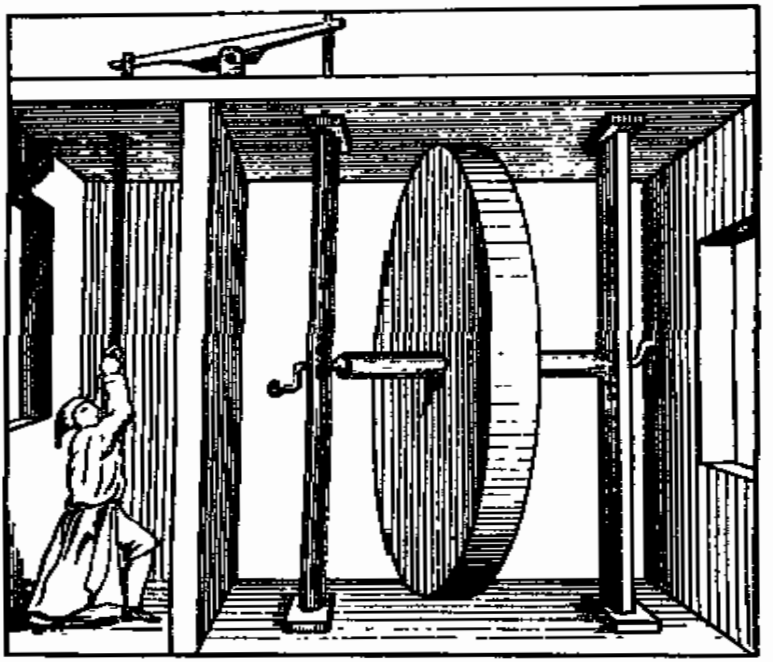


شکل ٤٩ — چرخ اورفیرئوس که خود بخود میچرخید و چیزی نمانده بود که پتر اول آن را بخرد (از روی یک شکل قدیمی).

شهرت این اختراع شگفت‌آور که دکتر دانشمند در بازارهای مکاره به معرض نمایش میگذاشت، بسرعت در سراسر آلمان پخش شد و اورفیرئوس بزودی پشتیبانان نیرومندی بدست آورد. ابتدا پادشاه لهستان و سپس بارون هسن —کاسل آلمانی به آن علاقه‌مند شدند. بارون آلمانی کاخ خویش را در اختیار مخترع گذاشت و ماشین وی را مورد آزمایش‌های گوناگون قرار داد.

مثلا، ۱۲ نوامبر سال ۱۷۱۷ ماشین را که در اطاق مجزائی قرار داشت، به حرکت در آوردند. سپس در اطاق را قفل و مهر و موم کردند و تحت مراقبت دقیق دو پاسدار از سربازان نخبه گذاشتند. چهارده شبانه روز تمام احدی حق نداشت به اطاقی که چرخ اسرارآمیز در آن میچرخید، حتی نزدیک بشود. فقط روز ۲۶ نوامبر مهر و موم را برداشتند و بارون با مقربان خود به اطاق رفت. آنها چه دیدند؟ چرخ هنوز هم میچرخید و «سرعت آن کاهش نمی‌یافت»... چرخ را نگهداشتند، بدقت مورد بررسی قرار دادند و سپس از نو به کار انداختند. باز هم در اطاق را مهر و موم کردند و چهل شبانه روز سربازان نخبه جلو آن کشیک میدادند. وقتی روز ٤ ژانویه سال ۱۷۱۸ مهر و موم را برداشتند کمیسیون مرکب از چند نفر متخصص مشاهده کردند که چرخ میچرخد!

بارون به اینهم قانع نشد. برای سومین بار آزمایش کردند — در اطاقی که محرک در آن قرار داشت دو ماه تمام مهر و موم بود. با وجود این در پایان این مدت دیدند که محرک باز هم حرکت میکند! بارون که واله و حیران شده بود، به مخترع گواهی نامهٔ رسمی داد که «محرک دائمی» وی در هر دقیقه ٥٠ دور میچرخد، میتواند ۱٦ کیلوگرم را به ارتفاع ۱/٥ متر بالا ببرد و



شکل ۵۰ — افشای راز چرخ اورفیرئوس (از روی یک شکل قدیمی).

بعلاوه میتواند یک دم آهنگری و یک چرخ چاقوتیزکنی را به حرکت در آورد. اورفیرئوس با این گواهی‌نامه در اروپا مسافرت میکرد و لابد درآمد کلانی داشت که حاضر نشد ماشین را به قیمت کمتر از ۱۰۰۰۰۰ روبل به پتر اول بفروشد.

خبر این اختراع شگفت‌آور دکتر اورفیرئوس بسرعت از مرزهای آلمان گذشت و در سراسر اروپا پخش شد. این خبر به پتر اول هم رسید و تزار روسی را که شیفته هر گونه «ماشین مرکب و پیچیده» بود، سخت بخود مشغول داشت.

پتر در سال ۱۷۱۰، وقتی که در خارج از روسیه بسر میبرد، چرخ اورفیرئوس را مورد توجه قرار داده و در همان وقت اوستربان دیپلمات معروف را مأمور کرده بود از نزدیک با این اختراع آشنا شود. با اینکه اوستربان موفق نشد شخصاً محرک را ببیند، بزودی گزارش مفصلی در بارهٔ آن برای تزار فرستاد. پتر در نظر داشت حتی اورفیرئوس را بعنوان یک مخترع برجسته به خدمت خود دعوت کند و دستور داد نظر کریستیان ولف فیلسوف مشهور آن زمان و معلم لومونوسف را در بارهٔ اورفیرئوس استفسار کنند.

سیل پیشنهادهای داپذیر و تحسین‌آمیز از همه جا به سوی مخترع نامدار روان شد. بزرگان عصر وی را مورد لطف و عنایت شایان قرار دادند. شعرا در مدح چرخ شگفت آور وی قصاید بلندبالا سرودند. اما بدخواهانی نیز بودند که گمان میکردند در این کار نیرنگ ساهرانه‌ای نهفته است. حتی اشخاص باجسارتی پیدا شدند که اورفیرئوس را علناً مکار و حیله‌گر مینامیدند. برای کسی که نیرنگ وی را

فاش سازد، جایزه‌ای به مبلغ ۱۰۰۰ مارک تعیین شده بود. در یکی از هجویاتی که بمنظور افشای نیرنگ وی نوشته شده بود، تصویری هست که در اینجا عیناً بچاپ رسیده است (شکل ۵۰). بعقیده افشاکننده، رمز «محرک دائمی» بطور صاف و ساده در آنستکه به دور قسمتی از محور چرخ که در درون پایه چرخ قرار دارد، ریسمانی پیچیده‌اند، بطوری که تماشاچیان آن را نمی‌بینند و شخصی که با مهارت پنهان شده است، این ریسمان را میکشد.

نیرنگ ظریف و ماهرانه اورفیرئوس تصادفاً فاش شد و علت این امر فقط آن بود که میان دکتر دانشمند با همسر و خدمتکارش که از راز وی اطلاع داشتند، مناقشه‌ای پیش آمد. اگر این پیشامد نمی‌کرد، لابد، ما تا به امروز هم در مورد این «محرک دائمی» که آنهمه سر و صدا راه انداخته بود، در حیرت و تعجب باقی میماندیم. از قرار معلوم، «محرک دائمی» واقعاً هم بوسیله اشخاصی که پنهان شده و طوری که کسی نبیند ریسمان باریکی را میکشیدند، به حرکت در می‌آمد. این اشخاص برادر و خدمتکار مخترع بودند.

با اینکه مشت مخترع باز شده بود، او قبول نمیکرد و تا آخر عمر با لجاجت اصرار میورزید که همسر و خدمتکارش بعلت کینه‌توزی نسبت به وی غمازی کرده‌اند. اما دیگر کسی به او اعتماد نمیکرد. بیهوده نبود که اورفیرئوس به شوباخر فرستاده پتر اول از کینه‌توزی آدمیان و از اینکه «جهان پر از اشخاص کینه‌توزی است که بهیچوجه نمیتوان به آنها اعتماد کرد»، سخن میگفت.

در زمان پتر اول در آلمان «محرک دائمی» دیگری نیز که مخترع آن شخصی بنام گرتنر بود، شهرت فراوان یافت. شوباخر در باره این ماشین نوشت: perpetuum mobile آقای گرتنر که من آن را در درزدن دیدم، ماشینی است که به شکل چرخ چاقوتیزکنی ساخته شده و از کیسهٔ کرباسی پر از شن عبارت است، خود بخود به جلو و عقب حرکت میکند، اما طبق گفتهٔ آقای مخترع، آن را نمیتوان زیاد بزرگ ساخت». بدون شک، کار این محرک نیز به جائی نمیرسید و در بهترین حالت دستگاه پیچیده و مرکبی بود و بوسیله یک محرک جاندار به حرکت در می‌آمد که با مهارت پنهان شده و بهیچوجه «دائمی» نبود. شوباخر کاملا حق داشت که به پتر نوشت که دانشمندان فرانسوی و انگلیسی «برای هیچ یک از این «محرک‌های دائمی» کوچکترین ارزشی قائل نیستند و میگویند که «محرک دائمی» با اصول ریاضیات مغایرت دارد».

فصل پنجم

خصوصیات مایعات و گازها

مسألهٔ دو کتری

در برابر شما دو کتری (شکل ۵۱) با پهنای برابر قرار دارد که یکی بلند و دیگری کوتاه است. گنجایش کدام یک از این دو کتری بیشتر است؟

لابد، عده زیادی بدون تأمل خواهند گفت که گنجایش کتری بلند از گنجایش کتری کوتاه بیشتر است. اما اگر توی کتری بلند آب یا مایع دیگری بریزید، فقط میتوانید تا سطح سوراخ لوله کتری آن را پر کنید، پس از آن، آب بیرون خواهد ریخت. چون سوراخ لولهٔ هر دو کتری در یک سطح است، پس گنجایش کتری کوتاه مساوی گنجایش کتری بلند با لوله کوتاه است.

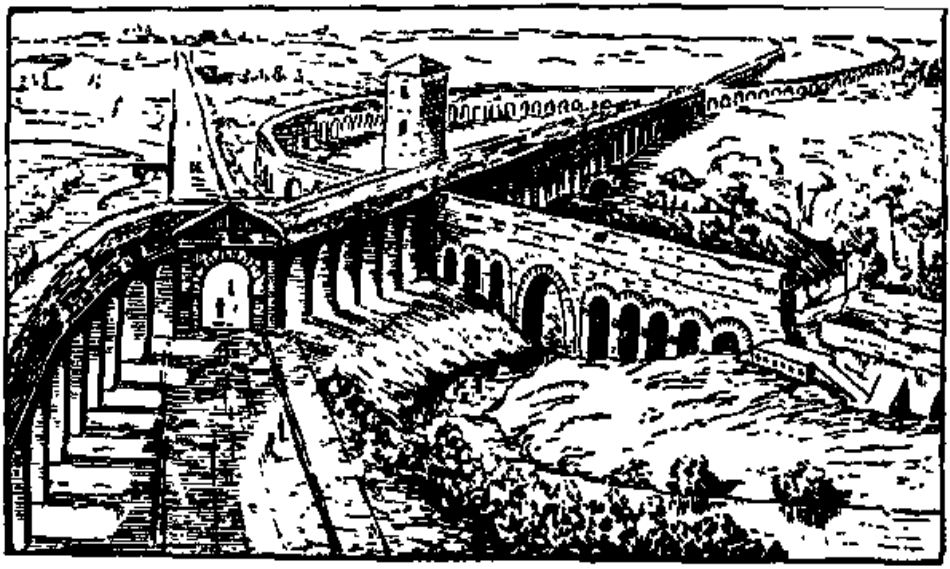
شکل ۵۱ — در کدام یک از این دو کتری بیشتر میشود مایع ریخت؟

این امر روشن است: با اینکه وزن مایع لوله کتری بمراتب کمتر از وزن مایع خود کتری است، مایع باید در لوله و در کتری، مانند همهٔ ظروف مرتبطه، در یک سطح بایستد. اگر لولهٔ کتری به اندازه کافی بلند نباشد، بهیچوجه نمیتوانید کتری را کاملا پر کنید: آب از لوله خواهد ریخت. معمولا لولهٔ کتری را کمی بلندتر از لبهٔ خود کتری میسازند، تا بتوان بدون اینکه آب بریزد، کتری را کمی کج کرد.

مردمان دوران باستان چه چیز را نمیدانستند

اهالی رم تاکنون نیز از لوله‌کشی آبی که در دوران باستان ساخته شده است، استفاده میکنند: بردگان رم برای لوله‌کشی آب، ساختمان‌های واقعاً خوب میساختند.

اما در مورد مهندسین رومی که کار رهبری این ساختمان ها را بر عهده داشتند، این حرف را



شکل ۵۲ — ساختمان لوله‌کشی آب رم باستان بصورت اولیه آن.

نمیتوان زد. کاملا روشن است که آنها اصول علم فیزیک را بحد کافی نمیدانستند. به شکل ۵۲ که از روی تابلوی موزه آلمان در مونیخ چاپ شده، نگاه کنید. می‌بینید که لوله‌کشی آب شهر رم زیر زمین ساخته نشده، بلکه بالای زمین، روی ستون‌های بلند سنگی ساخته شده است. چرا این کار را میکردند؟ مگر ساده‌تر نبود که همان کاری را بکنند که حالا در همه جا میکنند، یعنی لوله‌ها را زیر زمین بگذارند. البته که ساده تر بود، اما مهندسین آن زمان رم، از قوانین ظروف مرتبطه تصور بسیار مبهمی داشتند. آنها بیم آن را داشتند که مبادا در آب انبارهائی که بوسیله لوله‌های بسیار بلند به یکدیگر وصل شده‌اند، آب در یک سطح نایستد. اگر لوله‌ها در زیر زمین، موازی با شیب زمین کشیده شود، در بعضی جاها آب باید به بالا جاری شود، این بود که رومی‌ها میترسیدند، آب به بالا جاری نشود. باین دلیل آنها معمولا طوری لوله‌کشی میکردند که لوله‌ها در همه جا شیب یکسانی به پائین داشته باشند و برای این کار اغلب لازم می‌آمد که یا سربالائی‌ها را دور بزنند یا پایه‌های طاق دار بلند بسازند. طول یکی از لوله‌های آب رم بنام آکوا مارتسیا ۱۰۰ کیلومتر است، در صورتیکه فاصله مستقیم میان دو انتهای آن ۵۰ کیلومتر میباشد.

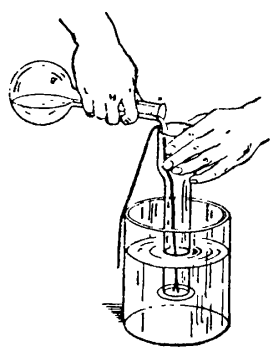
بعلت ندانستن یک قانون سادهٔ فیزیک مجبور شدند ۵۰ کیلومتر دیوار سنگی بکشند!

مایعات به بالا فشار می‌آورند!

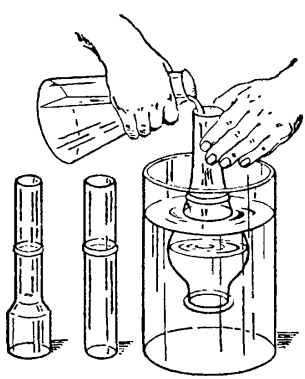
حتی کسانی که هرگز فیزیک نیاموخته‌اند، میدانند که مایعات به پائین، به ته ظرف و به اطراف، به دیواره‌های ظرف فشار می‌آورند. اما عدهٔ زیادی حتی تصور آن را هم نمیکنند که مایعات به بالا نیز فشار می‌آورند. به کمک یک لولهٔ چراغ معمولی میتوان اعتقاد راسخ یافت که واقعاً مایعات

از پائین به بالا فشار می‌آورند. از یک مقوای کلفت دایره‌ای کمی بزرگتر از سوراخ لوله‌ٔ چراغ ببرید. دایرهٔ مقوائی را روی سوراخ لوله‌ٔ چراغ بگذارید و بطوریکه در شکل ۵۳ نشان داده شده، لوله را توی آب فرو کنید. برای آنکه ضمن فرو کردن لوله در آب، دایره مقوائی نیفتد میتوان به وسیله نخی که از مرکز دایره گذرانده‌اید، یا با نوک انگشت دایره را نگهداشت. پس از آنکه لوله‌ٔ چراغ را تا عمق معینی در آب فرو کردید، خواهید دید که دایرهٔ مقوائی بدون فشار انگشت یا کشیدن نخ هم نمی‌افتد: آب که از پائین به بالا به دایره فشار می‌آورد، آن را نگهمیدارد.

حتی میتوانید مقدار این فشار از پایین به بالا را اندازه بگیرید. آهسته توی لوله چراغ آب بریزید. همینکه سطح آب داخل لوله به سطح آب ظرف نزدیک شد، دایره مقوائی می‌افتد. بنا بر این، فشار آب به دایرهٔ مقوائی از پایین به بالا معادل میشود با فشار ستون آب از بالا به پائین، و ارتفاع این ستون آب با عمقی که دایره مقوائی در آب فرو رفته است، مساوی میباشد. قانون فشار مایعات بر هر جسمی که در مایع فرو رفته باشد، چنین است. ضمناً کم شدن وزن اجسام در داخل مایعات که در قانون معروف ارشمیدس ذکر شده است، از همین قانون نتیجه میشود.



شکل ۵۳ — یک آزمایش ساده برای آنکه یقین حاصل کنیم که مایعات از پائین به بالا فشار می‌آورند.



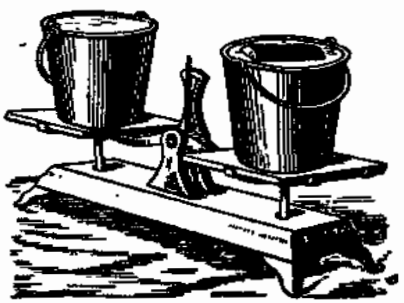
شکل ۵۴ — فشار مایعات به ته ظرف فقط بسته به مساحت ته ظرف و ارتفاع سطح مایع میباشد. در شکل نشان داده شده است که چگونه میتوان این قاعده را آزمایش کرد.

اگر چند لوله‌ٔ چراغ به فرمهای مختلف که دهانهٔ همهٔ آنها یکسان باشد، در اختیار داشته باشید، میتوانید یک قانون دیگر مربوط به مایعات را آزمایش کنید، آن قانون این است: فشار مایعات به ته ظرف فقط بسته به سطح ته ظرف و ارتفاع مایع میباشد، اما به شکل ظرف هیچ بستگی ندارد. آزمایش به طریق زیر انجام میشود: لوله‌های مختلف الشکل را به عمق معینی در آب فرو میکنید، برای این کار قبلا به دور هر یک از لوله‌ها نوار کاغذی می چسبانید، بطوریکه ارتفاع نوار کاغذی از دهانهٔ پائینی لوله در همهٔ لوله‌ها مساوی باشد. خواهید دید که هر بار وقتی سطح آب به ارتفاع معین رسید، دایره مقوائی می‌افتد (شکل ۵۴). بنابر این اگر فقط قاعده و ارتفاع چند ستون آب به اشکال مختلف

مساوی باشند، فشار این ستون‌ها باهم مساوی است. توجه داشته باشید که در اینجا همانا ارتفاع مهم است، نه طول، زیرا یک ستون بلند مایل درست همان اندازه فشار می‌آورد که یک ستون کوتاه عمودی، به شرط آنکه قاعده و ارتفاع آنها مساوی باشند.

کدام یک سنگین‌تر است؟

در یک کفهٔ ترازو سطلی که تا لب پر آب است گذاشته شده. در کفهٔ دیگر سطلی عیناً نظیر سطل اولی گذاشته شده، که آن هم تالب پر آب است، اما در این سطل یک تکه چوب شناور است (شکل ۵۵). کدام سطل سنگین تر است؟



شکل ۵۵ — دو سطل مساوی و هر دو پر از آب هستند و در یک سطل یک تکه چوب شناور است. کدام سطل سنگین‌تر است؟

من این سئوال را به اشخاص مختلف داده‌ام و همیشه جواب های ضد و نقیض شنیده‌ام. بعضی جواب میدادند که سطلی که در آن تکهٔ چوب شناور است باید سنگین تر باشد، زیرا «در سطل علاوه بر آب، چوب هست». برخی جواب میدادند که بر عکس، سطل اولی سنگین تر است، «زیرا آب از چوب سنگین تر است».

اما نه جواب اینها درست است و نه جواب آنها. وزن هر دو سطل مساوی است. البته در سطل دوم آب کمتر از سطل اول است، زیرا تکه چوبی که در آن شناور است، مقداری از آب را بیرون می‌ریزد و جای آن را میگیرد. اما طبق قانون اجسام شناور، وزن هر جسم شناوری مساوی وزن مایع هم حجم آن قسمت از جسم است که در مایع فرو رفته است. باین دلیل استکه ترازو باید درحال تعادل باقی بماند.

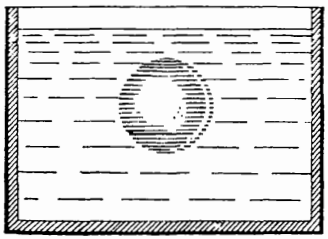
حالا یک مسأله دیگر را حل کنید. در یک کفهٔ ترازو استکانی که در آن مقداری آب است و یک وزنهٔ کوچک میگذاریم و در کفهٔ دیگر آنقدر وزنه تا ترازو به حال تعادل در آید بعد وزنهٔ کوچک‌را بر میداریم و توی استکان می‌اندازیم. ترازو به چه حالتی در می‌آید؟

طبق قانون ارشمیدس وزنهٔ کوچک در داخل آب سبک تر از آنچه در خارج از آب بوده است، میشود. ظاهراً میشود انتظار داشت که کفه‌ای که استکان در آن قرار دارد، بالا برود. اما در حقیقت ترازو به حال تعادل باقی میماند. چطور باید این پدیده را توضیح داد؟

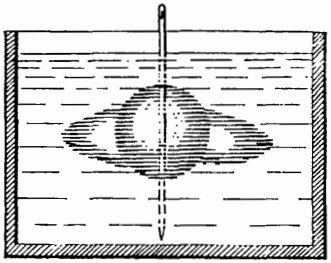
وزنهٔ کوچک در داخل استکان مقداری از آب را از جای خود بیرون می‌راند و آن مقدار آب بالاتر از سطح اولیه قرار میگیرد. درنتیجه، فشار بر ته ظرف افزایش می‌یابد و این افزایش فشار مساوی است با مقدار تقابل وزن وزنهٔ کوچک.

شکل طبیعی مایعات

ما عادت کرده‌ایم فکر کنیم که مایعات هیچ شکل مخصوص به خود ندارند. این فکر درست نیست. شکل طبیعی مایعات کره است. معمولا نیروی ثقل مانع میشود که مایعات این شکل را به خود بگیرند و اگر مایع را در ظرفی بریزیم شکل آن ظرف را به خود میگیرد یا اگر بدون ظرف باشد، بصورت ورقهٔ نازکی پخش میشود. چنانچه مایعی در داخل مایع دیگری که وزن مخصوص آنها مساوی باشد،



شکل ٥٦ — روغن در ظرف پر از مخلوط آب و الکل به شکل کره‌ای درمی‌آید که نه پائین میرود و نه بالا می‌آید (آزمایش پلاتو).



شکل ٥٧ — اگر کره روغنی داخل الکل را بوسیله میله‌ای که از مرکز آن گذرانده‌ایم، بسرعت بچرخانیم، یک حلقه از کره جدا میشود.

قرار گیرد، طبق قانون ارشمیدس وزن خود را «از دست میدهد» و گوئی بی‌وزن میشود و نیروی ثقل بر آن تاثیر نمیکند، آنوقت مایع به شکل طبیعی خود، یعنی شکل کروی در می‌آید.

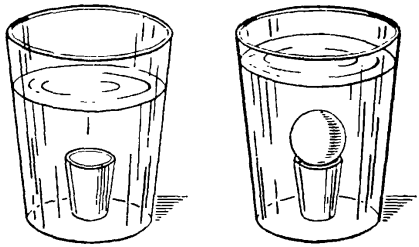
روغن زیتون روی آب میماند، اما اگر در الکل بریزیم، پائین میرود. بنا بر این میتوان مخلوطی از آب و الکل درست کرد که روغن زیتون در آن نه پائین برود و نه بالا بیاید. اگر بوسیله سرنگ قدری روغن زیتون به درون این مخلوط بریزیم، پدیده عجیبی خواهیم دید: روغن زیتون جمع میشود و به شکل قطرهٔ گرد بزرگی در می‌آید که نه پائین میرود و نه بالا می‌آید، بلکه بیحرکت معلق میماند* (شکل ٥٦). آزمایش را باید آرام و با حوصله و با احتیاط انجام داد و الا روغن زیتون نه به شکل یک قطرهٔ بزرگ، بلکه به شکل چند قطرهٔ کوچک در می‌آید. اما حتی در اینصورت هم آزمایش به حد کافی جالب است.

ولی آزمایش با این به پایان نمیرسد. یک میلهٔ چوبی بلند یا یک تکه سیم را از مرکز کره روغنی میگذرانند و میله یا سیم‌را میچرخانند. کره روغنی نیز با میله به چرخش در می‌آید. (اگر میله را از مرکز یک دایره مقوائی کوچک روغن‌اندود بگذرانید، بطوری که تمام دایره مقوائی در داخل کره روغنی قرار بگیرد، آزمایش بهتر انجام میگیرد). کره در اثر چرخش ابتدا بتدریج پهن میشود و بعد پس از چند ثانیه حلقه‌ای از آن جدا میشود (شکل ٥٧). سپس این حلقه پاره و به چند قسمت تقسیم میشود، اما این قسمت‌ها تکه‌های بی شکل نیستند، بلکه قطره‌های کروی شکلی هستند که در اطراف کره مرکزی به چرخش خود ادامه میدهند.

نخستین بار این آزمایش جالب را پلاتو فیزیسین بلژیکی انجام داد. در اینجا آزمایش بطوریکه خود پلاتو انجام داده، توصیف شده است. این آزمایش را میتوان طور دیگری نیز انجام داد که

---

* برای آنکه شکل کره تغییر یافته بنظر نیاید باید آزمایش را در ظرفی انجام داد که دیواره‌های مسطح داشته باشد (یا در ظرفی به هر شکل، اما در اینصورت باید آن ظرف را در داخل ظرف دیگری گذاشت که دیواره‌های مسطح داشته و پر از آب باشد).



شکل ۵۸ — آزمایش پلاتو به طریق ساده تر.

بمراتب آسان تر و تا حدی جالب تر است. یک استکان کوچک را آب میکشند و پر از روغن زیتون میکنند و توی یک استکان بزرگ می‌گذارند. در استکان بزرگ آهسته آنقدر الکل میریزند تا استکان کوچک کاملا توی الکل قرار بگیرد. بعد آهسته با قاشق به دیوارهٔ استکان بزرگ قطره قطره آب میریزند. سطح روغن زیتون در استکان کوچک محدب میشود، بتدریج تحدب افزایش می‌یابد و وقتی به اندازه کافی آب ریختند، روغن به شکل کرهٔ نسبتاً بزرگی از استکان کوچک بیرون می‌آید و در داخل مخلوط الکل و آب معلق می‌ماند (شکل ۵۸).

اگر الکل در دسترس نباشد، این تجربه را میتوان با آنیلین انجام داد. آنیلین مایعی است که در حرارت معمولی از آب سنگین تر و در حرارت ۷۵ — ۸۵ درجه سانتیگراد از آب سبک تر است. بنا بر این اگر آب را گرم کنیم، آنیلین به شکل قطرهٔ کروی بزرگی در می‌آید و در داخل آب شناور میشود. در حرارت معمولی داخل اطاق، قطره آنیلین در آب نمک معلق می‌ماند *.

چرا ساچمه گرد است؟

هم اکنون گفتیم که هر مایعی وقتی نیروی ثقل روی آن اثر نکند، به شکل طبیعی خود یعنی کروی در می‌آید. اگر آنچه را که در باره بی‌وزنی اجسام در حال سقوط قبلا گفته شد، بیاد داشته باشید و در نظر بگیرید که میتوان مقاومت مختصر هوا را در نخستین لحظه سقوط بحساب نیاورد **، آنوقت پی میبرید که قطرات مایع در حال سقوط هم باید به شکل کره‌های کوچک در آیند. واقعاً هم قطرات باران به شکل کره‌های کوچک هستند. ساچمه‌ها نیز قطرات سرب مذابی هستند که سرد

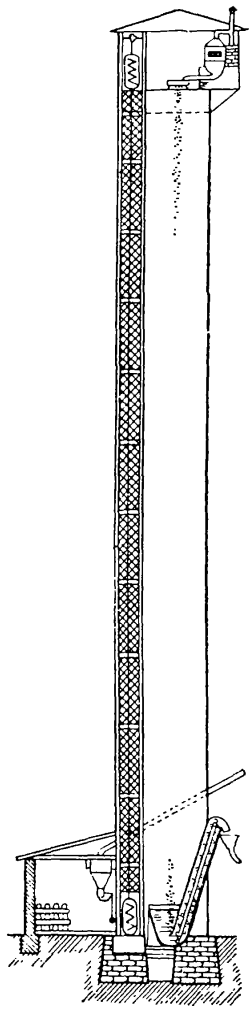
---

* از مایعات دیگر، ارتوتولوئیدین برای این آزمایش مناسب است. ارتوتولوئیدین مایعی است جگری رنگ که در حرارت ۲۴ درجه غلظت آن با غلظت آب نمک مساوی است. ارتوتولوئیدین را در داخل آب نمک می‌ریزند.

** — قطرات باران فقط در لحظهٔ اول سقوط، با شتاب فرود می‌آیند، تقریباً پس از نیم ثانیه، سقوط به صورت حرکت یکنواخت در می‌آید. زیرا متناسب با افزایش سرعت سقوط قطرهٔ باران، مقاومت هوا نیز افزایش می‌یابد و وزن قطرهٔ باران با مقاومت هوا تعادل پیدا میکند.

شده‌اند. در کارخانه، برای ساختن ساچمه، قطرات سرب مذاب را از ارتفاع زیادی به داخل آب سرد میریزند و قطرات سرب مذاب در داخل آب سرد به شکل گلوله‌های کاملا کروی در می‌آیند.

ساچمه‌هائی را که به این طریق ساخته میشود، ساچمه «برجی» مینامند، زیرا برای ساختن ساچمه قطرات سرب مذاب را از بالای برج بلند «ساچمه ریزی» به پائین میریزند (شکل ۵۹). برج کارخانهٔ ساچمه‌ریزی ساختمانی است فلزی به ارتفاع ۴۵ متر. دستگاه ریخته گری با چند دیگ ذوب فلز در بالای برج و مخزن آب در پائین قرار دارد. ساچمه‌هائی را که به این طریق ریخته میشود، باید برحسب بزرگی و کوچکی درجه‌بندی و روکاری و پرداخت کرد. قطرات سرب مذاب ضمن سقوط سرد و به ساچمه تبدیل میشوند، مخزن آب فقط برای آن لازم است که از شدت ضربت سقوط ساچمه‌ها بکاهد و از معیوب شدن شکل کروی آنها جلوگیری کند. (ساچمه‌های بقطر بیش از ۶ میلیمتر را که به چارپاره معروف است، به طریق دیگری میسازند: از سیم تکه‌های کوچکی می‌برند و آنها را میغلتانند و گرد میکنند).



شکل ۵۹ — برج کارخانه ساچمه‌ریزی.

جائی که مانند چاه ویل «هر چه در آن بریزی جا میگیرد»

در یک جام آنقدر آب بریزید تا کاملا پر شود. بعد یک مشت سنجاق پهلوی جام بگذارید. شاید در این جام پر آب برای یکی دو سنجاق هم جا مانده است؟ آزمایش کنید.

سنجاق‌ها را یکی یکی توی جام بیاندازید و بشمارید. البته باید خیلی با احتیاط بیاندازید: نوک تیز سنجاق را آهسته توی آب فرو ببرید و بدون تکان و فشار سنجاق را رها کنید، بطوری که آب در اثر لرزش بیرون نریزد. یک، دو، سه سنجاق به ته جام می‌افتد، اما سطح آب بالا نمی‌آید. ده، بیست، سی... اما آب بیرون نمیریزد. پنجاه، شصت، هفتاد، حتی صد سنجاق در ته جام است، با وجود این باز هم آب بیرون نمیریزد (شکل ۶۰)

نه فقط بیرون نمیریزد، بلکه حتی آنقدر هم از لب جام بالا نمی‌آید که بتوان دید. باز هم در جام سنجاق بیاندازید. دویست، سیصد، چهارصد سنجاق بیاندازید، باز هم یک قطره آب بیرون نمیریزد، اما حالا دیگر دیده میشود که چطور سطح آب بالا آمده و کمی از لب گیلاس بالاتر است. کلید حل این پدیده غیر قابل فهم در همین بالا آمدن آب است. اگر شیشه حتی کمی چرب باشد، آب شیشه را کم تر میکند. و اما لب جام، مانند هر ظرف دیگری که مورد استفاده ما قرار میگیرد، در نتیجه تماس انگشتان ما حتماً از قشر نازکی از چربی پوشیده میشود. آبی که در نتیجه انداختن سنجاق‌ها بالا آمده

است، بی‌آنکه لب جام را تر کند، برجستگی غیرقابل توجهی تشکیل میدهد که به چشم نمیخورد، اما اگر کمی به خودتان زحمت بدهید و حجم یک سنجاق را حساب کنید و با حجم آن برجستگی که بالاتر از لب جام قرار دارد، مقایسه کنید، یقین خواهید کرد که حجم یک سنجاق صدها بار از حجم آب بالا آمده کمتر است. به همین دلیل ممکن است در یک جام «پر» برای صدها سنجاق هم جا پیدا شود. هر چه ظرف گشادتر باشد به همان اندازه بیشتر سنجاق در آن جا میگیرد، زیرا حجم آب بالا آمده به همان اندازه بیشتر است.

برای روشن شدن مسأله، یک محاسبه تقریبی میکنیم. طول سنجاق در حدود ۲۵ میلیمتر و کلفتی آن نیم میلیمتر است. حجم چنین استوانه‌ای را از روی فرمول معروف هندسه ($\frac{\pi d^2 h}{4}$) میتوان به آسانی حساب کرد. حجم سنجاق ۵ میلیمتر مکعب و با کلاهک سر سنجاق در حدود ۵/۰ میلیمتر مکعب است.

شکل ۶۰ — یک آزمایش حیرت‌انگیز با تعدادی سنجاق در جام پر آب.

حالا حجم قشر آبی‌را که از لب جام بالا آمده است، حساب میکنیم. قطر جام ۹ سانتی متر یعنی ۹۰ میلیمتر است. سطح چنین دایره‌ای مساوی تقریبا ۶۴۰۰ میلیمتر مربع میشود. اگر فرض کنیم که ضخامت قشر آب بالا آمده فقط یک میلیمتر باشد، حجم آن ۶۴۰۰ میلیمتر مکعب، یعنی ۱۲۰۰ بار بیشتر از حجم سنجاق میباشد. بعبارت دیگر جام پر از آب هنوز گنجایش بیش از هزار سنجاق را دارد! واقعاً هم اگر سنجاق‌ها را آهسته و با احتیاط توی آب بیاندازیم، میتوان هزار سنجاق در جام جا داد، و بنظر می‌آید که گوئی تمام جام را پر کرده‌اند و حتی از لب جام هم بالا تر آمده‌اند، اما آب باز هم بیرون نخواهد ریخت.

ویژگی جالب و عجیب نفت سفید

کسانی که با چراغ نفتی سر و کار داشته‌اند، لابد با پدیده‌های ناگوار و ناراحت‌کننده‌ای که از یک ویژگی نفت سفید حاصل میشود، برخورد کرده‌اند. مخزن نفت چراغ را پر میکنید و از خارج آن را کاملا پاک و خشک میکنید، اما بعد از یک ساعت می‌بینید که از نو تر شده است.

علت این پدیده آنستکه سرپیچ چراغ را به اندازه کافی سفت نکرده‌اید و نفت که همیشه بسرعت در سطح شیشه پخش میشود، از مخزن بیرون می‌آید و سطح خارجی آن را تر میکند. اگر میخواهید خود را از اینگونه پیشامدهای ناگوار در امان بدارید، باید حتی الامکان سرپیچ چراغ را سفت ببندید*.

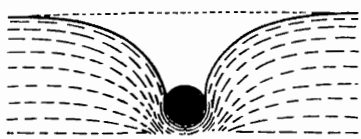
---

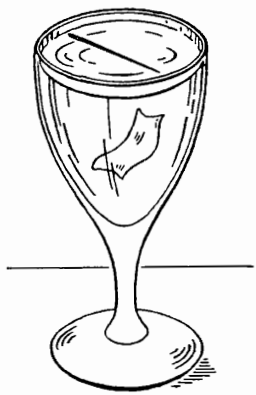
* اما وقتی سرپیچ را کاملا کیپ میکنید، یادتان نرود توجه کنید که مخزن چراغ تا لب پر نباشد، زیرا نفت وقتی گرم میشود به میزان نسبتاً زیادی انبساط می‌یابد (وقتی حرارت نفت صد درجه بالا برود، حجم آن به اندازه یک دهم افزایش می‌یابد) و برای اینکه مخزن نفت چراغ نترکد باید مقداری جا برای انبساط باقی گذاشت.

این خاصیت پخش شدن نفت در سطح، در کشتی‌هائی که موتورشان با نفت سفید (یا نفت سیاه) کار میکند، نتایج فوق‌العاده ناگواری به بار می‌آورد. در اینگونه کشتی ها، اگر تدابیر لازم اتخاذ نشده باشد، بهیچوجه هیچ کالائی نمیتوان حمل کرد، مگر همان نفت سفید یا سیاه‌را، زیرا نفت از سوراخ ها و درزهای خیلی کوچک باک‌ها بیرون می‌آید و نه فقط روی دیواره‌های فلزی خود باک‌ها پخش میشود، بلکه در همه چیز، حتی لباس سرنشینان، نفوذ میکند و همه اشیاء بوی تحمل‌ناپذیر نفت میگیرند. کوشش برای مبارزه با این پدیدهٔ زیان بخش در اکثر موارد بی نتیجه میماند.

جروم نویسنده فکاهی نویس انگلیسی که در داستان «سه نفر در یک قایق» راجع به نفت مطالب زیر را نوشته است، زیاد اغراق نگفته است:

«من ماده‌ای که بیش از نفت قابلیت نفوذ در همه چیز و همه جا را داشته باشد، نمی‌شناسم. ما ظرف نفت را در دماغهٔ قایق گذاشته بودیم، اما نفت از آنجا به انتهای دیگر قایق نفوذ کرده و هر چه را که در سر راهش قرار داشت، به بوی خود آغشته بود. از خلال تخته‌های دیواره‌های قایق تراوش میکرد و قطره قطره توی آب میچکید، آسمان و هوارا خراب و زندگی را بر ما تلخ میکرد. بادی که از بوی نفت اشباع شده بود، گه از باختر و گه از خاور، گه از شمال و گه از جنوب میوزید، اما چه از آرکتیک پوشیده از برف و چه از شن‌های کویر برخاسته باشد، در هر حال همیشه به روی ما میوزید. شامگاهان «رایحهٔ مطبوع» زیبائی‌غروب آفتاب را نابود میساخت و شب پرتو ماه نفت میپراکند... قایق را به پل بستیم و رفتیم تا درشهر کمی گردش کنیم، اما این بوی نفرت انگیز همانطور ما را تعقیب میکرد». تصور میرفت که سرتاسر شهربوی‌نفت گرفته بود. (البته فقط لباس مسافران به بوی نفت آغشته بوده است).





این خصوصیت نفت که سطح خارجی مخازن را تر میکند، سبب پیدایش فکر نادرستی شده بود که گویا نفت میتواند از خلال فلز و شیشه نفوذ کند.

شکل ۶۱ — سوزنی که روی آب شناور میماند. در بالا مقطع سوزن (به کلفتی ۲ میلیمتر) و شکل دقیق فرو رفتگی آب (۲ بار بزرگ شده است)، در پائین طرز شناور ساختن سوزن بوسیله یک تکه کاغذ، نشان داده شده است.

سکه‌ای که زیر آب نمیرود

سکه‌ای که زیر آب نمیرود نه فقط در افسانه‌ها، بلکه در واقع هم وجود دارد. اگر چند آزمایش آسان بکنید، به صحت این مدعا معتقد میشوید. از اشیاء کوچک، مثلا از سوزن شروع میکنیم. ظاهراً تصور میرود ممکن نیست کاری کرد که سوزن فولادی در سطح آب شناور بماند، اما این کار چندان دشوار نیست. روی آب یک تکه کاغذ سیگار و روی کاغذ یک

سوزن کاملا خشک بگذارید. حالا فقط یک کار میماند و آن اینکه تکهٔ کاغذ سیگار را آهسته از زیر سوزن بردارید. برای این کار یک سوزن دیگر یا یک سنجاق بردارید و بانوک آن آهسته ابتدا کناره‌های کاغذ و بتدریج وسط آن را توی آب فرو کنید. وقتی تمام تکهٔ کاغذ خیس شد، به زیر آب میرود، اما سوزن همانطور در سطح آب شناور میماند (شکل ۶۱). حتی میتوانید به وسیله یک آهن‌ربا که در ارتفاع سطح آب به دیواره جام نزدیک میکنید، این سوزن شناور روی آب را به هر سو که بخواهید حرکت بدهید.

با کمی ورزیدگی میتوانید بدون کاغذ سیگار هم این کار را بکنید: با دو انگشت وسط سوزن را بگیرید و از ارتفاع کمی سوزن را به حالت افقی روی سطح آب رها کنید.

بجای سوزن میتوان سنجاق (کلفتی هیچ یک از آنها نباید بیش از ۲ میلیمتر باشد)، دکمه سبک و یا اشیاء فلزی کوچک و پهن را روی سطح آب شناور بسازید. وقتی در این کار مهارت یافتید، بکوشید کاری بکنید که سکهٔ کوچک روی سطح آب شناور بماند.

علت اینکه این اشیاء فلزی روی آب شناور میمانند آنستکه فلزی که دست ما بوده و در نتیجه از قشر نازکی چربی پوشیده شده است، در آب زود تر نمیشود. به این دلیل در سطح آب دور سوزنی که روی آب شناور است، فرو رفتگی‌ای به وجود می‌آید که میتوان باچشم دید. قشر بالائی آب که میخواهد صاف بشود، از زیر به سوزن فشار می‌آورد و به این وسیله آن را نگهمیدارد. بعلاوه، طبق قانون اجسام شناور، نیروی بیرون‌راننده مایع نیز سوزن را از زیر نگهمیدارد: نیروئی که از زیر به سوزن فشار می‌آورد مساوی است با وزن آبی که سوزن از جای خود بیرون رانده است.

ساده‌ترین راه برای آنکه سوزن روی آب شناور بماند آنستکه به سوزن روغن بمالید. چنین سوزنی را میتوان مستقیماً روی آب گذاشت، و سوزن زیر آب نمیرود.

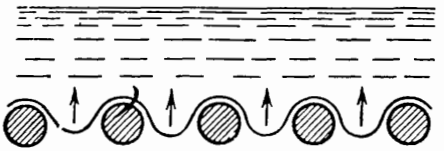
آب در غربال

از قرار معلوم، نه فقط در افسانه‌ها، بلکه در واقع هم میتوان در غربال آب برد. دانستن فیزیک امکان میدهد تا این کار را که از قدیم الایام محال شمرده میشد، انجام داد. برای این کار باید یک غربال سیمی به قطر در حدود ۱۰ سانتیمتر که سوراخ‌های آن زیاد ریز نباشد (در حدود یک میلیمتر)، برداشت و تور سیمی آن را در پارافین مذاب فرو کرد و بیرون آورد. روی سیم‌ها ورقهٔ نازکی از پارافین پوشیده میشود که بزحمت میتوان آن‌را دید.

غربال همان غربال است و سوزن به راحتی از سوراخ‌های آن میگذرد، اما حالا میتوانید، واقعاً در این غربال آب ببرید. در چنین غربالی قشر نسبتاً کلفتی از آب میماند و از سوراخ‌ها نمیریزد. فقط باید آب را آهسته و با احتیاط ریخت و مواظب بود که به غربال تکان شدید وارد نیاید.

چرا آب از سوراخ‌های این غربال نمیریزد؟ زیرا آب که پارافین را تر نمیکند، در سوراخ‌های غربال به شکل ورقه‌های نازک محدب در می‌آید که قسمت محدب آنها رو به پائین است و همین ورقه‌های نازک محدبی آب را نگهمیدارند (شکل ۶۲).

این غربال پارافین‌اندود را میتوان روی آب گذاشت، و غربال زیر آب نمیرود. پس، نه فقط میتوان آب در غربال برد، بلکه میتوان توی غربال روی آب حرکت کرد.

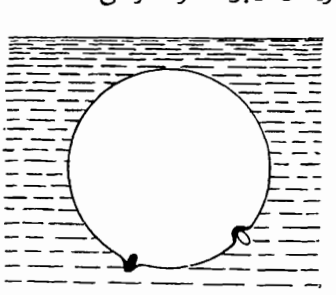


شکل ۶۲ — چرا آب از غربال پارافین اندود نمیریزد.

بسیاری از پدیده‌ها را که ما بیش از حد به آنها عادت کرده‌ایم و به علل آنها نمی‌اندیشیم، از روی این آزمایش عجیب می توان توضیح داد. قیراندود کردن بشکه‌ها و قایق‌ها، روغن زدن توپی‌ها و بوشینگ ها، رنگ کردن با رنگ روغنی و بطور کلی پوشاندن همه اجسامی که میخواهیم آب در آنها نفوذ نکند، از یک قشر نازک مواد روغنی، و نیز آغشتن پارچه‌ها به مواد لاستیکی — همه اینها چیزی نیست جز ساختن غربالی مانند همان غربالی که هم اکنون شرح داده شد. ماهیت امر در کلیهٔ این موارد یکی است، فقط در مورد غربال به شکل خارق العاده‌ای نمودار میشود.

کف در خدمت تکنیک

آزمایش شناور شدن سوزن فولادی و سکهٔ مسی در آب با پدیده‌ای که در صنایع استخراج معادن برای «پرعیار کردن» سنگ معدن، یعنی برای افزایش اجزاء متشکله پرارزش سنگ معدن، از آن استفاده میشود، همانند است. در صنایع استخراج معادن برای پرعیار کردن سنگ معدن طرق و وسائل زیادی وجود دارد. راهی که ما اکنون در نظر داریم و بنام «فلوتاسیون» معروف است، موثرترین طریقه میباشد. این طریقه حتی درمواردی که با هیچ یک از طرق دیگر نمیتوان به مقصود رسید، با موفقیت مورد استفاده قرار میگیرد. اصول فلوتاسیون (یعنی شناور ساختن) بقرار زیر است: سنگ معدن را کاملا میکوبند و آرد میکنند و در تغاری پر از مخلوط آب و مواد روغنی میریزند. این مواد روغنی از روغن‌هائی است که ذرات مادهٔ معدنی مورد نظرم را از ورقهٔ بسیار نازکی میپوشانند که درآب تر نمیشود. این مخلوط را با هوا بشدت بهم میزنند و در نتیجه تعداد بسیار زیادی حباب‌های کوچک، یعنی کف بوجود می‌آید. ضمن بهم‌زدن مخلوط، ذرات مادهٔ معدنی که روی آن قشر نازکی از روغن پوشیده شده است، وقتی با پوستهٔ حباب هوا تماس پیدا کردند به آن می چسبند و از



شکل ۶۳ — فلوتاسیون به این طریق صورت میگیرد.

* «فلوتاسیون» یعنی جداکردن اجزاء متشکلهٔ یک مخلوط بوسیله شناور کردن آن در مایعات (مترجم).

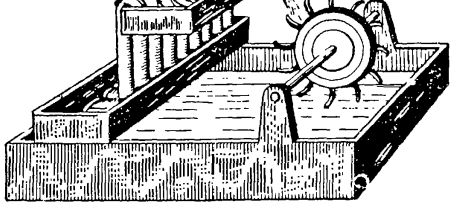
حباب آویزان میشوند. حباب هوا این ذرات را به بالا میبرد، همانطور که بالون هوائی سبدی را که به آن بسته شده است، در هوا بلند میکند (شکل ٦٣). ذرات مواد غیر معدنی که از قشر نازک روغنی پوشیده نشده‌اند، به پوسته حباب نمی‌چسبند و در داخل مایع میمانند. باید یادآور شد که حباب هوائی کف بمراتب بزرگتر از ذرهٔ مادهٔ معدنی میباشد و نیروی شناوری آن آنقدر هست که بتواند ذرات کوچک سفت را با خود به بالا ببرد. در نتیجه، تقریباً تمام ذرات مادهٔ معدنی در داخل کفی قرار میگیرند که روی مایع را پوشانده است. کف را میگیرند و برای عمل آوردن بعدی، یعنی برای تولید مادهٔ معدنی «کنسانتره» میفرسند. عیار این کنسانتره، یعنی میزان مادهٔ معدنی داخل آن ده بار بیش از سنگ معدن اولیه است.

تکنیک فلوتاسیون بقدری دقیق و همه جانبه بررسی و تکمیل شده است که با انتخاب مایعات مناسب و مخلوط کردن آنها، میتوان هر مادهٔ معدنی را از کلیهٔ ترکیبات سنگ‌ها و مواد غیر معدنی جدا کرد.

باید یاد آور شد که خود ایده فلوتاسیون از راه تئوری پیدا نشده، بلکه توجه دقیق به یک حادثهٔ تصادفی موجب پیدایش آن شده است. در اواخر قرن نوزدهم میلادی یک آموزگار امریکائی بنام کاری اورسون وقتی کیسه‌های چربی را که قبلا پیریت مس در آنها نگهداری میشده، می‌شست، متوجه شد که ذرات پیریت با کف صابون به روی آب می‌آمدند. همین امر نخستین سبب رشد و تکامل طریقهٔ فلوتاسیون‌شد.

محرک «دائمی» خیالی

دستگاهی که ساختمان آن در پائین شرح داده میشود (شکل ٦٤) گاهی در کتاب‌ها بعنوان یک محرک «دائمی» واقعی توصیف شده است. روغن یا آبی که در ظرفی ریخته شده است، ابتدا بوسیلهٔ چند فتیله به ظرف دیگر و از آنجا بوسیلهٔ چند فتیلهٔ دیگر به ظرف بالاتر میرود. ظرف بالائی دارای ناودانی است که روغن از آن روی پره‌های چرخی میریزد و چرخ را به چرخش در می‌آورد. روغنی که



شکل ٦٤ — گردونه‌ای که ساختن آن ممکن نیست.

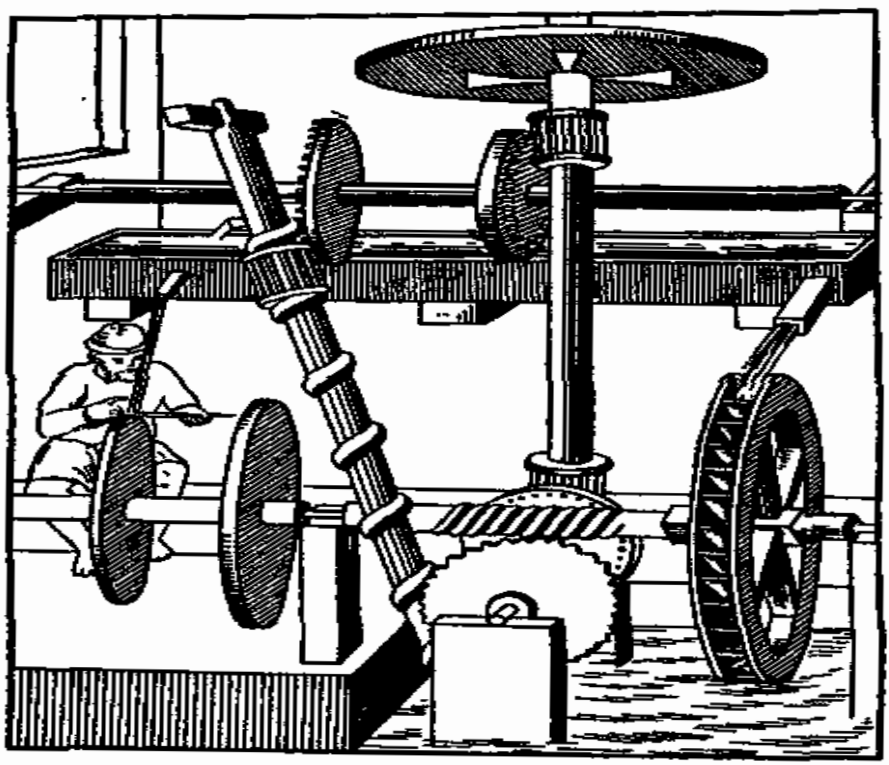
پائین ریخته است از نو بوسیله همان فتیله‌ها به ظرف بالائی میرود. بدین ترتیب، روغن بلاانقطاع روی پره‌های چرخ میریزد و چرخ باید دائماً بچرخد...

اگر مؤلفینی که این گردونه را توصیف کرده‌اند، به خود زحمت میدادند و آن را میساختند، یقین حاصل میکردند که نه فقط چرخ نمی‌چرخد، بلکه حتی یک قطره مایع هم به ظرف بالائی نمیرود.

اما بدون ساختن گردونه هم میتوان به این واقعیت پی برد. حقیقتاً هم، چرا مخترع فکر میکند که روغن باید از قسمت بالائی کج شده فتیله پائین بریزد؟ ربایش موئی بر ثقل فزونی می‌یابد و

مایع را از فتیله بالا میبرد، اما همین رمایش موئی مایع‌را در خلل و فرج فتیله نگهمیدارد و مانع چکیدن آن میشود. اگر فرض کنیم که ممکن است مایع در نتیجه عمل نیروی رمایش موئی به ظرف بالائی گردونهٔ خیالی ما برود، باید قبول کرد که همان فتیله‌هائی که گویا مایع‌را به ظرف بالائی برده‌اند، خودشان باید آن را به ظرف پائینی برگردانند.

این محرک دائمی خیالی شبیه دستگاه آبی حرکت «دائمی» است که «استرادو بزرگ» مکانیسین ایتالیائی در سال ۱۵۷۰ اختراع کرده بود. ما این طرح عجیب را توصیف میکنیم (شکل ٦٥). پیچ ارشمیدس می چرخد و آب را به ظرف بالائی می‌برد، آب از ناودان این ظرف روی پره‌های چرخ پائینی سمت راست میریزد و آن را به چرخش در می‌آورد. چرخ آبی دستگاه چاقوتیزکنی را می‌چرخاند و در عین حال چند چرخ دندانه‌دار همان پیچ ارشمیدس‌را به حرکت در می‌آورد و پیچ ارشمیدس آب را به ظرف بالائی می‌برد. خلاصه، پیچ چرخ را میچرخاند و چرخ پیچ‌را !... اگر ساختن چنین دستگاه‌هائی ممکن بود، ساده‌ترین راه این بود که اینطور بسازیم: طنابی روی قرقره‌ای بیاندازیم و به دو سرطناب دو وزنه مساوی ببندیم. وقتی یک وزنه پائین می‌آمد، وزنه دیگر را بالا می‌برد و وقتی وزنه دوم از ارتفاعی که داشت پائین می‌آمد وزنه اول را بالا می برد. این محرک «دائمی» چه عیبی دارد؟



شکل ٦٥ — یک طرح قدیمی محرک «دائمی» آبی برای چرخ چاقو تیزکنی.

حباب صابون

آیا میتوانید با فوت حباب صابون درست کنید؟ این کار آنقدرها هم که تصور میکنید آسان نیست. من هم تصور می‌کردم که برای این کار هیچ ورزیدگی و مهارتی لازم نیست، تا اینکه عملا یقین حاصل کردم که درست کردن حباب‌های صابون بزرگ و زیبا بافوت یک نوع هنری است که احتیاج به تمرین‌وورزیدگی دارد. اما آیا هیچ ارزش دارد که وقت خود را صرف چنین کار بیهوده‌ای، یعنی درست کردن حباب صابون، بکنیم؟

حباب صابون در زندگی عادی میان مردم شهرت بدی دارد، لااقل ما خیالات خام و بی‌اساس را به حباب صابون تشبیه میکنیم. اما فیزیسین به حباب صابون بنظر دیگری مینگرد. کلوین دانشمند بزرگ انگلیسی نوشته است: «یک حباب صابون درست کنید و به آن بنگرید: میتوانید تمام عمر به بررسی آن مشغول شوید و مرتب از آن درس فیزیک بگیرید».

واقعاً هم رنگین کمان‌های شگفت‌آور روی قشر بسیار نازک حباب صابون به فیزیسین امکان میدهد تا طول امواج نور را اندازه بگیرد، و بررسی قوه انبساط این قشرهای بسیار نازک به وی کمک میکند تا قوانین عمل نیروها میان ذرات را بیاموزد، آن نیروی هم‌چسبی که اگر نمیبود در جهان جز گرد بسیار نرم هیچ چیز وجود نداشت.

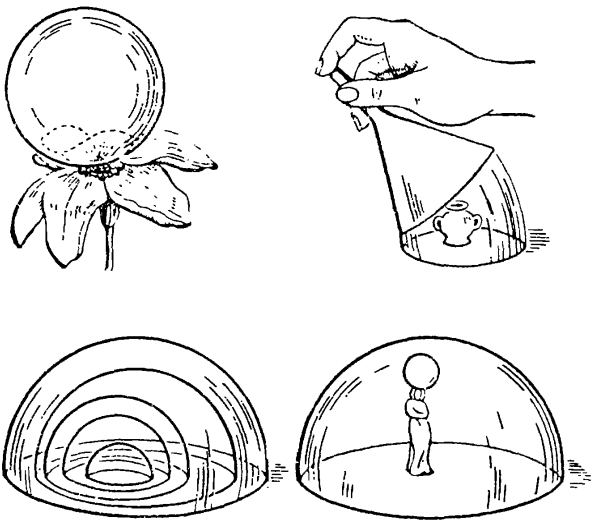
چند آزمایشی که در پائین شرح داده میشود، بمنظور بررسی این مسائل جدی نیست، بلکه سرگرمی جالبی است که فقط ما را با هنر درست کردن حباب صابون بافوت آشنا میکند. چارلز بویس فیزیسین انگلیسی در کتاب «حباب‌های صابون» تعداد بسیار زیادی آزمایش‌های گوناگون با حباب صابون را شرح داده است. ما به علاقمندان توصیه میکنیم این کتاب کم‌نظیر را بخوانند، و در اینجا فقط ساده ترین آزمایش‌ها را شرح میدهیم.

این آزمایش ها را میتوان با صابون رختشوئی معمولی انجام داد*. اما به کسانی که مایل باشند، توصیه میکنیم از صابون روغن زیتون یا روغن بادام استفاده کنند، این صابون‌ها برای درست کردن حباب صابون بزرگ و زیبا مناسب تر هستند. یک تکه از این صابون‌ها را در آب پاک سرد آهسته و بتدریج حل میکنند تا محلول بحد کافی غلیظی بدست آید. بهتر است از آب باران یا آب برف پاک استفاده کرد، و چنانچه آب باران یا آب برف در دسترس نباشد، از آب جوشیده سرد هم میتوان استفاده کرد. برای آنکه حباب صابون مدت زیادی بماند، پلاتو توصیه میکند که به محلول آب صابون $\frac{1}{3}$ (بر حسب حجم) گلیسرین اضافه شود. با قاشق کف و حباب‌های روی محلول را میگیرند و بعد لوله باریک سفالی را که قبلا به نوک آن از داخل و خارج صابون مالیده‌اند، در محلول فرو میکنند. با ساقهٔ گندم خشکی که یک سر آن را به شکل صلیب شکافته باشند، نیز نتایج خوبی بدست می‌آورند.

برای درست کردن حباب به طریق زیر عمل میکنند: لوله را در محلول فرو میکنند و عمودی نگاه میدارند، بطوری که سر لوله را ورقهٔ نازکی از مایع بپوشاند و آهسته در لوله میدمند. چون حباب از هوای گرم ریه ما پر میشود و این هوا از هوای اطاق سبک تر است، حبابی که درست میشود، فوراً به بالا میرود.

---

* صابون های دست و روشوئی برای این منظور کمتر مناسب هستند.



شکل ٦٦ — چند آزمایش با حباب صابون: حباب صابون روی گل، حباب صابون دور گلدان، چند حباب صابون یکی در داخل دیگری، حباب صابون روی مجسمه کوچک در داخل حباب دیگر.

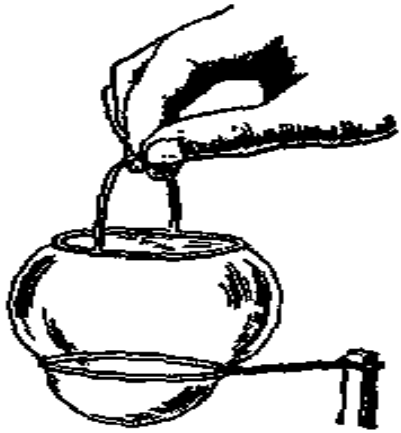
اگر در اولین بار حبابی به قطر تقریباً ۱۰ سانتیمتر درست شد، محلول خوب است. در غیر اینصورت آنقدر صابون به محلول می‌افزایند تا حباب‌هائی به قطر ۱۰ سانتیمتر درست شود. اما این کار برای امتحان کردن محلول کافی نیست. وقتی حباب درست شد، انگشت را در آب صابون تر میکنند و میکوشند انگشت را توی حباب فرو کنند. اگر حباب نترکید، میتوان آزمایش‌ها را شروع کرد، اما اگر ترکید باید باز هم کمی صابون به محلول افزود.

آزمایش‌ها را باید آهسته و آرام و با احتیاط انجام داد. روشنائی باید حتی المقدور زیاد باشد و الا تمام رنگ‌های رنگین‌کمانی حباب‌ها دیده نمیشود.

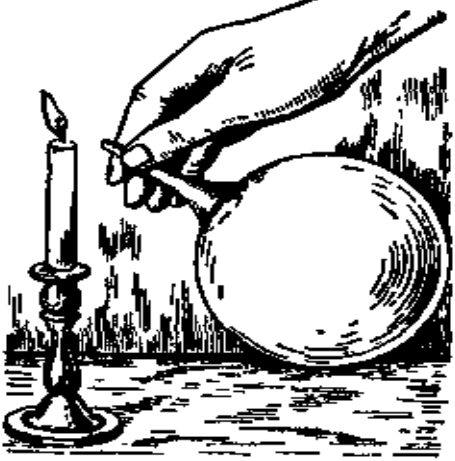
اینک چند آزمایش جالب با حباب صابون:

حباب صابون به دور گل. در یک بشقاب یا سینی آنقدر آب صابون میریزند تا کف بشقاب از قشری به کلفتی ۲ — ۳ میلیمتر پوشیده شود. در وسط بشقاب یک گل یا گلدان کوچکی و روی گل یا گلدان یک قیف شیشه‌ای میگذارند. بعد قیف را آهسته بلند میکنند و در ضمن در لولهٔ باریک آن میدمند. حباب صابونی درست میشود. وقتی حباب بحدکافی بزرگ شد، قیف را بطوریکه در شکل ٦٦ نشان داده شده، کج میکنند تا حباب صابون از زیر قیف بیرون بیاید. آنوقت گل زیر کلاهک نیم دایره‌ای حباب صابون قرار میگیرد که همهٔ رنگ‌های رنگین‌کمان در آن میدرخشد.

میتوان بجای گل یک مجسمه کوچک برداشت و روی سر آن تاجی از حباب صابون گذاشت (شکل ٦٦). برای این کار باید قبلا کمی آب صابون روی سر مجسمه چکاند، و بعد وقتی حباب بزرگ



شکل ۶۱ — چگونه باید حباب صابون استوانه‌ای درست کرد.



شکل ۶۸ — قشر حباب صابون هوا را با فشار بیرون میدهد.

درست شد، لوله باریکی در حباب بزرگ فرو کرد و در محلول روی سر مجسمه دمید تا حباب کوچکی درست شود.

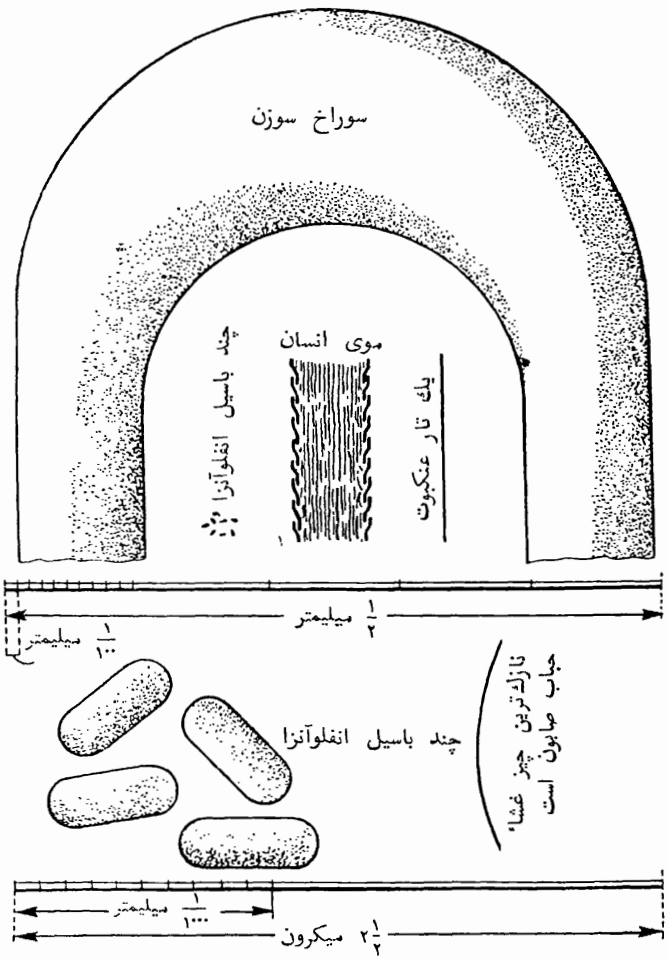
چند حباب یکی درون دیگری (شکل ۶۶). با قیفی که در آزمایش پیش بکار رفت، مانند همان آزمایش، یک حباب صابون بزرگ درست میکنند. بعد یک ساقهٔ گندم خشک را کاملا در آب صابون فرو میبرند، بطوریکه فقط آن سر ساقهٔ گندم که باید به دهن گرفت، خشک بماند. بعد ساقهٔ گندم را در حباب بزرگ فرو میکنند تا نوک ساقهٔ گندم به مرکز حباب برسد و از نو آهسته آن را تا نزدیک قشر حباب بزرگ بیرون میکشند و در آن میدمند تا در داخل حباب بزرگ حباب دوم درست شود، بعد در داخل حباب دوم حباب سوم و چهارم و الی آخر.

حباب صابون استوانه‌ای. با دو حلقهٔ سیمی میتوان حباب صابون استوانه‌ای درست کرد (شکل ۶۷). برای این کار یک حباب صابون معمولی کروی روی حلقهٔ پائینی میگذارند. بعد حلقهٔ دوم را که قبلا با محلول تر کرده‌اند، به حباب میچسبانند و حلقه را بالا میبرند و حباب صابون را آنقدر میکشند تا استوانه‌ای شود. جالب است که اگر حلقهٔ بالائی را به ارتفاع بیش از طول محیط حلقه بالا ببرید، یک طرف استوانه باریک و طرف دیگرش گشاد میشود و بعد به دو حباب تقسیم میشود.

قشر حباب صابون همیشه در حال کشش قرار دارد و بر هوای درون حباب فشار می‌آورد. اگر لوله قیف را به طرف شعله شمع بگیرید، می‌فهمید که نیروی این قشر بسیار نازک آنقدرها هم ناچیز نیست. شعله بطور محسوسی از نوک لولهٔ قیف دور میشود (شکل ۶۸).

وقتی حباب صابون از جای گرم به جای سرد یا برعکس از جای سرد به جای گرم میرود، تماشا و دقت در آن جالب است. ظاهراً وقتی از جای گرم به جای سرد میرود، حجم آن کم و وقتی از جای سرد به جای گرم میرود، برعکس حجم آن زیاد میشود. البته علت این امر در منقبض و منبسط شدن هوای درون حباب است. اگر مثلا در سرمای ۱۰ — درجه سانتیگراد حجم حباب صابون ۱۰۰۰ سانتیمتر مکعب باشد و حباب را به جائی ببریم که حرارت آن ۱۰ + درجه سانتیگراد است، باید حجم حباب تقریباً ۱۱۰ سانتیمتر مکعب ($۱۱۰ = \frac{۱}{۲۷۳} \times ۳۰ \times ۱۰۰۰$) افزایش بیابد.

باید یاد آور شد که تصورات معمولی در باره ناپایداری حباب صابون آنقدرها هم درست نیست. اگر از حباب صابون آنطور که باید و شاید نگاهداری شود، میتوان آن را دهها روز حفظ کرد. دیوآر فیزیسین انگلیسی (که با آثار خود در باره مایع کردن هوا شهرت بسزائی کسب کرده بود) حباب‌های صابون را در بطری‌های مخصوص نگاهداری میکرد که از گرد و خاک و خشک شدن و



شکل ۶۹ — در بالا سوراخ سوزن، موی انسان، چند باسیل و یک تار عنکبوت که به مقیاس ۲۰۰ بار بزرگ شده‌اند. در پائین چند باسیل و غشاء حباب صابون که به مقیاس ۴۰۰۰۰ بار بزرگ شده‌اند.

۱ میکرون = ۰/۰۰۰۱ سانتیمتر

ارزش هوا کاملا محفوظ بودند. او موفق شد در این شرایط بعضی از حباب‌های صابون را یک ماه و حتی بیشتر حفظ کند. لورنس امریکائی موفق شد حباب‌های صابون را سال ها زیر کلاهک شیشه‌ای حفظ کند.

نازک‌ترین چیز چیست؟

لابد عدهٔ کمی میدانند که غشاء حباب صابون یکی از نازک‌ترین چیزهائی است که با چشم غیر مسلح میتوان دید. چیزهائی که ما معمولا در تشبیه برای بیان نازکی و باریکی از آنها استفاده میکنیم، در مقایسه با غشاء حباب صابون قوق‌العاده کلفت هستند. « باریک مانند مو »، « نازک مانند کاغذ سیگار» اما مو و کاغذ سیگار در مقایسه با غشاء حباب صابون اجسام بسیار کلفتی هستند، و غشاء حباب صابون ۵۰۰۰ بار از مو و کاغذ سیگار نازک تر است. اگر موی انسان را به مقیاس ۲۰۰ بار بزرگ بکنیم، در حدود یک سانتیمتر کلفتی خواهد داشت، اما اگر مقطع غشاء حباب صابون را به همین مقیاس بزرگ کنیم، باز هم با چشم دیده نمیشود. مقطع حباب صابون را باید باز هم به مقیاس ۲۰۰ بار بزرگ کرد تا به صورت خط نازکی دیده شود. اما اگر موررا به این مقیاس (۴۰۰۰۰ بار !) بزرگ کنیم، بیش از ۲ متر کلفتی خواهد داشت. در شکل ۶۹ این نسبت‌ها بطور واضحی نشان داده شده است.

بدون تر کردن انگشتان از آب

در یک بشقاب لب تخت بزرگ یک سکه بگذارید و آنقدر آب در بشقاب بریزید که سکه کاملا زیر آب برود. بعد به مهمانان بگوئید که سکه را با دست لخت بردارند، بدون اینکه انگشتانشان تر بشود.

این مسألهٔ ظاهراً غیر قابل حل، به کمک یک استکان و یک تکه کاغذ شعله‌ور، به آسانی حل میشود. کاغذ را آتش بزنید و همانطور که میسوزد توی استکان بگذارید، استکان را بسرعت برگردانید و پهلوی سکه توی بشقاب بگذارید. کاغذ خاموش و استکان از دود سفیدی پر میشود، بعد تمام آب بشقاب خود بخود زیر استکان جمع میشود. البته، سکه در جای خود باقی میماند و پس از یکی دو دقیقه خشک میشود، آنوقت شما میتوانید بدون تر کردن انگشتان سکه را بردارید.

چه نیروئی آب را به درون استکان برده و در ارتفاع معینی نگاه میدارد؟ فشار جو. کاغذ شعله‌ور هوای داخل استکان را گرم کرده، در نتیجه فشار هوا افزایش یافته و مقداری از گاز از استکان خارج میشود. وقتی کاغذ خاموش شد هوا از نو سرد و ضمن سرد شدن فشارش کم میشود و در اثر فشار هوای خارج از استکان، آب به زیر استکان میرود.

میتوان بجای کاغذ از یکی دو چوب کبریت که در چوب‌پنبه‌ای فرو کرده‌اید، استفاده کرد (شکل ۷۰).

اغلب اوقات این آزمایش قدیمی را نادرست توضیح میدهند و حتی در کتاب ها مینویسند*. یعنی میگویند که ضمن سوختن کاغذ « اکسیژن میسوزد » و در نتیجه مقدار گاز زیر استکان کم میشود.

---

* این آزمایش برای نخستین بار در آثار فیلون بیزانسی فیزیک‌دان باستانی که در حدود قرن اول قبل از میلاد میزیسته است، توصیف و درست تشریح شده است.

شکل ۷۰ — چگونه باید تمام آب بشقاب را در استکانی که وارونه روی بشقاب میگذارید، جمع کرد.

این توضیح بکلی نادرست است. علت اصلی فقط در گرم شدن هوا است، نه در جذب قسمتی از اکسیژن ضمن سوختن کاغذ. زیرا: اولا — میتوان بدون کاغذ شعله‌ور نیز آزمایش را انجام داد، یعنی استکان را با آب جوش آب کشید و گرم کرد. ثانیاً — اگر بجای کاغذ یک تکه پنبه آغشته به الکل را که مدت زیادتری میسوزد و هوارا بیشتر گرم میکند، برداریم، آنوقت آب تقریباً تا وسط استکان بالا میرود، در صورتیکه میدانیم اکسیژن فقط $\frac{۱}{۵}$ حجم هوارا تشکیل میدهد. بالاخره، باید در نظر داشت که بجای اکسیژن «سوخته شده» گاز اسیدکربنیک و بخار آب تولید میشود. البته گاز اسیدکربنیک در آب حل میشود، اما بخار آب میماند و جای قسمتی از اکسیژن را میگیرد.

چطور ما می‌نوشیم؟

واقعاً در باره این مسأله هم باید فکر کرد؟ البته! ما استکان یا قاشقی را که در آن مایع است، به دهانمان می‌چسبانیم و مایع را به دهانمان «میکشیم». همین «کشیدن» سادهٔ مایع‌را که ما اینهمه به آن عادت کرده‌ایم، باید توضیح داد. واقعاً هم چرا مایع به دهان ما میرود؟ چه چیزی آن را میکشد؟ علت اینست: ما هنگام آشامیدن قفسه سینه را باز میکنیم و با این عمل هوای داخل دهان را رقیق میکنیم. مایع تحت فشار هوای خارج به جائی رانده میشود که فشار هوا کمتر است و به این ترتیب به دهان ما میریزد. در این مورد همان عملی صورت میگیرد که اگر هوای بالای یکی از ظروف مرتبطهٔ پر از مایع را رقیق کنیم، صورت خواهد گرفت، یعنی مایع درون این ظرف تحت تأثیر فشار جو بالا خواهد آمد. اما اگر دهانه بطری را به دهن بگیرید، بهیچوجه نمیتوانید آب داخل آن را به دهانتان «بکشید»، زیرا فشار هوا در دهان شما و در بالای آب مساوی است.

بدین ترتیب، اگر بخواهیم دقیق توضیح بدهیم، در عمل نوشیدن، نه فقط دهان، بلکه ریه‌ها نیز شرکت میورزند، زیرا علت آنکه مایع به دهان ما میرود، همانا باز کردن ریه‌ها است.

قیف خوب

کسانی که با قیف در بطری مایع ریخته‌اند، میدانند که باید گه بگه قیف را کمی بلند کرد، و الا مایع از قیف توی بطری نمیریزد. هوای درون بطری که راه خروج ندارد، با فشار خود مایع را در قیف نگهمیدارد. البته کمی مایع توی بطری میریزد، چونکه هوای داخل بطری تحت فشار مایع

کمی فشرده میشود. اما فشار هوای محصور در بطری که حجم آن کم شده است، برای آنکه با وزن مایع داخل قیف تعادل برقرار کند، کافی است. روشن است که وقتی قیف را بلند میکنیم، راه خروج هوای فشرده شده باز میشود و آنوقت مایع باز هم به بطری میریزد.

به این دلیل بسیار مناسب است قیف‌ها را طوری بسازند که در سطح خارجی قسمت باریک آن چند برجستگی طولی وجود داشته باشد، این برجستگی‌ها مانع میشوند که قیف دهانه بطری را کیپ بگیرد.

یک تن چوب و یک تن آهن

همه این سؤال شوخی‌آمیز را میدانند: یک تن چوب سنگین تر است یا یک تن آهن؟ معمولا بدون اینکه فکر بکنند، جواب میدهند که یک تن آهن سنگین تر است، و موجب خنده دستجمعی اطرافیان میشوند.

اگر به این آدم‌های شوخ جواب بدهند که یک تن چوب از یک تن آهن سنگین تر است، لابد آنها بلندتر خواهند خندید. ظاهراً این جواب با هیچ منطقی جور نمی‌آید، اما اگر بخواهیم جواب دقیق بدهیم، این حرف درست است!

مطلب در آنستکه قانون ارشمیدس نه فقط در مورد مایعات، بلکه در مورد گازها نیز صدق میکند. وزن هر جسمی در هوا به اندازه وزن هوای هم حجم آن کم میشود.

البته از وزن چوب و آهن نیز در هوا قدری کسته میشود. برای آنکه وزن حقیقی چوب و آهن را بدانیم باید آنچه را که از وزن هر یک کسته شده است، به آن بیافزائیم. بنا بر این، در مثال ما وزن حقیقی چوب مساوی است به یک تن + وزن هوای هم حجم چوب، و وزن حقیقی آهن مساوی است به یک تن + وزن هوای هم حجم آهن.

اما حجم یک تن چوب بمراتب (تقریباً ۱۰ بار) بیشتر از حجم یک تن آهن است. باین دلیل وزن حقیقی یک تن چوب بیشتر از وزن حقیقی یک تن آهن است! برای آنکه جواب دقیقتری داده باشیم، میبایست بگوئیم: وزن حقیقی چوبی که در هوا یک تن وزن دارد، از وزن حقیقی آهنی که در هوا یک تن وزن دارد، بیشتر است.

چون حجم یک تن آهن $\frac{۱}{۸}$ متر مکعب، و حجم یک تن چوب در حدود ۲ متر مکعب است، پس تفاوت وزن هوای هم حجم آنها باید در حدود ۲/۵ کیلوگرم باشد. باین ترتیب یک تن چوب در واقع بهمین اندازه از یک تن آهن سنگین تر است!

آدمی که هیچ وزن ندارد

آرزوی فریبنده‌ای که اغلب اشخاص از کودکی در سر میپرورانند، اینستکه نه فقط مثل پر که*

---

* کلمه روسی пушинка (پوشینکا) به معنای بسیار وسیع یعنی یک دانه از پرز میوه‌ها و گیاهها، پر سبک پرندگان، دانهٔ برف و جزء کوچکی از هر چیزی که مدت زیادی در هوا معلق میماند، بکار میرود و معادل دقیق فارسی ندارد. از این کلمه، مانند کلمه «پرکاه» در زبان فارسی، در تشبیه و استعاره برای بیان اجسام بسیار سبک استفاده میکنند (مترجم).

شکل ۷۱ – پایکرافت گفت: — داداش، من اینجا هستم!

سبک باشند، بلکه از هوا نیز سبکتر باشند*، تا از قیود ملال‌انگیز ثقل آزاد شوند و در آسمان‌ها، بر فراز زمین، به هر جا بخواهند، به پرواز درآیند. اما آنها معمولا یک چیز را فراموش میکنند، و آن اینکه آدم‌ها فقط به این دلیل که از هوا سنگین تر هستند، میتوانند آزادنه روی زمین حرکت کنند. در واقع، بقول توریچلی، «ما در کف اقیانوس هوا زندگی میکنیم»، و اگر به دلیلی ناگهان وزنمان هزار بار کم بشود، یعنی از هوا سبک تر بشویم، آنوقت ناگزیر میبایست به هوا بلند شویم و به

---

* پوشینکا، بر خلاف تصور عده‌ای، نه فقط از هوا سبک تر نیست، بلکه صدها بار از هوا سنگین تر است. علت آنکه مدت زیادی در هوا معلق میماند، اینستکه سطح آن بسیار بزرگ است و مقاومت هوا در برابر حرکت آن نسبت به وزنش خیلی زیاد است.

بالای این اقیانوس هوا برویم. در آنصورت همان چیزی به سر ما می‌آید که به سر گوسار * پوشکین آمده بود: «تمام شیشه را تا ته سر کشیدم و — میخواهی باور کن، میخواهی باور نکن — ناگهان مثل پرکاه به هوا بلند شدم». و اما ما چندین کیلومتر به هوا بلند میشویم تا به جائی برسیم که تکاثف هوای رقیق با تکاثف جسم ما مساوی باشد. آنوقت آرزوی پرواز آزاد بر فراز کوهها و دره‌ها بر باد میرود، زیرا با آزادی از قیود ثقل، اسیر نیروهای دیگر، یعنی جریانات هوا، میشویم.

ولس نویسنده این وضع غیر عادی را بعنوان سوژه برای یکی از داستان‌های علمی و تخیلی خود انتخاب کرد. مردی فوق‌العاده چاق آرزو داشت به هر قیمتی شده از شر چاقی نجات یابد. و گویا حکایت‌کننده درست همان داروی اعجازکننده‌ای را داشته که میتوانست آدم‌های چاق را از شر وزن زیادشان نجات دهد. مرد چاق با خواهش و اصرار نسخه را گرفت و دوا را تهیه کرد و خورد. وقتی حکایت‌کننده به خانه آشنایش رفت و در زد، با حوادث غیر منتظره و حیرت انگیزی رو برو شد:

«مدت زیادی در را باز نکردند. من صدای چرخیدن کلید و پس از آن صدای پایکرافت (پایکرافت نام مرد چاق بود) را شنیدم که گفت:

— بفرمائید!

من دستگیره را چرخاندم و در را باز کردم. طبیعی است که انتظار داشتم پایکرافت را ببینم. اما میدانید، او نبود! اطاق کارش نامرتب بود: بشقاب‌ها و دوری ها در میان کتاب‌ها و لوازم تحریر پخش و پلا بودند، چند صندلی افتاده بودند، اما از پایکرافت اثری نبود...

ناگهان پایکرافت گفت:

— داداش، من اینجا هستم! در را ببندید. — آنوقت من او را پیدا کردم.

در گوشهٔ بالای در درست پهلوی گیلویه بود چنانکه گوئی کسی اورا به سقف چسبانده است. قیافه‌اش عصبانی و وحشت زده بود.

من گفتم:

— پایکرافت، اگر پیشامدی بکند می‌افتید و گردنتان میشکند.

او گفت:

— اگر چنین پیشامدی میکرد، خیلی خوشحال میشدم.

من گفتم:

— برای آدمی به سن و سال و به وزن شما چنین ورزش‌هائی... — اما، بر شیطان لعنت، چطور شما آنجا بند شده‌اید؟

و ناگهان دیدم که او به هیچ چیز بند نشده، بلکه مانند بادکنکی که پر از گاز باشد، در آن بالا شناور است.

---

* «گوسار» — سرباز یا افسر سواره نظام سبک در روسیهٔ تزاری و برخی کشورهای دیگر (مترجم).

او کوشید تا از سقف جدا شود و از دیوار به طرف من پائین بخزد. قاب گراور را گرفت، اما قاب تاب نیاورد و او از تو بالا رفت و به سقف خورد. آنوقت من پی بردم که چرا اعضای برجسته و گوشه و کنار بدنش به گچ آلوده شده است. او باز هم با احتیاط زیاد کوشید تا به کمک بخاری پائین بیاید و نفس‌زنان گفت:

— تأثیر این دارو فوق‌العاده زیاد بود. من تقریباً بکلی بی وزن شده‌ام.

آنوقت بود که من همه چیز را فهمیدم و گفتم:

— پایکرافت! آخر شما به معالجه چاقی احتیاج داشتید، اما همیشه این چاقی را وزن مینامیدید... صبر کنید، من کمکتان میکنم، — و دست آن بدبخت بینوا را گرفتم و پائینش کشیدم.

او در اطاق ورجی فروجی میکرد و میکوشید جائی محکم روی پا بایستد. منظره مضحکی بود، درست مثل اینکه من بکوشم در یک روز پر باد بادبان کشتی را نگهدارم!

پایکرافت که از جست و خیز در اطاق بی‌رمق شده بود گفت:

— این میز خیلی محکم و سنگین است. اگر شما بتوانید مرا زیر میز بچپانید...

من این کار را کردم. اما او در زیر میز تحریر هم مثل بادکنکی که بسته باشند، تلو تلو میخورد و نمیتوانست یک دقیقه آرام بگیرد.

من گفتم:

— فقط یک چیز روشن و واضح است و آن اینکه شما چکار نباید بکنید. اگر مثلا به سرتان بزند که از خانه بیرون بروید، آنوقت آنقدر به هوا بلند خواهید شد که حد و اندازه ندارد...

من به او تلقین کردم که باید خودرا با این وضع جدید دمساز کند و گوشزد کردم که برایش مشکل نخواهد بود با دست در سقف اطاق راه برود.

او با لحنی شکایت‌آمیز گفت:

— نمیتوانم بخوابم.

من خاطرنشان ساختم که براحتی میتوان یک دوشک نرم به تور تختخواب نصب کرد و با چند تسمه همه چیزهای لازم را به زیر دوشک بست و پتو و ملافه‌ها را به کنار آن دکمه کرد.

یک نردبان برایش به اطاق آوردند و همه خوراکی ها را روی قفسه کتاب میگذاشتند. یک فکر بکر دیگر هم به مغزمان راه یافت که در نتیجهٔ آن پایکرافت میتوانست هر وقت دلش بخواهد از سقف به کف اطاق بیاید، و آن فکر بکر این بود که «انسیکلوپدی بریتانیا» در طبقهٔ بالائی قفسه کتاب قرار داشت. پایکرافت فوراً دو جلد از آنها را بیرون کشید و در دست گرفت و به کف اطاق پائین آمد.

من دو شبانه روز تمام در خانه او گذراندم. یک متهٔ کوچک و یک چکش برداشتم و آلات و وسائل گوناگون و جالب برایش ساختم، مثلا سیم کشیدم تا بتواند دستش را به زنگ برساند و غیره.

من کنار بخاری نشسته بودم و او در گوشهٔ عزیز خودش پهلوی گیلویه آویزان بود و قالی ترکی را به سقف میکوفت، که ناگهان فکری بنظرم رسید و داد زدم:

— ای، پایکرافت! همه این کارها اصلا زیادی است. به لباستان آستر سربی بدوزید و والسلام، شد تمام!

چیزی نمانده بود که پایکرافت از خوشحالی به گریه بیافتد. من ادامه دادم:

— مقداری سرب ورقه بخرید و زیر لباستان بدوزید. کفش تخت‌سربی بپوشید و یک چمدان سربی یکپارچه به دست بگیرید. آنوقت تمام کارها روبراه میشود و دیگر در اینجا زندانی نخواهید بود. میتوانید به خارجه بروید، میتوانید سفر کنید. هرگز از غرق شدن کشتی نخواهید ترسید، کافی است قسمتی یا همهٔ لباس‌هایتان را بکنید و دور بیاندازید و میتوانید در هوا پرواز کنید».

در نظر اول همه این مطالب با قوانین فیزیک کاملا مطابقت دارد. اما نمیتوان به برخی از جزئیات حکایت اعتراض نکرد. جدی‌ترین اعتراض اینستکه حتی پس از بی وزن شدن بدن مرد چاق، او نمیبایست به هوا بلند شود و به سقف برود!

در واقع، طبق قانون ارشمیدس، پایکرافت فقط در صورتی میبایست به طرف سقف «به پرواز در می‌آمد» که وزن لباس‌ها و تمام محتویات جیب‌هایش از وزن هوای هم حجم بدن چاقش کمتر میبود. اگر بخاطر بیاوریم که وزن بدن ما تقریباً مساوی وزن آب هم حجم بدن است، آنوقت به آسانی میتوان حساب کرد که وزن هوای هم حجم بدن آدم چقدر است. وزن آدم در حدود ۶۰ کیلوگرم و وزن آب هم حجم بدن آدم نیز در همین حدود است، اما هوای با تکاثف معمولی ۷۷۰ بار از آب سبک‌تر است. یعنی وزن هوای هم حجم بدن ما در حدود ۸۰ گرم است. مستر پایکرافت هر قدر هم که چاق بوده باشد بیش از ۱۰۰ کیلوگرم وزن نداشته است، بنابر این وزن هوای هم حجم بدنش بیش از ۱۳۰ گرم نبوده است. واقعاً مگر وزن کت و شلوار، کفش، کیف پول و سایر خرده ریزهای پایکرافت از ۱۳۰ گرم بیشتر نبوده است؟ البته که بیشتر بوده است. حال که چنین است، پایکرافت چاق میبایست روی کف اطاق بماند، البته به حالت بسیار نااستواری، ولی در هر صورت نمیبایست «مثل بادکنکی که بسته باشند» به طرف سقف پرواز کند. فقط اگر پایکرافت لخت مادرزاد میشد، آنوقت واقعاً میبایست به طرف سقف پرواز کند. اما با لباس میبایست مانند آدمی باشد که به بالون هوائی کوچکی بسته شده است. با یک فشار جزئی به عضلات و یک پرش نرم از زمین بلند میشد و به ارتفاعات زیاد می‌رفت، و در هوای بدون باد از آنجا آرام و یکنواخت به زمین برمیگشت *.

ساعت باکوک «دائمی»

ما در این کتاب چند «محرک دائمی» خیالی را مورد بررسی قرار دادیم و ثابت کردیم که کوشش برای اختراع چنین محرک هائی کاری است بیهوده و عبث. حالا در باره محرک «رایگان» یعنی محرکی که میتواند بدون هیچگونه توجهی از طرف ما مدت بینهایت زیادی کار کند، زیرا انرژی لازم را از منبع پایان‌ناپذیر محیط اطراف خود میگیرد، کمی بحث میکنیم. البته همه هواسنج جیوه‌ای یا فلزی را دیده‌اند. در هواسنج جیوه‌ای سطح ستون جیوه بسته به تغییرات فشار جو، گاه بالا میرود و گاه پائین می‌آید، در هواسنج فلزی، به همان دلیل تغییرات فشار جو، عقربهٔ هواسنج دائماً نوسان میکند. در قرن ۱۸ میلادی یک مخترع از این حرکات هواسنج برای کوک کردن ساعت استفاده

---

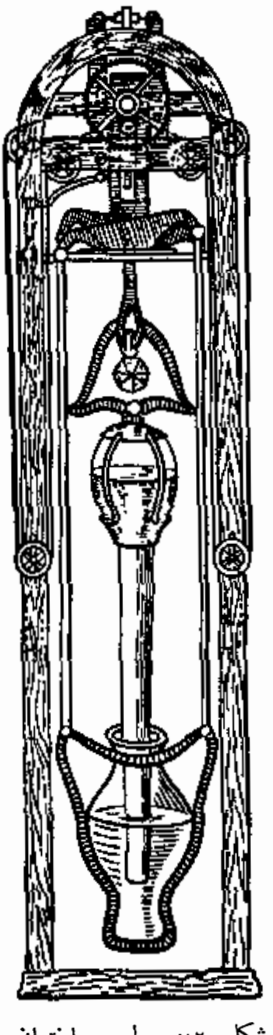
* شرح مفصل بالون‌های هوائی را میتوانید در فصل ٤ «مکانیک برای سرگرمی» تألیف این‌جانب مطالعه کنید.

کرد و بدین ترتیب ساعتی اختراع کرد که خود بخود کوک میشد و بدون وقفه کار میکرد و هیچ احتیاجی نبود که آن را کوک کنند. فرگوسون مکانیسین و منجم مشهور انگلیسی که این اختراع جالب توجه را دیده بود، در سال ۱۷۷٤ در باره آن چنین اظهار نظر کرده است:

«من ساعتی را که در بالا توصیف شد، بازدید کردم، این ساعت بوسیله بالا و پائین آمدن جیوه در هواسنجی که به شکل ویژه‌ای ساخته شده است، دائماً کار میکند. هیچ دلیلی وجود ندارد که فکر کنیم این ساعت ممکن است زمانی از کار بیافتد، زیرا نیروی محرکه‌ای که در آن ذخیره میشود کافی است که حتی اگر هواسنج را اصلا برداریم، ساعت یک سال تمام کار کند. باید با صراحت تمام بگویم که بررسی دقیق و همه جانبه ساعت نشان میدهد که این ساعت، هم از لحاظ ایده و هم از لحاظ ساختمان، جالب ترین مکانیسمی است که من در عمر خود دیده‌ام».

متأسفانه این ساعت تا دوران ما باقی نمانده‌است، ساعت را دزدیدند و حالا جای آن معلوم نیست. اما نقشهٔ ساختمان آن که بوسیلهٔ منجم نامبرده کشیده شده، باقی مانده است، بنا بر این امکان دو باره ساختن آن وجود دارد.

یکی از اجزاء متشکلهٔ مکانیسم این ساعت هواسنج جیوه‌ای بزرگی میباشد. در یک ظرف شیشه‌ای که در قاب آویزان است، و قرع بزرگی که واژگون شده و دهانهٔ آن توی ظرف قرار دارد، در حدود ۱۵۰ کیلوگرم جیوه ریخته شده است. هر دو ظرف طوری نصب شده‌اند که نسبت به یکدیگر متحرک هستند (شکل ۷۲). چند اهرم که با مهارت تمام ساخته و کار گذاشته شده‌اند، طوری عمل میکنند که وقتی فشار جو زیاد شود قرع پائین می‌آید و ظرف شیشه‌ای بالا میرود، و وقتی فشار جو کم شود، بر عکس. هر دوی این حرکات سبب میشوند که چرخ دندانه‌دار کوچکی همیشه به یک طرف بچرخد. چرخ فقط زمانی حرکت نمیکند که فشار جو کاملا ثابت و بدون تغییر باشد، اما در لحظات بیحرکت بودن چرخ نیز مکانیسم ساعت با نیروی پائین آمدن وزنه‌هائی که قبلا بالا رفته و نیرو در آنها ذخیره شده است، کار میکند. ساختن دستگاه طوری که وزنه‌ها بالا بروند و در عین حال ضمن فرود آمدن مکانیسم ساعت را به حرکت در آورند، کار ساده‌ای نیست. اما ساعت‌سازهای دوران قدیم بحد کافی استعداد و قابلیت اختراع داشتند که از عهده این کار برآیند. حتی معلوم شد که نیروی نوسان فشار جو بیش از حد لازم بوده است، یعنی سرعت بالا رفتن وزنه‌ها بیش از سرعت پائین آمدن آنها بوده است. به این دلیل دستگاهی لازم بوده است که هر وقت وزنه‌ها به بالاترین نقطه میرسیده‌اند، ارتباط آنها را قطع کند.



شکل ۷۲ — طرح ساختمان محرک رایگان از قرن ۱۸ میلادی.

تفاوت مهم و اصلی این محرک «رایگان» و محرک‌های نظیر آن با محرک‌های «دائمی» کاملا روشن و آشکار است. در محرک‌های رایگان، بر خلاف آنچه مخترعین محرک‌های دائمی آرزو داشتند، انرژی از هیچ بوجود نمی‌آید، بلکه از خارج، در مثال ما از هوای اطراف، گرفته میشود، و در هوای اطراف از پرتو خورشید گرد می‌آید. اگر ساختمان محرک‌های رایگان نسبت به انرژی‌ای که میدهند زیاد گران تمام نمیشد، این محرک‌ها به اندازه محرک‌های «دائمی» با صرفه بودند، اما در اکثر موارد بسیار گران تمام میشود.

ما در صفحات آینده با انواع دیگر محرک‌های رایگان آشنا میشویم و نشان میدهیم که چرا معمولا استفاده صنعتی از اینگونه مکانیسم‌ها ابداً با صرفه نیست.

فصل ششم

پدیده‌های حرارتی

چه وقت راه آهن اکتیابرسکایا * درازتر است، تابستان یا زمستان؟

یک نفر به سؤال: «طول راه آهن اکتیابرسکایا چقدر است؟»، جواب داد:
— بطور متوسط ششصد و چهل کیلومتر، تابستان در حدود سیصد متر درازتر است.

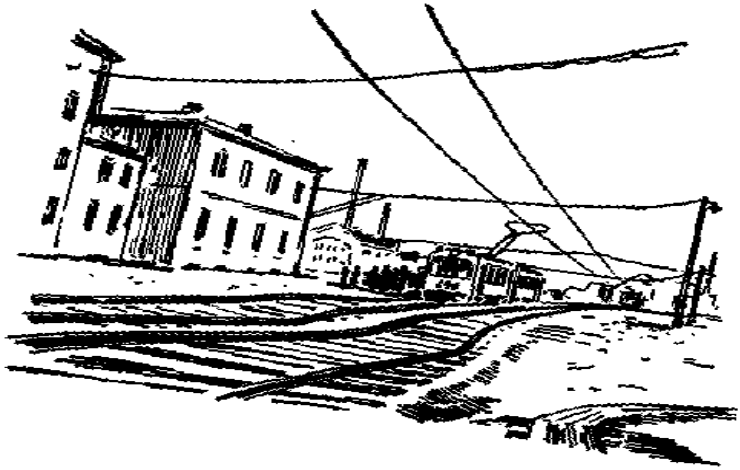
این جواب غیر منتظره آنقدرها هم که ممکن است ظاهراً بنظر بیاید، بیمعنی نیست. اگر ما طول ریل‌های یکپارچه را درازی راه آهن بنامیم، آنوقت واقعاً هم راه آهن تابستان از زمستان درازتر است. نباید فراموش کرد که طول ریل‌ها در نتیجهٔ گرم شدن افزایش می‌یابد. و این افزایش طول در هر درجه سانتیگراد معادل یک صد هزارم طول ریل است. در روزهای گرم تابستان حرارت ریل‌ها ممکن است به ۳۰ — ۴۰ درجه و بیشتر برسد. گاهی ریل‌ها در پرتو خورشید چنان داغ میشوند که دست را میسوزانند. در روزهای سرد زمستان ریل‌ها تا ۲۰ — درجه، و پائین تر، سرد میشوند. اگر فرض کنیم که تفاوت درجه حرارت تابستان و زمستان ۵۰ درجه است و طول کلی راه ۶۴۰ کیلومتر را در ۰/۰۰۰۰۱ و در ۵۰ ضرب کنیم در حدود $\frac{1}{3}$ کیلومتر میشود. معلوم میشود واقعاً هم طول ریل‌های راه آهن بین مسکو و لنینگراد تابستان در حدود یک سوم کیلومتر، یعنی تقریباً ۳۰۰ متر، درازتر از زمستان است.

البته، در اینجا طول راه تغییر نمیکند، بلکه مجموع طول همهٔ ریل‌ها تغییر میکند. و این دو چیز مختلف است، زیرا قطعات ریل‌های راه آهن به یکدیگر نچسبیده‌اند، در محل اتصال قطعات فاصله کوچکی میگذارند تا هنگام گرم شدن ریل‌ها طول آنها بلا مانع زیاد شود. ** از روی حساب ما معلوم

---

* اکتیابرسکایا — نام راه آهن مسکو — لنینگراد است (مترجم).

** این فاصله خالی برای ریل‌های ۸ متری در صفر درجهٔ حرارت باید ۶ میلیمتر باشد. برای اینکه این فاصله خالی کاملا پر شود باید حرارت ریل به ۶۵ درجه بالای صفر برسد. در ریل گذاری راههای تراموای به علل فنی نمیتوان این فاصله خالی را گذاشت. معمولا این امر موجب کج شدن ریل‌ها نمیشود، زیرا بعلت قرار داشتن ریل‌ها در زمین نوسان درجه حرارت آنها چندان زیاد نیست، بعلاوه خود طرز کار گذاشتن و محکم کردن ریل‌ها طوری است که از کج شدن پهلوئی آنها جلوگیری



شکل ۷۳ — کج شدن ریل‌های تراموای در نتیجه گرم شدن زیاد.

میشود که مجموع طول همهٔ ریل ها بحساب مجموع طول این فاصله‌های خالی افزایش می‌یابد. افزایش طول کلی در روزهای گرم تابستان نسبت به طول روزهای سرد زمستان به ۳۰۰ متر میرسد. بدین ترتیب قسمت آهنی راه اکتیابرسکایا واقعاً تابستان ۳۰۰ متر درازتر از زمستان است.

دزدی بدون کیفر

در خط لنینگراد — مسکو هر سال زمستان صدها متر سیم گرانبهای تلفن و تلگراف بکلی نابود میشود و اثری از آن باقی نمیماند، و با اینکه مسئول نابودی سیم‌ها کاملا معلوم است، هیچ کس ناراحت نمیشود. البته شما هم این سارق را میشناسید — این سارق سرما است. آنچه در باره ریل‌ها گفتیم، در مورد سیم‌ها هم کاملا صدق میکند، فقط با این تفاوت که سیم مسی تلفن در نتیجه حرارت ۱/۰ بار بیشتر از فولاد دراز میشود. اما در اینجا دیگر هیچ فاصله خالی وجود ندارد و ما بدون هر گونه قید و شرطی میتوانیم بگوئیم که خط تلفن لنینگراد — مسکو زمستان در حدود ۵۰۰ متر از تابستان کوتاه تر است. هر سال زمستان سرما در حدود نیم کیلومتر سیم میرباید و هیچ کیفری نمی‌بیند، اما به تلفن و تلگراف هم هیچ خللی نمیرساند و وقتی هوا گرم شد، آنچه را ربوده بود عیناً برمیگرداند.

اما وقتی این انقباض در نتیجه سرما نه برای سیم‌ها، بلکه برای پل‌ها روی میدهد، آنوقت اغلب

میکند. اما با همهٔ اینها، در هوای فوق‌العاده گرم ریل‌های تراموای هم کج میشوند. در شکل ۷۳ که از روی یک عکس چاپ شده است، این کج شدن بخوبی دیده میشود.

گاهی در ریل‌های راه‌آهن نیز چنین پیشامدهائی میکند. زیرا در سرازیری‌ها قسمت‌های متحرک قطار ریل‌ها را (گاهی حتی با تراورس‌ها) به دنبال خود میکشند، در نتیجه در این قسمت‌های راه اغلب فاصله‌های خالی از میان میرود و سر قطعات ریل به هم میچسبند.

عواقب بسیار محسوسی در پی دارد. ببینید روزنامه‌ها در دسامبر سال ۱۹۲۷ در مورد چنین پیشامدی چه اطلاع داده بودند:

«سرمائی که برای فرانسه غیر عادی است و چند روز دوام داشت، به پل روی رودخانه سن در مرکز پاریس آسیب جدی رسانده است. اسکلت آهنی پل در اثر سرما منقبض شد و در نتیجه سنگ‌فرش روی قسمت سواره‌رو پل متورم و سپس خرد شد. عبور و مرور وسائل نقلیه از روی پل موقتاً ممنوع است».

ارتفاع برج ایفل

اگر حالا از شما سؤال کنند ارتفاع برج ایفل چقدر است، لابد قبل از آنکه جواب بدهید: «۳۰۰ متر»، خواهید پرسید:

— در چه هوائی، در هوای سرد یا گرم؟

زیرا ارتفاع چنین ساختمان آهنی عظیمی نمیتواند در هر حرارتی یکسان بماند. میدانیم که میلهٔ آهنی به طول ۳۰۰ متر وقتی یک درجه گرم شود، طولش ۳ میلیمتر افزایش میابد. وقتی حرارت یک درجه بالا برود، ارتفاع برج ایفل هم باید در حدود ۳ میلیمتر افزایش بیابد. مصالح آهنی برج ایفل در روزهای گرم و آفتابی در پاریس ممکن است تا ۴۰+ درجه گرم شود، در صورتیکه در روزهای سرد و بارانی حرارت آن تا ۱۰+ درجه و زمستان تا صفر و حتی ۱۰ — درجه پائین می‌آید (سرمای شدیدتر از این برای پاریس امری است نادر). بطوریکه می‌بینیم نوسان حرارت به ۴۰ درجه و بیش از آن میرسد. پس ارتفاع برج ایفل ممکن است ۳×۴۰=۱۲۰ میلیمتر یعنی ۱۲ سانتیمتر (بیش از طول این سطر) کم و زیاد شود.

اندازه‌گیری‌های مستقیم نشان داده است که برج ایفل در مقابل نوسانات حرارت از هوا هم حساس‌تر است. برج ایفل زودتر گرم و زودتر سرد میشود و وقتی در روزهای ابری ناگهان خورشید از پشت ابر بیرون می‌آید، زودتر عکس‌العمل نشان میدهد. تغییرات ارتفاع برج ایفل را بوسیله سیمی از فولاد نیکل‌دار اندازه گرفتند و معلوم کردند. خاصیت فولاد نیکل دار اینستکه طول آن در نتیجه نوسانات حرارت تقریباً تغییر نمیکند. این همبسته که دارای خواص بسیار خوبی است «invar» نام دارد (از کلمه لاتینی «invariable» یعنی «تغییرناپذیر»).

بدین ترتیب، در روزهای گرم نوک برج ایفل به اندازه طول این سطر بالا میرود، اما این طول از فلزی است که یک دینار هم قیمت ندارد.

از استکان چای تا لولهٔ ترازنما

یک کدبانوی باتجربه قبل از آنکه در استکان‌ها چای بریزد، برای آنکه استکان‌ها نشکنند در آنها قاشق میگذارد، و اگر قاشق نقره باشد چه بهتر. تجربه زندگی راه کاملا صحیحی را نشان داده است. این راه بر چه اساسی متکی است؟

اول توضیح میدهیم که اصولا چرا استکان از آب داغ میترکد.

علت ترکیدن استکان انبساط غیر یکسان شیشه است. آب داغی که در استکان میریزیم، دیواره‌های استکان را یکباره گرم نمیکند. ابتدا قشر درونی دیواره گرم میشود، در صورتیکه قشر خارجی هنوز گرم نشده است. قشر گرم درونی فوراً انبساط می‌یابد، اما قشر خارجی در این لحظه بی‌تغییر مانده است و در نتیجه فشار شدیدی از داخل به آن وارد می‌آید. شیشه شکست برمیدارد و استکان میترکد.

فکر نکنید که اگر استکان‌های کلفت داشته باشید، از اینگونه پیشامدها [illegible] هستید. استکان‌های کلفت از این نقطهٔ نظر کم استحکام‌ترین استکان‌ها هستند و خیلی زودتر از [illegible] نازک میترکند. علت این امر معلوم است: دیواره نازک زودتر گرم میشود و حرارت و انبساط یکسان در همه جای آن زودتر بوجود می‌آید، بر عکس در استکان کلفت قشر ضخیم شیشه بکندی گرم میشود.

در انتخاب ظرف شیشه‌ای نازک یک چیز را نباید از یاد ببرید، آن اینکه باید نه فقط دیواره‌ها، بلکه ته استکان نیز نازک باشد. وقتی آب داغ در استکان میریزید، قبل از همه ته آن داغ میشود. اگر ته استکان کلفت باشد، دیواره‌های آن هر قدر هم نازک باشند، استکان میترکد. استکان‌ها و فنجان‌های چینی که در قسمت پائین آنها برجستگی کلفت حلقه‌مانندی وجود دارد، نیز زود میترکند.

هر چه ظرف شیشه‌ای نازک‌تر باشد بهمان اندازه با اطمینان بیشتر میتوان آن‌را گرم کرد. شیمیست‌ها ظروف شیشه‌ای بسیار نازک بکار میبرند و مستقیماً روی شعله آتش آب جوش می‌آورند و هیچ بیمی ندارند که ممکن است ظرف بترکد.

البته ظرف ایدآل ظرفی است که وقتی گرم میشود اصلا انبساط نیابد. کوارتز (در کوهی) فوق‌العاده کم — ۱۰ — ۲۰ بار کمتر از شیشه — انبساط می‌یابد. ظرف کلفت از کوارتز شفاف را میتوان همه جور گرم کرد و ظرف نمیترکد. میتوان ظرف کوارتزی را که از شدت حرارت سرخ شده است، با جرئت در آب یخ انداخت و یقین داشت که نخواهد ترکید.* یکی از علل این امر اینستکه قابلیت هدایت حرارت کوارتز بمراتب بیش از شیشه است.

استکان نه فقط وقتی که بسرعت گرم، بلکه وقتی هم که بسرعت سرد بشود، میشکند. علت این امر انقباض غیر یکسان است، قشر خارجی که سرد شده است منقبض میشود و بر قشر داخلی که هنوز سرد و منقبض نشده است، بشدت فشار می‌آورد. به این دلیل نباید مثلا شیشه پر از مربای داغ را در هوای بسیار سرد گذاشت، یا در آب سرد فرو کرد و غیره.

حالا به مسأله قاشق چایخوری در استکان برمیگردیم. چه عاملی سبب میشود که قاشق از ترکیدن استکان جلوگیری میکند؟

فقط وقتی که در استکان یکباره آب خیلی داغ میریزند، اختلاف گرم شدن داخلی و خارجی دیواره استکان شدید است. آب گرم سبب اختلاف شدید گرم شدن و در نتیجه سبب اختلاف شدید در انبساط قسمت‌های مختلف شیشه نمیشود. ظرف از آب گرم نمیترکد. حالا وقتی قاشق توی استکان است چه عملی روی میدهد؟ مایع داغ وقتی به ته استکان ریخت، قبل از آنکه شیشه را (که قابلیت هدایت حرارتش کم است) گرم کند، مقداری از حرارت خود را به فلز (که قابلیت هدایت حرارتش

---

*ظرف کوارتز برای کارهای آزمایشگاهی به این دلیل نیز مناسب است که فوق‌العاده دیرگداز میباشد. کوارتز فقط در ۱۷۰۰ درجه نرم میشود.

زیاد است) میدهد. حرارت مایع پائین می‌آید و از مایع داغ به مایع گرم تبدیل میشود و در نتیجه تقریباً هیچ صدمه‌ای نمیرساند. آب داغی که بعداً در استکان میریزیم، دیگر خطر چندانی ندارد، زیرا استکان در این مدت کمی گرم شده است.

خلاصه، قاشق فلزی در استکان (بخصوص اگر قاشق سنگین باشد) از گرم شدن غیریکسان، و در نتیجه از ترکیدن آن جلوگیری میکند.

اما چرا اگر قاشق نقره باشد بهتر است؟ زیرا قابلیت هدایت حرارت نقره زیاد است، قاشق نقره زودتر از قاشق مسی حرارت آب را جذب میکند. بیاد بیاورید که قاشق نقره در استکان چای داغ چطور دست را میسوزاند. از روی این علامت حتی میتوانید بدون اشتباه جنس قاشق‌را تعیین کنید، قاشق مسی دست را نمیسوزاند.

انبساط غیریکسان دیواره‌های شیشه‌ای نه فقط استکان‌های چایخوری، بلکه قسمت های مهم دیگ بخار، یعنی لوله‌های ترازنما را که سطح آب را در دیگ نشان میدهند، به خطر ترکیدن تهدید میکند. قشرهای داخلی این لوله‌ها از بخار و آب داغ گرم میشوند در نتیجه بیش از قشرهای خارجی انبساط می‌یابند. فشار شدید بخار و آب در لوله بر این قوه انبساط افزوده میشود و در نتیجه ممکن است لوله به آسانی بترکد. برای جلوگیری از ترکش لوله، گاهی لوله‌های ترازنما را از دو قشر شیشه نوع مختلف میسازند: قابلیت انبساط قشر داخلی از قابلیت انبساط قشر خارجی کمتر است.

افسانهٔ چمکه در حمام

«چرا زمستان روز کوتاه است و شب بلند، و تابستان برعکس؟ برای اینکه زمستان روز مانند همه چیزهای دیگر، چه مرئی و چه نامرئی، از سرما منقبض میشود و شب از سوختن شمع ها و چراغ ها گرم و در نتیجه منبسط میشود».

ما به استدلال و قضاوت عجیب و خلاف منطق «استوار باز نشسته قشون دن» از حکایت چخوف بی‌اختیار لبخند میزنیم. اما کسانی که به اینگونه استدلالات و قضاوت‌های «علمی» میخندند، اغلب خودشان تئوری‌هائی میبافند که بهمین اندازه عجیب و غیر منطقی است. کیست که افسانهٔ چکمه در حمام را نشنیده و حتی نخوانده باشد؟ در این افسانه چکمه به پای گرم نمیرود، گویا به این دلیل که «حجم پا در اثر گرم شدن زیاد شده است.» این مثال مشهور چیزی نمانده بود که به یک مثال کلاسیک تبدیل شود، در صورتیکه توضیح مطلب بکلی نادرست است.

قبل از همه حرارت بدن آدم در حمام تقریباً زیاد نمیشود، افزایش حرارت بدن در حمام به بیش از یک و حد اکثر دو درجه نمیرسد. ارگانیسم آدم با تأثیرات حرارتی محیط اطراف با موفقیت مبارزه میکند و حرارت خود را در نقطه معینی نگهمیدارد.

اما وقتی بدن ما یکی دو درجه گرم بشود، افزایش حجم بدن بقدری ناچیز است که نمیتوان آن را در پوشیدن چکمه احساس کرد. ضریب انبساط قسمت‌های سفت و نرم بدن آدم بیش از چند ده هزارم نیست. بنا بر این پهنای پاشنه و کلفتی ساق پا ممکن بود فقط در حدود یک صدم سانتیمتر افزایش بیابد. آیا واقعاً چکمه ها را با دقت تا ۰/۰۱ سانتیمتر — کلفتی مو — میدوزند؟

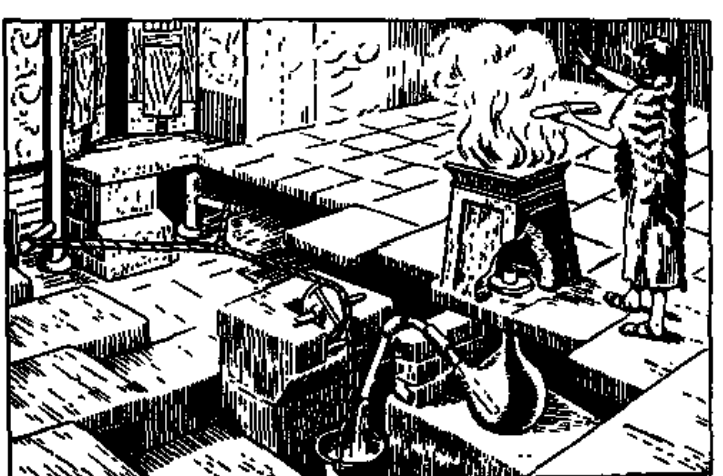
اما در این واقعیت شکی نیست که پس از حمام پوشیدن چکمه مشکل است. ولی علت این امر نه انبساط در نتیجه حرارت، بلکه جریان خون به پا و تورم پوست و تر بودن آن و پدیده‌های دیگری از اینقبیل است که با انبساط در نتیجه حرارت هیچ وجه مشترکی ندارند.

چگونه معجزه‌ها صورت میگرفتند

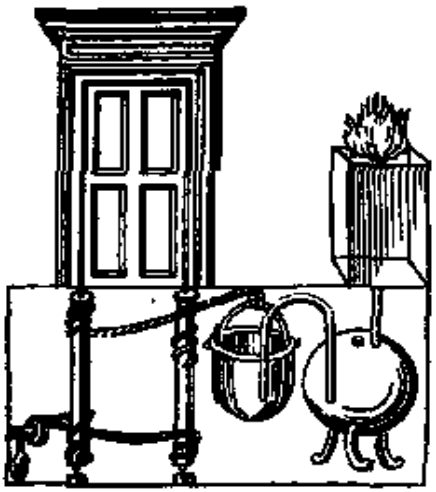
هرون اسکندرونی از علمای مکانیک یونان باستان و مخترع فواره‌ای که بنام اوست، شرح دو طریق زیرکانه را که کاهنان مصر بوسیله آن مردم را فریب میداده و اعتقاد به معجزه را در آنها تلقین میکرده‌اند، برای ما باقی گذاشته است.

در شکل ۷٤ یک مذبح فلزی توخالی و زیر آن دستگاهی که در زیرزمین پنهان بوده و درهای دیر را به حرکت در می‌آورده است، می‌بینید. مذبح در خارج دیر ساخته شده بود. وقتی آتش روشن میکردند هوای داخل مذبح در نتیجه حرارت منبسط میشد و به آب ظرفی که زیر مذبح پنهان بود، بیشتر فشار می‌آورد. آب از ظرف به لوله‌ای میرفت و از لوله به سطلی میریخت. سطل پائین می‌آمد و دستگاهی را که در را میچرخاند، به حرکت در می‌آورد (شکل ۷۵). بینندگان که حتی تصور نمیکردند در زیرزمین دستگاهی پنهان باشد، در برابر خود «معجزه» میدیدند و انگشت بدهان حیران میماندند. همینکه آتش در مذبح شعله‌ور میشد درهای دیر «ببرکت دعای کاهن» خود بخود باز میشدند...

معجزه واهی دیگری که کاهنان میکردند، در شکل ۷٦ نشان داده شده است. وقتی آتش در مذبح شعله‌ور میشد، هوای درون مذبح در نتیجه انبساط به روغن مخزن پائینی فشار می‌آورد،



شکل ۷٤ — اشیای «معجزه» کاهنان مصری: درهای دیر در نتیجه عمل آتش مذبح **باز** میشدند.



شکل ۷۵ — شمای ساختمان درهای دیر که وقتی آتش در مذبح شعله‌ور میشد خود بخود باز میشدند (با شکل ۷۴ مقایسه کنید).

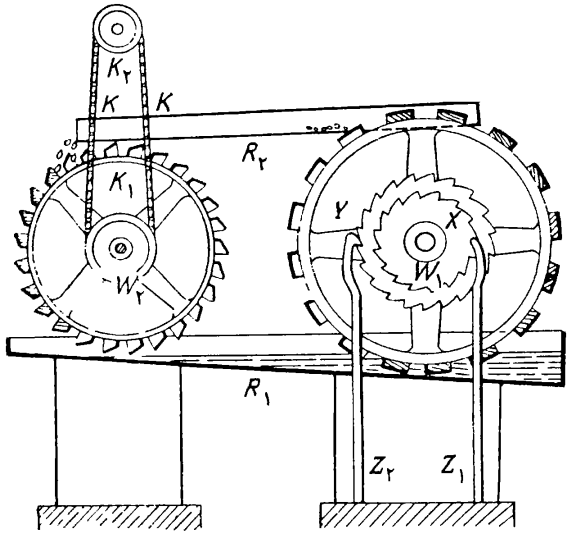
شکل ۷۶ — یک معجزه واهی دیگر دوران باستان: روغن خود بخود در آتش مذبح میریخت.

روغن از مخزن به لوله‌هائی که در مجسمه کاهنان پنهان بود میرفت و روغن به وضع معجزه‌آسائی خود بخود در آتش میریخت... اما همینکه کاهن مأمور مذبح، طوری که کسی نمیدید، درپوش سر مخزن را برمیداشت، ریزش روغن قطع میشد (زیرا هوای اضافی به آزادی از سوراخ بیرون میرفت). کاهنان زمانی به این حیله دست میزدند که پیشکش‌های عبادت کنندگان بیش از حد ناچیز بود.

ساعت بی‌کوک

ما قبلا (در صفحه ۹۴) شرح یک ساعت بی‌کوک (یا صحیح‌تر ساعتی که به کوک کردن احتیاج ندارد) را بیان کردیم. اساس ساختمان آن ساعت بر تغییرات فشار جو گذارده شده است. حالا شرح یک ساعت خودکوک دیگری‌را بیان میکنیم که بر اساس انبساط در نتیجه حرارت ساخته شده است.

مکانیسم این ساعت در شکل ۷۷ نشان داده شده است. مهمترین قسمت این ساعت دو میله Z_1 و Z_2 میباشد که از همبسته فلزی مخصوصی با ضریب انبساط زیاد ساخته شده است. میله Z_1 طوری به دندانه‌های چرخ X اتکا دارد که وقتی میله در نتیجهٔ حرارت بلند بشود، چرخ کمی میچرخد. میله Z_2 طوری به دندانه‌های چرخ Y بند شده است که وقتی میله در نتیجه برودت کوتاه شود، چرخ را در همان جهت میچرخاند. هر دو چرخ روی محور W_1 نصب شده اند و وقتی محور میچرخد چرخ بزرگ را که به دور آن چندین ملاقه نصب شده است، میچرخاند. ملاقه‌ها از جیوه‌ای که در ناو پائین است پر میشوند و جیوه را به ناو بالائی میبرند، جیوه از آنجا به طرف چرخ سمت چپ



شکل ۷۷ — ساعتی که خود بخود کوک میشود.

جاری میشود. این چرخ نیز دارای چندین ملاقه است که وقتی از جیوه پر شدند چرخ را میچرخانند. این چرخ با چرخ K_1 روی یک محور W_2 نصب شده است و وقتی چرخ K_1 میچرخد زنجیر KK و بوسیله زنجیر چرخ K_2 را به حرکت در می‌آورد. چرخ K_2 فنر ساعت را می‌پیچاند و ساعت را کوک میکند.

جیوه‌ای که از ملاقه‌های چرخ سمت چپ میریزد، در ناو مورب R_1 جاری میشود و به زیر چرخ سمت راست میرود تا از نو همان راه سابق را بپیماید.

بطوریکه مشاهده میشود، دستگاه باید حرکت کند و تا زمانیکه میله‌های Z_1 و Z_2 بلند و کوتاه میشوند، از حرکت باز نایستد. بنا بر این برای کوک کردن ساعت لازم است که حرارت هوا گاه بالا برود و گاه پائین بیاید. اما این عمل بدون دخالت ما خود بخود صورت میگیرد. هر گونه تغییری در حرارت هوای اطراف موجب بلند شدن و کوتاه شدن میله‌ها میشود، و در نتیجه ساعت آهسته، اما مدام کوک میشود.

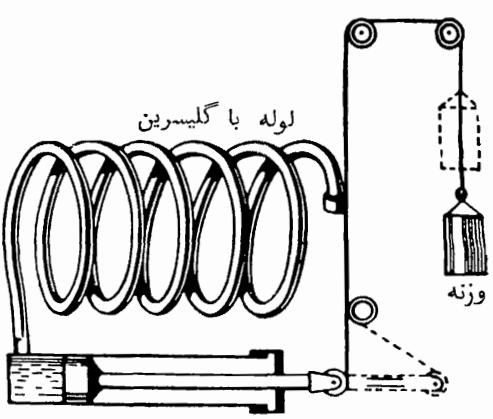
آیا میشود این ساعت را محرک «دائمی» نامید؟ البته که نمیشود. ساعت تا زمانی که مکانیسم آن فرسوده نشده است کار خواهد کرد، اما منبع انرژی آن حرارت هوای اطراف است. این ساعت کار انبساط در نتیجه حرارت را ذره ذره جمع میکند تا آن را بطور مداوم برای حرکت عقربه‌های ساعت مصرف کند. این یک محرک «رایگان» است، زیرا برای آنکه کار کند احتیاجی به مواظبت و مخارج ندارد. اما از هیچ انرژی بوجود نمی‌آورد: منبع **اولیهٔ** انرژی آن حرارت خورشید است که زمین را گرم میکند.

نمونهٔ دیگر ساعت خودکوکی که ساختمان آن شبیه ساعت فوق‌الذکر است، در شکل ۷۸ و ۷۹ نشان داده شده است. مهمترین قسمت این ساعت گلیسرین است که با ازدیاد حرارت هوا منبسط میشود و ضمن انبساط وزنه‌ای را بالا میبرد. در نتیجه پائین آمدن این وزنه مکانیسم ساعت کار میکند. از آنجا که گلیسرین فقط در ۳۰ — درجه سانتیگراد منجمد میشود و در ۲۹۰+ درجه سانتیگراد میجوشد، این مکانیسم برای ساعت‌های میدان‌ها و سایر جاهای روباز مناسب است. ۲ درجه نوسان حرارت برای کار مداوم این ساعت کافی است. یک نمونه از این نوع ساعت مدت یک سال مورد آزمایش قرار گرفت و با اینکه رد تمام سال هیچکس به آن دست نزد، کاملا خوب کار کرد.

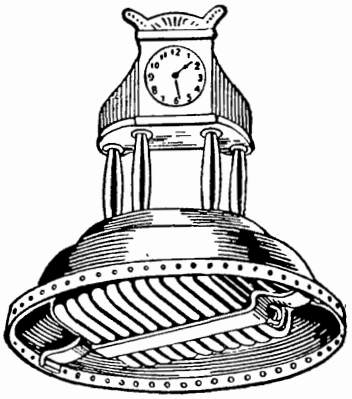
آیا ساختن محرک‌های بزرگتر بر اساس این اصل با صرفه است؟ در نظر اول تصور میرود که اینگونه محرک‌های رایگان باید خیلی باصرفه باشند. اما محاسبه ما را به نتیجهٔ دیگری میرساند. برای کوک کردن یک ساعت معمولی در یک شبانه‌روز تمام فقط در حدود $\frac{۱}{۷}$ کیلوگرم متر انرژی لازم است و این میشود در حدود $\frac{۱}{۶۰۰۰۰۰}$ کیلوگرم متر در ثانیه. چون یک نیروی اسب مساوی ۷۵ کیلوگرم متر در ثانیه است، پس نیروی مکانیسم ساعت فقط $\frac{۱}{۴۵۰۰۰۰۰۰}$ نیروی اسب است. بنا بر این اگر ارزش مپله‌های منبسط شوندهٔ ساعت اول یا آنت ساعت دوم را حتی یک کپک فرض کنیم، مخارج کلی برای یک نیروی اسب این نوع محرک‌ها میشود:

روبل ۴۵۰۰۰۰۰۰۰ = ۱×۴۵۰۰۰۰۰۰۰ کپک

تقریباً نیم ملیون روبل برای یک نیروی اسب! مثل اینکه این محرک «رایگان» یک خرده گران است...



شکل ۷۸ — طرح ساختمان یک ساعت خود کوک نوع دیگر.



شکل ۷۹ — ساعت خودکوک. در پایه ساعت یک لوله پر از گلیسرین کار گذاشته شده است.

سیگار آموزنده

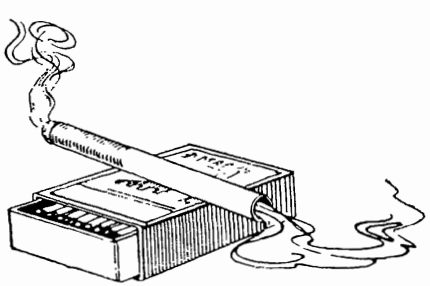
یک سیگار مشتوک دار روی قوطی کبریت است (شکل ۸۰) و از هر دو طرف دود میکند. اما دودی که از مشتوک خارج میشود، پائین می‌آید و دود طرف دیگر بالا میرود. چرا؟ ظاهراً دودی که از هر دو طرف خارج میشود، یک دود است.

بله، دود یک دود است، اما روی آن سر سیگار که میسوزد، جریان بالارونده هوای داغ هست که ذرات دود را با خود بالا میبرد. ولی هوائی که با دود از مشتوک میگذرد، سرد میشود و دیگر بالا نمیرود. و از آنجا که ذرات دود از هوا سنگین‌تر هستند، پائین می‌آیند.

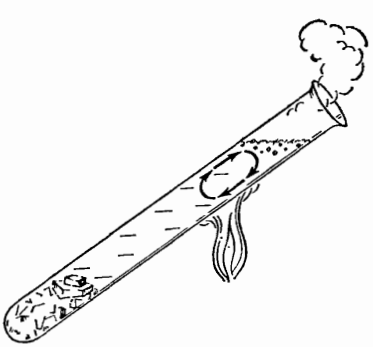
یخی که در آب جوش آب نمیشود

یک لولهٔ آزمایشی بردارید و پر آب کنید، یک تکه یخ توی آب بیاندازید و برای آنکه یخ زیر آب بماند (یخ از آب سبک‌تر است) یک وزنه سربی یا مسی یا از جسم سنگین دیگری روی یخ بگذارید، اما طوری که آب با یخ تماس آزاد داشته باشد. حالا لولهٔ آزمایشی را روی چراغ الکل بگیرید، بطوریکه شعله قسمت بالائی لوله را گرم کند (شکل ۸۱). بزودی آب جوش می‌آید و بخار از آن بلند میشود. اما، چیز عجیبی است، یخ ته لوله آب نمیشود! گوئی معجزهٔ کوچکی در برابر دیدگان ما صورت میگیرد: یخی می‌بینیم که در آب جوش آب نمیشود...

کلید حل این معما در آنستکه آب ته لوله بهیچوجه نمیجوشد، بلکه سرد میماند. فقط آبی که در بالا است میجوشد. یخی که ما می‌بینیم، «یخ در آب جوش» نیست، بلکه «یخ زیر آب جوش» است. آبی که در نتیجه حرارت انبساط می‌یابد، سبک‌تر میشود و به ته لوله نمیرود، بلکه در همان بالا میماند. جریان آب گرم و تغییر مکان قشرهای آب فقط در قسمت بالائی لوله صورت میگیرد و به قشرهای پائینی آب که سنگین‌تر است، سرایت نمیکند. قشرهای پائینی آب فقط از طریق هدایت حرارت ممکن است گرم بشود، اما قابلیت هدایت حرارت آب فوق‌العاده کم است.



شکل ۸۰ — چرا دود سیگار مشتوک دار در یک طرف بالا می‌رود و در طرف دیگر پائین می‌آید؟



شکل ۸۱ — آب در قسمت بالائی لوله میجوشد، اما با وجود این یخ در پائین لوله آب نمیشود.

روی یخ یا زیر یخ؟

وقتی میخواهیم آب گرم کنیم، ظرف آب را روی آتش میگذاریم، نه کنار آتش. و کاملا کار صحیحی میکنیم، زیرا هوائی که در اثر شعله گرم شده است سبک تر میشود و از همه طرف بالا میرود و ظرف را احاطه میکند.

بنا بر این وقتی جسمی را که میخواهیم گرم کنیم روی آتش میگذاریم، از منبع حرارت حد اکثر استفاده را میکنیم.

اما اگر بخواهیم جسمی را بوسیله یخ سرد کنیم، چکار باید بکنیم؟ بسیاری از اشخاص از روی عادت، جسم‌را روی یخ میگذارند، مثلا ظرف شیررا روی یخ میگذارند. این کار درست نیست، زیرا وقتی هوای روی یخ سرد شد، پائین می‌آید و هوای گرم اطراف جای آن را میگیرد. از اینجا میتوان یک نتیجهٔ عملی گرفت: اگر میخواهید خوراکی یا آشامیدنی را سرد کنید، آن را زیر یخ بگذارید، نه روی یخ.

کمی بیشتر توضیح میدهیم. اگر ظرف آبی را روی یخ بگذاریم، فقط پائین‌ترین قشر آب سرد میشود، بقیه آب در احاطهٔ هوای گرم میماند. برعکس، اگر روی در ظرف یک تکه یخ بگذاریم، محتوی ظرف زودتر سرد میشود. قشرهای بالائی مایع که سرد شده است پائین میرود و قشرهای گرم پائینی بالا می‌آید و جای آن را میگیرد و این عمل تا وقتی تمام مایع سرد شود، ادامه مییابد*. از طرف دیگر هوای سرد اطراف یخ هم پائین می‌آید و ظرف را احاطه میکند.

چرا از پنجره بسته باد میوزد؟

اغلب از پنجره‌ای که کاملا کیپ بسته است و کوچکترین درزی ندارد، باد میوزد. این عجیب بنظر می‌آید. اما در اینجا هیچ چیز عجیبی وجود ندارد.

هوای اطاق تقریباً هیچوقت‌در حال آرامش نیست. در اطاق جریان‌هائی هست که با چشم دیده نمیشود. این جریان‌ها در نتیجه گرم شدن و سرد شدن هوا بوجود می‌آیند. هوا از حرارت منبسط و در نتیجه سبک میشود و از برودت منقبض و در نتیجه سنگین میشود. هوای گرم و سبک از رادیاتور شوفاژ سانترال یا از بخاری گرم بوسیله هوای سرد به بالا، به طرف سقف رانده میشود و هوای سرد و سنگین نزدیک پنجره یا دیوارهای سرد به پائین، به طرف کف اطاق جریان پیدا میکند.

این جریان‌هائی‌را که در اطاق وجود دارد، به وسیله یک بادکنک بآسانی میتوان آشکار ساخت. باید یک وزنه کوچک به نخ بادکنک بست تا بادکنک به سقف نچسبد و به آزادی در اطاق به پرواز در آید. حالا اگر این بادکنک را در پهلوی بخاری گرم رها کنید، با جریانات نامرئی هوا در اطاق حرکت میکند: از پهلوی بخاری به طرف سقف بالا میرود و در زیر سقف به طرف پنجره

---

* در اینصورت آب پاک تا صفر درجه سرد نمیشود، بلکه فقط تا چهار درجه سرد میشود، زیرا آب ٤ درجه حد اکثر تکاثف را دارد. اما در عمل احتیاج پیدا نمیکنیم که آشامیدنی‌ها را تا صفر درجه سرد کنیم.

حرکت میکند، در نزدیک پنجره به طرف کف اطاق پائین می‌آید و بجای اولیه برمیگردد و از نو همین راه را در اطاق می‌پیماید.

به این دلیل است که زمستان، با اینکه پنجره کاملا کیپ بسته شده و درزی نیست که هوای خارج به اطاق نفوذ کند، ما حس میکنیم که باد میوزد، بخصوص به طرف پا.

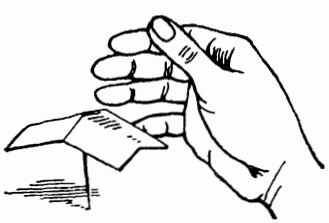
فرفره اسرارآمیز

از کاغذ سیگار نازک یک مربع مستطیل درست کنید. کاغذ را در طول و عرض از وسط تا کنید و از نو باز کنید. حالا میدانید مرکز ثقل مربع مستطیل کجا است. کاغذ را روی سوزنی که بطور قائم نصب شده و نوک تیز آن بطرف بالا است بگذارید، بطوریکه مرکز کاغذ روی نوک تیز سوزن قرار بگیرد.

کاغذ بحال تعادل خواهد ماند، زیرا روی مرکز ثقل قرار دارد. اما در اثر کوچکترین وزش هوا، روی نوک تیز سوزن به چرخش در می‌آید.

فعلا در این فرفره هیچ چیز اسرارآمیزی وجود ندارد. اما دستتان را بطوریکه در شکل ۸۲ نشان داده شده است، به کاغذ نزدیک کنید، البته خیلی آهسته که جریان هوا کاغذ را نبرد. پدیده عجیبی خواهید دید: کاغذ به چرخش در می‌آید، ابتدا آهسته و سپس دمبدم سریعتر میچرخد. دستتان را کنار ببرید، کاغذ از چرخش باز می‌ایستد. نزدیک کنید، از نو به چرخش در می‌آید.

زمانی، در سال‌های هفتاد قرن ۱۹ میلادی، این چرخش اسرارآمیز برای بسیاری از اشخاص دستاویزی شده بود که فکر کنند بدن ما دارای خصوصیات مافوق طبیعی است. عالم‌نمایانی که خودرا طرفدار عرفان مینامیدند، در این آزمایش تأیید تعالیم مبهم خویش را می‌یافتند، که گویا از بدن انسان نیروی اسرارآمیزی تراوش میکند. اما دلیل چرخیدن کاغذ کاملا طبیعی و خیلی ساده است. هوائی که‌از پائین بوسیله دست ما گرم شده است، بالا میرود، به زیر کاغذ میخورد و آن را به چرخش در می‌آورد، زیرا وقتی ما کاغذ را تا کردیم، قسمت‌های کاغذ کمی مایل شده بودند، و این مانند فرفرهٔ حلزونی است که روی‌لولهٔ چراغ میچرخد.



شکل ۸۲ — چرا کاغذ میچرخد؟

کسی که به چرخش این فرفره دقت کند، متوجه میشود که فرفره همیشه به یک طرف میچرخد — از مچ دست در طول کف دست به طرف انگشت‌ها. علت این امر تفاوت حرارت قسمت‌های نامبرده دست است. انگشت‌ها همیشه از کف دست سردترند، به این دلیل در نزدیک کف دست، نسبت به نزدیک انگشت‌ها، جریان هوای بالارونده شدیدتری بوجود می آید و با شدت بیشتری به کاغذ میخورد.*

---

*وقتی آدم تب داشته باشد، و بطور کلی وقتی درجه حرارت بدن بالا باشد، فرفره بمراتب تندتر میچرخد. در بارهٔ این فرفرهٔ آموزنده که زمانی عدهٔ زیادی را به حیرت انداخته بود، در همان سال‌ها برخی تحقیقات فیزیکی و فیزیولوژیک نیز صورت گرفت و در سال ۱۸۷۶ در انجمن پزشکی مسکو مطرح شد (نچایف، چرخش اجسام سبک تحت تأثیر حرارت دست).

آیا پوستین گرم میکند؟

اگر بکوشند شمارا معتقد کنند که پوستین اصلا گرم نمیکند، چه خواهید گفت؟ البته گمان خواهید کرد که با شما شوخی میکنند. حالا، اگر با چند آزمایش این ادعا را برای شما ثابت کنند، آنوقت چه؟ مثلا چنین آزمایشی بکنید.

ببینید گرماسنج چند درجه نشان میدهد و آن‌را توی پوستین بپیچید و بعد از چند ساعت بیرون بیاورید. خواهید دید که حتی یک چهارم درجه هم گرم نشده است و همان درجهٔ حرارتی را نشان میدهد که قبلا نشان داده بود. بفرمائید، این دلیل برای آنکه پوستین گرم نمیکند. حتی ممکن است گمان ببرید که پوستین سرد میکند. دو کیسه یخ بردارید، یکی را توی پوستین بپیچید و دیگری را در اطاق بگذارید. وقتی یخ کیسهٔ توی اطاق آب شد، پوستین را باز کنید، خواهید دید که یخ کیسهٔ توی پوستین حتی شروع به آب شدن هم نکرده است. بنا بر این، پوستین نه فقط یخ‌را گرم نکرده است، بلکه گوئی حتی سرد هم کرده و آب شدن آن را به تأخیر انداخته است!

در اینجا چه اعتراضی میتوان کرد؟ چطور این دلائل را میتوان رد کرد؟

بهیچوجه. اگر ما «گرم کردن» را به مفهوم حرارت دادن بفهمیم، پوستین واقعاً گرم نمیکند. چراغ گرم میکند، بخاری گرم میکند، بدن آدم گرم میکند، زیرا همهٔ این چیزها منبع گرما هستند. اما پوستین، به این مفهوم کلمه، هیچ گرم نمیکند. پوستین خودش حرارت نمیدهد، بلکه فقط مانع آن میشود که حرارت بدن ما از بدن دور شود. به این دلیل استکه حیوانات خون گرم که بدنشان منبع گرما است، با پوستین بیشتر خودرا گرم حس میکنند تا بدون پوستین. اما گرماسنج حرارت تواید نمیکند و وقتی آن را توی پوستین بپیچید حرارتش افزایش نمی‌یابد. یخی که در پوستین پیچیده‌ایم، برودت خودرا مدت بیشتری حفظ میکند، زیرا قابلیت هدایت حرارت پوستین فوق‌العاده کم است و سبب میشود که حرارت خارج، یعنی حرارت هوای اطاق آهسته‌تر به یخ برسد.

برف هم، به این مفهوم کلمه، مانند پوستین زمین را گرم میکند. قابلیت هدایت حرارت برف مثل همه اجسام گردمانند، فوق‌العاده کم است، به این دلیل مانع میشود که حرارت زمینی که زیر آن است، برود. در زمینی که قشری از برف آن‌را پوشانده است، گرماسنج در اکثر موارد در حدود ده درجه بیشتر نشان میدهد، تا در زمینی که از برف پوشیده نشده است. بدین ترتیب، به سؤال: «آیا پوستین گرم میکند؟»، باید جواب داد: «پوستین فقط به ما کمک میکند که خودمان خودمان را گرم کنیم» اگر بگوئیم: ما پوستین را گرم میکنیم، نه پوستین مارا، صحیح‌تر است.

چه فصلی از سال زیر پای ماست؟

وقتی روی زمین تابستان است، در عمق مثلا سه متر زیر زمین چه فصلی از سال است؟

گمان میکنید که آنجا هم تابستان است؟ اشتباه میکنید. بر خلاف آنچه ممکن است، بعضی فکر کنند، فصول سال در روی زمین و زیر زمین یکی نیستند. قابلیت هدایت حرارت زمین فوق‌العاده کم است. در لنینگراد لوله‌های آبی که در عمق دو متر هستند، در شدیدترین سرماها یخ نمی‌بندند.

تغییرات حرارت که در روی زمین رخ میدهد، بسیار کند به زیر زمین سرایت میکند و پس از مدت بسیار زیادی به اعماق مختلف زمین میرسد. اندازه‌گیری‌های مستقیم (مثلا در اسلوتسک، استان لنینگراد) نشان داده است که در عمق سه متر زیر زمین گرمترین لحظه سال ۷۶ روز و سردترین لحظه ۱۰۸ روز دیرتر از روی زمین فرا میرسد. یعنی اگر فرض کنیم که گرمترین روز در روی زمین ۲۵ ژوئیه بوده است، در عمق سه متر زیر زمین گرمترین روز فقط ۹ اکتبر خواهد بود! اگر سردترین روز ۱۵ ژانویه بوده است، در عمق سه متر سردترین روز در ماه مه خواهد بود. در اعماق بیشتر، این تأخیر باز هم بیشتر است.

تغییرات حرارت روی زمین نه فقط کند به زیر زمین سرایت میکند، بلکه هر قدر پائینتر برویم این تغییرات ضعیف تر هم میشود و در عمق معینی بکلی از میان میرود و در تمام سال طی قرن‌های متمادی درجهٔ حرارت در آنجا ثابت و بدون تغییر میماند و مساوی درجهٔ حرارت متوسط آن محل است.

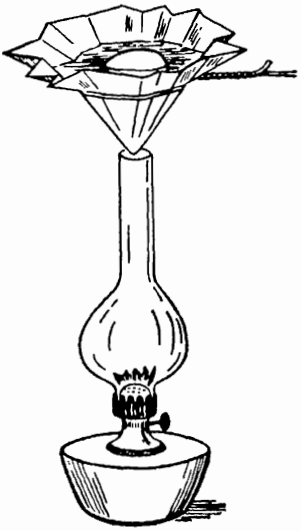
گرماسنجی که صدو پنجاه سال است در زیرزمین‌های رصدخانه پاریس در عمق ۲۸ متر قرار دارد و لوازیه آن را گذاشته بود، در طی این صد و پنجاه سال کوچکترین تغییری نکرده و همیشه همان درجهٔ حرارت (۱۱/۷+ درجه سانتیگراد) را نشان میدهد.

بدین ترتیب در زیر زمینی که روی آن گام برمیداریم، هرگز آن فصلی از سال نیست که روی زمین میباشد. وقتی روی زمین زمستان است، در عمق ۳ متر زیر زمین پائیز است، البته نه آن پائیزی که قبلا روی زمین بوده است، بلکه پائیزی با تقلیل حرارت کمتر، و وقتی در روی زمین تابستان است، آثار ضعیف سرماهای زمستان، تازه به اعماق زمین میرسد.

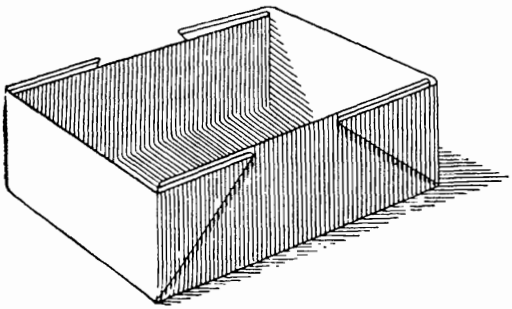
هر وقت از شرایط زندگی موجودات جاندار زیرزمینی (مثلا کرمینه‌های سوسک طلائی) یا قسمت‌های زیرزمینی گیاهان صحبت به میان می‌آید، بخصوص باید این مطلب را در نظر داشت. مثلا نباید تعجب کنیم که تکثیر یاخته‌های ریشه‌های درختان در نیمه سرد سال صورت میگیرد و فعالیت بافت‌های زاینده در تمام فصل گرما خاموش میشود، درست برعکس آنچه در تنه و یاخته‌های روزمینی صورت میگیرد.

قابلمه کاغذی

به شکل ۸۳ نگاه کنید: تخم مرغ در آبی که توی کلاهک کاغذی ریخته‌اند، می‌پزد. لابد خواهید گفت: «الآن کاغذ آتش میگیرد و آب روی چراغ میریزد». خودتان آزمایش کنید: یک ورق کاغذ پوستی کلفت بردارید، کلاهکی بسازید و به یک حلقهٔ سیمی محکم کنید. یقین خواهید کرد که آتش به کاغذ هیچ صدمه‌ای نمیزند. علت این امر آنسکه آب در ظرف باز فقط تا نقطه غلیان، یعنی تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد گرم میشود. به این دلیل آب ضمن گرم شدن بخصوص که ظرفیت گرمای آن زیاد است، حرارت اضافی کاغذ را جذب میکند و نمیگذارد درجه حرارت کاغذ بمیزان قابل ملاحظه‌ای از ۱۰۰ درجه بالاتر برود و به جائی برسد که کاغذ شعله‌ور شود. (قوطی کاغذی که در شکل ۸۴ نشان داده شده، برای این آزمایش مناسب تر و بهتر است). حتی اگر شعله با کاغذ تماس پیدا کند، کاغذ نمیسوزد.



شکل ۸۳ — تخم مرغ در قابلمه کاغذی می‌پزد.

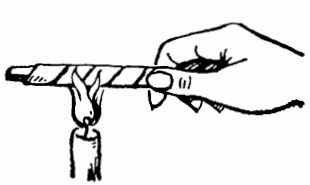


شکل ۸۴ — قوطی کاغذی برای جوش آوردن آب.

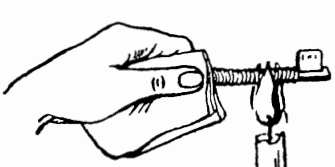
آزمایش تأسف‌آوری که برخی اشخاص پریشان‌حواس انجام میدهند، یعنی سماور را بدون آب آتش میکنند، و در نتیجه لحیم سماور ذوب میشود از همین نوع پدیده‌ها است. علت معلوم است: همیشه لحیم‌کاری زود گداز است و فقط در مجاورت آب حرارت آن آنقدر بالا نمیرود که خطرناک باشد. قابلمه‌های لحیم‌شده را نیز نباید بدون آب روی آتش گذاشت، در مسلسل‌های قدیمی آبی، گرم شدن آب از ذوب شدن اسلحه جلوگیری میکرد.

شما میتوانید پلمب داخل قوطی مقوائی را ذوب کنید. فقط باید شعله‌را زیر آن قسمت از مقوا بگیرید که مستقیماً با سرب تماس دارد. فلز که قابلیت هدایت حرارتش زیاد است، بسرعت حرارت مقوا را جذب میکند و نمیگذارد حرارت از درجهٔ گرمای گداز (برای سرب ۳۳۰ درجه) زیاد بالاتر برود و حرارت در این حدود برای شعله‌ور ساختن کاغذ کافی نیست.

آزمایش زیر را نیز میتوان به آسانی انجام داد (شکل ۸۵). یک نوار باریک کاغذی را مثل پیچ به دور میخ یا سیم کلفت آهنی (سیم مسی بهتر است) محکم بپیچید و بعد آن را روی شعلهٔ آتش نگهدارید. شعله به کاغذ میخورد، کاغذ را از دود سیاه میکند، اما تا زمانیکه سیم کاملا داغ نشده است، کاغذ را نمیسوزاند. علت این امر آنستکه قابلیت هدایت حرارت فلز زیاد است. این آزمایش را با میله شیشه‌ای نمیتوان انجام داد. در شکل ۸۶ آزمایشی شبیه به آزمایش بالا را با نخ «نسوز» که محکم به دور کلید پیچیده شده است، ملاحظه میکنید.



شکل ۸۵ — کاغذ نسوز.



شکل ۸۶ — نخ نسوز.

چرا یخ لیز است؟

در کف صاف و صیقلی اطاق آسان‌تر میتوان لیز خورد تا در کف غیر صیقلی. ظاهراً روی یخ نیز باید همینطور باشد، یعنی یخ صاف باید از یخ پست و بلند و ناهموار لیزتر باشد.

اما اگر برای شما پیشامد کند که یک سورتمه دستی پربار را از روی یخ پست و بلند و ناهموار بکشید، آنوقت یقین خواهید کرد که سورتمه، برخلاف انتظار، روی چنین یخی خیلی راحت‌تر از روی یخ صاف لیز میخورد. یخ ناهموار از یخی که مثل آئینه صاف است، لیزتر میباشد! علت این امر آنستکه میزان لیز بودن یخ قبل از هر چیز نه به صاف و صیقلی بودن یخ، بلکه به پدیده کاملا ویژه دیگری بستگی دارد، و آن اینکه: با افزایش فشار، درجهٔ حرارت آب شدن یخ پائین می‌آید.

حالا ببینیم وقتی سورتمه‌سواری یا پاتیناژ میکنیم، چه عملی صورت میگیرد. وقتی با پاتن ایستاده‌ایم، روی سطح کوچکی، فقط چند میلیمتر مربع، تکیه داریم. تمام وزن بدن ما روی این سطح کوچک فشار می‌آورد. اگر آنچه را که در فصل دوم راجع به فشار گفته شد، بیاد بیاورید، میفهمید که شخصی که پاتیناژ میکند به یخ فشار زیادی وارد می‌آورد. یخ تحت فشار زیاد در درجهٔ حرارت کمتری آب میشود. مثلا اگر حرارت یخ ۰ — درجه باشد و فشار پاتن‌ها نقطهٔ آب شدن یخ زیر پاتن‌ها را بیش از ۰ درجه پائین ببرد، یخ زیر پاتن آب خواهد شد*.

در اینصورت چه حالتی بوجود می‌آید؟ در اینصورت بین تیغهٔ پاتن و یخ یک قشر نازک آب قرار دارد، و دیگر لیز خوردن کسی که پاتیناژ میکند، تعجبی ندارد. همینکه پایش را جای دیگر گذاشت آنجا نیز همین عمل صورت میگیرد. همه جا یخ زیر پای شخصی که پاتیناژ میکند، به قشر نازکی از آب تبدیل میشود. در میان تمام اجسام موجود در دنیا فقط یخ است که چنین ویژگی‌هائی دارد. یکی از فیزیسین‌های شوروی یخ را «یگانه جسم لیز در طبیعت» نامیده است. بقیهٔ اجسام صاف و صیقلی هستند، نه لیز.

حالا میتوانیم به آن مسأله برگردیم که آیا یخ صاف لیزتر است یا یخ ناهموار. میدانیم که هر چه سطح اتکاً یک بار معین کمتر باشد، فشار آن بر سطح اتکاً بیشتر است. چه وقت فشار آدم بر سطح اتکایش بیشتر است: وقتی روی یخ مانند آئینه صاف ایستاده است، یا وقتی روی یخ ناهموار؟ روشن است که در مورد دوم، زیرا در این حالت آدم بر برآمدگی‌ها و برجستگی‌های معدود سطح یخ ناهموار اتکاً دارد. و هر چه فشار بر روی یخ زیادتر باشد، یخ بیشتر آب میشود و در

---

*— از نظر تئوری میتوان حساب کرد که برای یک درجه پائین آوردن نقطهٔ آب شدن یخ فشار بسیار زیادی، ۱۳۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، لازم است. آیا سورتمه یا شخصی که پاتیناژ میکند، چنین فشاری بر یخ وارد می‌آورد؟ اگر وزن سورتمه (یا شخصی را که پاتیناژ میکند) بر سطح لغزان سورتمه (یا تیغه پاتن) تقسیم کنیم، عدد بمراتب کوچکتری بدست می‌آید. این امر نشان میدهد که تمام سطح لغزان سورتمه به یخ نمی‌چسبد، بلکه قسمت بسیار کمی از آن به یخ می‌چسبد.

[در محاسبهٔ تئوری فرض میشود که ضمن آب شدن یخ، یخ و آب تحت یک فشار قرار دارند. اما در مثال‌هائی که مؤلف شرح میدهد، پس از آنکه یخ آب شد، فشار وارده بر آب معادل فشار جو است. در این شرایط برای پائین آمدن نقطهٔ آب شدن یخ فشار کمتری لازم است. — هیأت تحریریه].

نتیجه لیزتر است (در صورتیکه تیغه پاتن به اندازه کافی پهن باشد. این قاعده در مورد تیغه تیز پاتن که یخ را می‌برد صدق نمیکند، در اینصورت انرژی حرکت صرف بریدن برآمدگی‌های یخ میشود).

علت بسیاری از پدیده‌های دیگر زندگی روزمرهٔ ما نیز پائین آمدن نقطه آب شدن یخ تحت فشار زیاد میباشد. اگر چند تکه یخ را محکم بهم بفشاریم، در نتیجهٔ این ویژگی یخ، آن چند تکه بهم می‌چسبند و بصورت یخ یکپارچه‌ای در می‌آنید. پسربچه‌ای که هنگام برف بازی گلولهٔ برف را در مشت میفشارد، بطور ناآگاه از این ویژگی ذرات یخ (دانه‌های برف) که تحت فشار زیاد نقطهٔ آب شدنشان پائین می‌آید و بهم میچسبند، استفاده میکند. وقتی گلولهٔ بزرگ برف را روی زمین میغلتانیم تا آدم برفی درست کنیم، باز هم از این ویژگی یخ استفاده میکنیم: دانه‌های برفی که در قسمت پائین گلوله باهم تماس پیدا میکنند، تحت تأثیر فشار توده برف، بهم میچسبند. البته حالا شما میفهمید که چرا در سرمای شدید دانه‌های برف بهم نمی‌چسبند و بزحمت میتوان آدم برفی درست کرد. برف پیاده‌روها در نتیجه فشار پای رهگذران بتدریج متراکم میشود، دانه‌های برف بهم میچسبند و یک قشر یخ یکپارچه بوجود می‌آید.

مسأله قندیل یخ

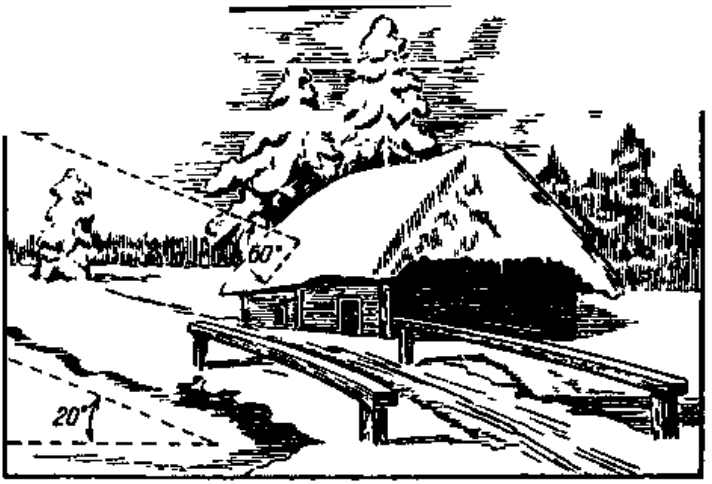
آیا هرگز فکر کرده‌اید که قندیل‌های یخی که اغلب می‌بینید از لبه شیروانی آویزانند، چطور درست میشوند؟

این قندیل‌های یخ در چه هوائی درست شده‌اند: در هوای نسبتاً گرم یا هوای سرد؟ اگر در هوای نسبتاً گرم درست شده‌اند، چطور آب در حرارت بالاتر از صفر درجه یخ بسته است؟ اگر در هوای سرد درست شده‌اند، پس از کجا روی شیروانی آب پیدا شده است؟

ملاحظه میکنید که مسأله آنقدرها هم که در نظر اول تصور میرود، ساده نیست. برای آنکه قندیل یخ بتواند درست شود، در آن واحد دو حرارت لازم است: بالاتر از صفر برای آب شدن و پائین‌تر از صفر برای یخ بستن.

در واقع هم همینطور است: برف روی شیروانی آب میشود، زیرا پرتو خورشید برف را تا حرارت بیش از صفر گرم میکند، و قطرات آبی که به پائین جاری میشوند در لبهٔ شیروانی یخ می‌بندند، زیرا در لبهٔ شیروانی حرارت پائین‌تر از صفر است. (البته، ما در اینجا از آن موردی که بنای زیر شیروانی را گرم میکنند و قندیل یخ در اثر گرمای زیر شیروانی درست میشود، بحث نمیکنیم).

یک چنین منظره‌ای را در نظر بگیرید: روز آفتابی و سرما در حدود یکی دو درجه است. خورشید بر همه جا پرتو افکنده است، اما اشعهٔ مایل خورشید زمین را آنقدر گرم نمیکنند که برف آب شود. ولی تمایل اشعه خورشید نسبت به طرفی از شیروانی که رو به آفتاب است، کمتر از تمایل نسبت به زمین و نزدیکتر به زاویه قائمه میباشد. معلوم است که هر چه زاویه میان اشعه و سطحی که بر آن میتابند بزرگتر باشد، میزان روشن کردن و گرم کردن اشعه به همان نسبت بیشتر است. (تأثیر اشعه با سینوس زاویه تابش تناسب مستقیم دارد: برای موردی که در شکل ۸۷ نشان داده شده است، برف روی شیروانی ۲/۰ بار بیشتر از برفی که مساحت آن مساوی مساحت شیروانی، اما در سطح افقی باشد، حرارت میگیرد، زیرا سینوس زاویه ۶۰ درجه ۲/۰ برابر سینوس زاویه ۲۰ درجه است). به این دلیل است که سرازیری شیروانی بیشتر گرم میشود و برف روی آن آب میشود. برف



شکل ۸۷— اشعه خورشید شیروانی مایل را بیشتر از سطح زمین افقی گرم میکنند (اعداد اندازه زاویه‌های تابش را نشان میدهند).

آب شده جریان پیدا میکند و قطره قطره از لبهٔ شیروانی آویزان میشود. اما زیر لبهٔ شیروانی حرارت پائین‌تر از صفر است و قطرهٔ آب که در نتیجه تبخیر نیز سرد شده، یخ می‌بندد. روی قطره‌ای که یخ بسته است، قطرهٔ دیگری می‌آید و به همان ترتیب یخ می‌بندد، بعد قطرهٔ سوم و چهارم و الی آخر. بتدریج یک برآمدگی کوچک یخی بوجود می‌آید. یک روز دیگر در هوای شبیه روز اول این برآمدگی‌های یخی درازتر میشوند و در نتیجه قندیل‌های یخ بوجود می‌آیند که مانند استالاکتیت‌های غارهای زیرزمینی بتدریج درازتر میشوند. در لب بام انبارها و بطور کلی بناهائی که از داخل گرم نمیشوند، قندیل‌های یخ به این ترتیب بوجود می‌آیند.

سبب پدیده‌های عظیم‌تری که در برابر دیدگان ما صورت میگیرد، نیز همین است. مثلا تفاوت آب و هوا در مناطق مختلف و در فصل‌های مختلف سال نیز تا حدود زیادی* به تغییر زاویه تابش اشعه خورشید بر زمین بستگی دارد. فاصلهٔ خورشید از زمین در تابستان و زمستان، و نیز فاصلهٔ خورشید از خط استوا و از قطب‌ها تقریباً به یک اندازه است (تفاوت فاصله بقدری ناچیز است که هیچ اهمیتی ندارد). اما زاویهٔ تابش اشعهٔ خورشید بر سطح زمین در نزدیک خط استوا بزرگتر از نواحی قطبی، و در تابستان بزرگتر از زمستان است. این امر موجب تفاوت قابل ملاحظه‌ای در گرمای روز و در نتیجه، در حیات تمام طبیعت میشود.

---

*—اما تنها به این امر بستگی ندارد. دلیل مهم دیگر کوتاه و بلند بودن روزها، یعنی تفاوت مدت زمانی استکه خورشید زمین را گرم میکند. ضمناً هر دوی این دلائل نتیجه یک عامل نجومی، یعنی مایل بودن محور زمین نسبت به سطح گردش زمین به دور خورشید میباشد.

فصل هفتم

اشعهٔ نور

سایه‌های گرفته شده

سایه‌ها، ای سایه‌های تیره و تار!
با چه کسی همپا نمیگردید؟
بر چه کسی پیشی نمیگیرید؟
لیک نتوانیم ما، هرگز شما را،
نی بگیریم و نه در آغوش بفشاریم.
سایه‌ها، ای سایه‌های تیره و تار!

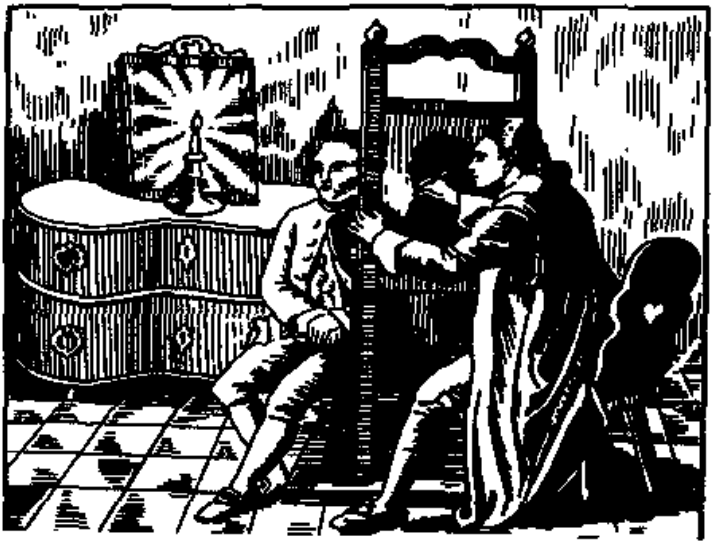
نکراسوف

نیاکان ما اگر چه نمیتوانستند سایه‌ها را بگیرند، اما میتوانستند از سایه‌ها بهره بردارند: آنها با استفاده از سایه‌ها «شبح»، یعنی تصویر نیمرخ سایه‌ای آدم را میکشیدند.

در دوران ما در پرتو صنعت عکاسی، هر کسی امکان دارد عکس خود یا عکس عزیزان خویش‌را بدست آورد. اما در قرن ۱۸ میلادی مردم از چنین سعادتی بهره‌مند نبودند. تصاویری که نقاشان میکشیدند، بسیار گران بود و عده معدودی به آن دسترسی داشتند. به این دلیل بود که تصویر نیمرخ سایه‌ای شیوع فراوان داشت و تا حدودی جای عکاسی امروزی را میگرفت. تصاویر نیمرخ، یعنی سایه‌های گرفته شده و تثبیت شده، بطور مکانیکی بدست می‌آمدند و از این جهت به عکس که نقطه مقابل آنها است شباهت دارند. ما از نور استفاده میکنیم، نیاکان ما برای همین منظور از عدم نور، یعنی سایه استفاده میکردند.

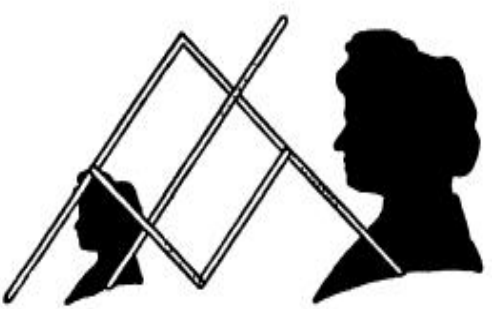
از روی شکل ۸۸ میتوان فهمید که تصاویر نیمرخ سایه‌ای را چطور میکشیده‌اند. سررا در برابر نور طوری نگهمیداشتند که سایه ویژگی‌های نیمرخ را نشان دهد و دورهٔ آن را با مداد خط میکشیدند. بعد نیمرخ‌را با مرکب سیاه میکردند، می‌بریدند و روی کاغذ سفید می‌چسباندند و تصویر نیمرخ حاضر میشد. در صورت تمایل، نیمرخ‌را بوسیله دستگاه مخصوصی که پانتوگراف نام دارد، کوچک میکردند (شکل ۸۹)

تصور نکنید که طرح سیاه ساده نمیتواند ویژگی‌های صورت را منعکس کند. برعکس، گاهی یک تصویر نیمرخ خوب با صورت شباهت حیرت انگیز دارد.



شکل ۸۸ — طریقه قدیمی کشیدن تصویرهای نیمرخ سایه‌ای.

این خصوصیت تصاویر سایه‌ای که در عین سادگی با اصل شباهت دارد، توجه برخی از نقاشان را جلب کرد. این نقاشان به کشیدن صحنه‌ها و منظره‌های کامل از این نوع پرداختند. بتدریج نقاشی نیمرخ یک مکتب تمام‌عیار نقاشان را بوجود آورد.



شکل ۸۹ — کوچک کردن تصویر نیمرخ سایه‌ای.

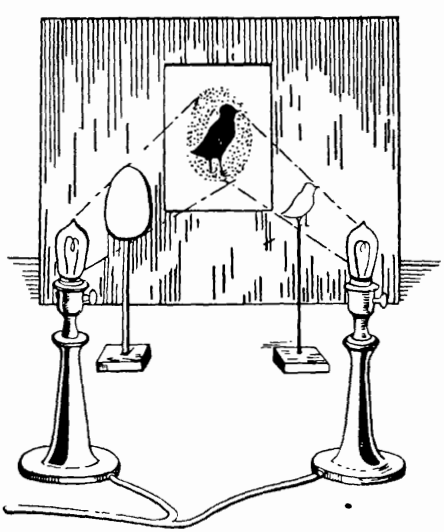
شکل ۹۰ — تصویر تمام قد بیمرخ شیلر (سال ۱۷۹۰).

پیدایش خود کلمه «سیلوئت*» در زبان فرانسه تاریخچهٔ جالب و مضحکی دارد. این کلمه از نام خانوادگی Etienne de Silhouette وزیر دارائی فرانسه در اواسط قرن ۱۸ گرفته شده است که همعصران ولخرج خود را به صرفه‌جوئی معقول میخواند و اشراف فرانسه را سرزنش میکرد که برای تابلو و تصویر مبالغ فوق العاده زیادی خرج میکردند. ارزان بودن تصاویر نیمرخ سایه‌ای برای برخی از ظرفا و بذله‌گویان دستاویز شد تا این تصاویر را تصاویر «à la Silhouette» بنامند.

جوجه در درون تخم مرغ

شما میتوانید با استفاده از ویژگی‌های سایه برای رفقا و دوستانتان نمایش جالب و مضحکی بدهید. از یک ورق کاغذ روغن اندود پرده درست کنید. برای این کار کافی است که در یک ورق مقوا سوراخ چهارگوشی ببرید و کاغذ روغن اندود را روی آن سوراخ بچسبانید. پشت پرده دو چراغ بگذارید. بینندگان جلو پرده می‌نشینند. یکی از چراغ‌ها، مثلا چراغ سمت چپ را روشن کنید.

یک تکه مقوای بیضی شکل که روی سیم نصب شده است، بین چراغ روشن و پرده بگذارید، آنوقت البته روی پرده تصویر تخم مرغی ظاهر خواهد شد. (چراغ سمت راست فعلا روشن نیست). حالا به مهمانان بگوئید که دستگاه پرتو نگاری را بکار می‌اندازید که جوجهٔ توی تخم مرغ را نشان بدهد! پس از لحظه‌ای مهمانان واقعاً خواهند دید که تصویر تخم مرغ در اطراف روشن شده است و در وسط آن تصویر نیمرخ جوجه‌ای کاملا واضح دیده میشود (شکل ۹۱).



شکل ۹۱ — عکس رنتگن غیر حقیقی.

فهم این معما بسیار آسان است: شما چراغ سمت راست را روشن میکنید. نیمرخ مقوائی جوجه‌ای سر راه اشعهٔ این چراغ قرار دارد، بطوری که سایهٔ آن روی سایهٔ بیضی شکل می‌افتد. قسمتی از سایه بیضی شکل با نور چراغ سمت راست روشن میشود، به این دلیل اطراف «تخم مرغ» روشن‌تر از قسمت وسطی آن میباشد. بینندگانی که جلو پرده نشسته‌اند و از کارهای شما بیخبرند، اگر از فیزیک و کالبدشناسی اطلاعاتی نداشته باشند، البته ممکن است تصور کنند که شما واقعاً تخم‌مرغ رازیر اشعهٔ رنتگن قرار داده اید.

---

*تصویر نیمرخ سایه‌ای ترجمهٔ کلمهٔ «silhouette» فرانسه است که در بسیاری از زبان‌ها به معنای «تصویر نیمرخ»، «نیمرخ سایه‌ای» و «شبح» بکار میرود (مترجم).

عکس‌های کاریکاتورمانند

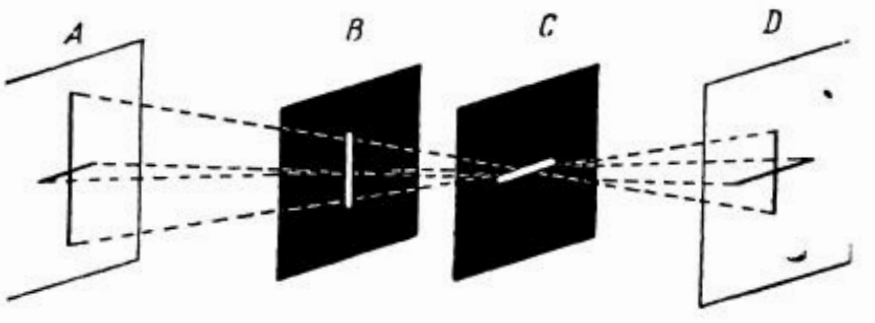
بسیاری از اشخاص نمیدانند که دوربین عکاسی را میشود بدون عدسی (ابژکتیف) هم ساخت و بجای عدسی از یک سوراخ کوچک استفاده کرد. در اینصورت عکس‌ها کمی تار خواهند شد. اگر دوربین عکاسی بدون عدسی بجای سوراخ دو شکاف متقاطع داشته باشد، دوربین عکاسی جالبی میشود. در قسمت جلو دوربین عکاسی دو تخته کار میگذارند. در یکی از این تخته‌ها یک شکاف قائم و در دیگری یک شکاف افقی تعبیه شده است. اگر هر دو تخته کاملا به هم چسبیده باشد، عکسی که با این دوربین عکاسی بر میدارند، مانند عکس با دوربین سوراخ‌دار، یعنی طبیعی خواهد بود. اما اگر تخته‌ها از یکدیگر در فاصله معینی قرار داشته باشند (تخته‌ها را مخصوصاً طوری کار میگذارند که بتوان فاصلهٔ آنهارا نسبت به هم تغییر داد)، منظرهٔ بکلی دیگری مشاهده میشود. در اینصورت عکس بطور مضحکی غیر طبیعی میشود (شکل ۹۲ و ۹۳) و به کاریکاتور بیشتر شباهت دارد تا به عکس.

شکل ۹۲ — عکس کاریکاتورمانندی که با دوربین عکاسی شکاف‌دار برداشته شده است. عکس در امتداد خط افقی دراز شده است.

شکل ۹۳ — عکس کاریکاتورمانندی که در امتداد خط قائم درازشده است (این عکس نیز با دوربین عکاسی شکاف‌دار برداشته شده است). ◄

علت این تغییر غیر طبیعی‌را چگونه باید توضیح داد؟

موردی را که شکاف افقی جلو شکاف قائم قرار دارد بررسی میکنیم (شکل ۹۴). اشعه‌ای که از خطوط قائم شکل D (صلیب) میتابند، از شکاف اول C مانند یک سوراخ معمولی میگذرند و شکاف



شکل ۹۴ — چرا عکسی که با دوربین عکاسی شکاف دار بردارند، بطور مضحکی غیر طبیعی میشود.

عقبی بهیچوجه خط سیر آنها را تغییر نمیدهد. بنا بر این عکس خط قائم روی شیشهٔ مات A به مقیاس متناسب با فاصله شیشه A از تختهٔ C می‌افتد.

اما وقتی شکاف‌ها در همان حالت قرار داشته باشند، عکس خط افقی طور دیگری خواهد افتاد. اشعه از شکاف اول (شکاف افقی) بدون مانع و بدون تقاطع میگذرند تا به شکاف قائم B برسند، و از شکاف قائم B مانند یک سوراخ معمولی میگذرند. عکس این اشعه روی شیشهٔ مات A متناسب با فاصله A از تختهٔ دومی B خواهد بود.

خلاصه، وقتی شکاف‌ها در این حالت قرار داشته باشند، گوئی برای خطوط قائم فقط شکاف جلوی وجود دارد و برای خطوط افقی، بر عکس، فقط شکاف عقبی. و از آنجا که فاصله شکاف جلوی از شیشهٔ مات بیش از فاصلهٔ شکاف عقبی از شیشهٔ مات میباشد، بنا بر این عکس تمام طول‌های قائم بمقیاس بزرگتری از عکس طول‌های افقی روی شیشهٔ A خواهد افتاد، و گوئی عکس در امتداد خط قائم دراز شده است.

اما اگر شکاف قائم جلو شکاف افقی قرار داشته باشد، عکس در امتداد خط افقی دراز خواهد شد (شکل ۹۲ و ۹۳ را باهم مقایسه کنید).

روشن استکه اگر شکاف ها به حالت مایل قرار داشته باشند، تغییرات غیر طبیعی نوع دیگری در عکس بوجود خواهد آمد.

اینگونه دوربین‌های عکاسی‌را نه فقط برای برداشتن عکس‌های کاریکاتورمانند، بلکه برای کارهای مهمتری نیز میتوان مورد استفاده قرار داد، مثلا برای تهیهٔ انواع نقش و نگارهای معماری، نقشه گل‌های قالی و کاغذ دیواری و غیره، و بطور کلی برای تهیه نقش و نگارهائی که میخواهیم در سمت معینی کشیده یا فشرده شده باشند.

مسألهٔ طلوع خورشید

شما درست ساعت ۵ صبح ناظر طلوع خورشید بودید. اما میدانیم که نور آناً پخش نمیشود، بلکه مدت زمانی لازم است تا اشعه از منبع نور به چشم بیننده برسند.

به این دلیل میتوان چنین سؤالی مطرح کرد: اگر نور آناً پخش میشد، شما همین طلوع خورشید را در چه ساعتی مشاهده میکردید؟

نور مسافت از خورشید تا زمین‌را در ۸ دقیقه طی میکند. ظاهراً، اگر نور آناً پخش میشد، شما طلوع خورشید را ۸ دقیقه زودتر، یعنی در ساعت ٤ و ٥٢ دقیقه مشاهده میکردید.

لابد برای عده‌ای کاملا غیر منتظره خواهد بود که چنین جوابی بکلی نادرست است. این جواب نادرست است، زیرا خورشید به این علت «طلوع میکند» که زمین ما می چرخد و نقاط تازه‌ای از سطح خود را به فضائی که روشن شده است، میبرد. به این دلیل اگر نور آناً پخش میشد شما باز هم طلوع خورشید را در همان لحظه‌ای مشاهده میکردید که وقتی نور در مدت زمان معینی پخش میشود، مشاهده میکنید، یعنی درست در همان ساعت ٥ صبح.*

اگر شما با تلسکوپ پیدایش یک زبانه (پرتوبرانس) را در حاشیه خورشید مشاهده میکردید، وضع طور دیگری بود، در اینصورت اگر نور آناً پخش میشد، شما این پدیده را ۸ دقیقه زودتر می‌دیدید.

---

*اگر پدیده‌ای را که «انکسار جوی» نام دارد در نظر بگیریم، آنوقت نتیجه از این هم غیرمنتظره تر میشود. انکسار سبب میشود که خط سیر اشعه در هوا کج شود و در نتیجه به ما امکان میدهد که طلوع خورشید را قبل از نمودار شدن هندسی خورشید در افق، ببینیم. اما اگر نور آناً پخش بشود، دیگر انکسار نمیتواند وجود داشته باشد، زیرا انکسار در نتیجه تفاوت سرعت نور در محیط‌های گوناگون بوجود می‌آید. عدم وجود انکسار سبب میشود که بیننده طلوع خورشید را کمی دیرتر از وقتی که نور آناً پخش نمیشود، ببیند. این تفاوت بسته به عرض جغرافیائی محل مشاهده، حرارت هوا و سایر شرایط از دو دقیقه تا چند شبانه روز (و در عرض‌های جغرافیائی نواحی قطبی حتی بیشتر) تغییر میکند. تناقض جالبی پیش می‌آید: اگر نور آناً (یعنی بینهایت سریع) پخش میشد ما طلوع خورشید را دیرتر از وقتی که نور آناً پخش نمی‌شود، میدیدیم! برای مطالعهٔ شرح و توضیح مفصل‌تر این مسأله به کتاب «آیا فیزیک میدانید؟» مراجعه کنید.

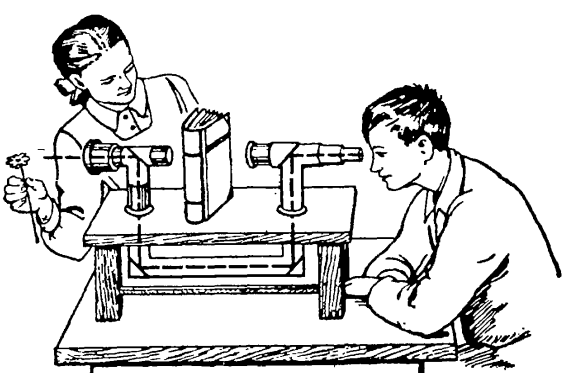
فصل هشتم

انعکاس و انکسار نور

دیدن از پشت دیوار

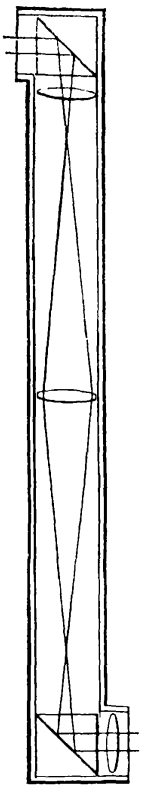
در سال‌های نود قرن گذشته اسباب جالبی با نام پرطمطراق «دستگاه رنتگن» میفروختند. بیاد دارم وقتی که هنوز دانش‌آموز بودم و برای نخستین بار این اسباب جالب را به دست گرفتم چقدر به حیرت و تعجب افتادم: بوسیله این لوله میتوانستی از پشت هر جسم غیر شفافی ببینی! من نه فقط از پشت یک ورق مقوا، بلکه از پشت تیغه کارد که اشعهٔ رنتگن واقعی هم از آن عبور نمیکنند، هر چه در اطراف بود، میدیدم. اگر به شکل ۹۵ که تصویر کامل لوله در آن رسم شده است، نظری بیاندازید، راز ساختمان ساده این اسباب بازی فوراً برایتان روشن میشود. چهار آئینه کوچک که با زاویه ۴۵ درجه کار گذاشته شده‌اند، اشعه را چند بار منعکس میکنند و سبب میشوند که اشعه، به اصطلاح، جسم غیر شفاف را دور بزنند.

در امور جنگی از اینگونه اسباب ها بمقیاس وسیعی استفاده میشود. اگر با اسبابی که «پریسکوپ» نام دارد (شکل ۹۶) نگاه کنیم، میتوانیم در سنگر بنشینیم و بی آنکه سر خودرا بیرون بیاوریم و خود را زیر آتش دشمن قرار دهیم، عملیات دشمن را تحت نظر بگیریم.



شکل ــ ۹۵ دستگاه رنتگن موهوم.

شکل ۹۶ — پریسکوپ.



شکل ۹۷ — طرح دوربین زیردریائی.

هر چه طول اشعه از جائی که داخل پریسکوپ میشود تا چشم بیننده بیشتر باشد، به همان اندازه میدان دید اسباب کمتر است، برای افزایش میدان دید چند شیشه اپتیک بکار می‌برند. اما شیشه‌ها قسمتی از نوری را که داخل پریسکوپ میشود، جذب میکنند و در نتیجه اجسام با وضوح کمتری دیده میشوند. این عامل سبب محدود بودن بلندی پریسکوپ میشود، بلندی در حدود بیست متر تقریباً نزدیک به حد نهائی است. پریسکوپ‌های بلندتر از این، میدان دید بسیار کوچکی دارند و اجسام در آنها، بخصوص در هوای ابری و مه‌آلود، خیلی تار دیده میشوند.

ناخدای زیردریائی نیز بوسیله پریسکوپ — لوله درازی که سر آن از آب بیرون آمده است — کشتی‌ای را که مورد حمله قرار داده است، مشاهده میکند. این نوع پریسکوپ‌ها — دوربین‌های زیردریائی — از پریسکوپ‌هائی که در خشکی مورد استفاده قرار میگیرند، بمراتب مرکب‌تر و پیچیده‌تر

هستند، اما ماهیت پدیده همان است: اشعه در آئینه یا منشوری که در قسمت روی آب پریسکوپ نصب شده است، منعکس میشوند، در طول لوله بائین میروند، در قسمت پائینی لوله از نو منعکس میشوند و به چشم بیننده میرسند (شکل ۹۷).

سر «بریده‌ای» که سخن میگوید

این «معجزه» را اغلب در «موزه‌ها» و «عجایب خانه‌هائی» که در ولایات میگشتند، به معرض نمایش میگذاشتند. کسی که بر راز سر «بریده» آگاهی نداشته باشد، واقعاً حیران میشود. در برابر دیدگان شما میز کوچک و بشقابی و در بشقاب سر زنده آدمی قرار دارد که چشمانش را حرکت میدهد، حرف میزند و خوراک میخورد! ظاهراً زیر میز جائی نیست که بتوان بدن آدم را در آن پنهان کرد. البته به میز نمیشود کاملا نزدیک شد، زیرا میان شما و میز مانعی قرار دارد، اما در هر صورت بطور وضوح می‌بینید که زیر میز چیزی نیست.

اگر برایتان پیش‌آمد که شاهد چنین «معجزه‌ای» باشید، یک تکه کاغذ را مچاله کنید و در فضای خالی زیر میز بیاندازید. راز سر «بریده» فوراً فاش میشود: کاغذ به آئینه میخورد و به عقب پرت میشود. حتی اگر کاغذ به میز هم نرسد، در هر صورت وجود آئینه را نشان میدهد، زیرا انعکاس آن در آئینه ظاهر میشود (شکل ۹۸).

شکل ۹۸ — راز سر «بریده».

کافی است در هر یک از فواصل میان پایه‌های میز آئینه‌ای نصب کنند تا فضای زیر میز از دور خالی به نظر بیاید، البته فقط درصورتیکه اثاثیه اطاق و تماشاچیان در آئینه‌ها منعکس نشوند. به این دلیل است که باید اطاق خالی، دیوارهای اطاق کاملا یکسان و کف اطاق یکرنگ و بدون نقش و نگار باشد و تماشاچیان هم بحد کافی از آئینه دور باشند.

راز سر «بریده» بقدری ساده است که آدم خنده‌اش میگیرد، اما تا وقتی بر این راز آگاهی نیافته‌ای، هزاران حدس میزنی و از هیچ چیز سر در نمی‌آوری.

گاهی این شعبده را طوری نمایش میدهند که جالب‌تر بنظر می‌آید. شعبده‌باز ابتدا میزی را که نه روی آن چیزی هست و نه زیرش، نشان میدهد. بعد از پشت پرده جعبه بسته‌ای را می‌آورد که گویا «سر زنده بی‌تن» درآن قرار دارد (اما در حقیقت جعبه خالی است). شعبده‌باز جعبه را روی میز میگذارد و دیواره جلوی آن را باز میکند، و در برابر دیدگان تماشاچیان حیرت زده، سر «بی تنی» که سخن میگوید، نمایان میشود. لابد خواننده حدس زده است که قسمتی از تختهٔ روی میز باز و بسته میشود و روی سوراخی قرار دارد. وقتی شعبده‌باز جعبه خالی بدون ته را روی میز میگذارد،

کسی که زیر میز پشت آئینه‌ها نشسته است، سر خود را از آن سوراخ بیرون می‌آورد. این شعبده را به اشکال دیگر نیز نشان میدهند، اما ما در اینجا از شرح یکایک آن اشکال خودداری میکنیم. خوانندگان ما وقتی آن اشکال را ببینند خودشان به راز آن پی میبرند.

در جلو یا در عقب؟

عده زیادی از مردم بسیاری از وسائل خانه را بطور معقول بکار نمیبرند. قبلا یاد آور شدیم که بعضی اشخاص بلد نیستند از یخ برای سرد کردن آشامیدنی‌ها درست استفاده کنند: بجای آنکه آشامیدنی را زیر یخ بگذارند، روی یخ میگذارند. معلوم میشود برخی اشخاص از آئینه معمولی هم بلد نیستند درست استفاده کنند. اغلب اوقات برای آنکه صورتشان را خوب ببینند، بجای آنکه چراغ را جلوشان بگذارند و صورتشان را روشن کنند، چراغ را پشت سرشان میگذارند تا «عکس خود را در آئینه روشن کنند!» البته شکی نیست که خوانندگان ما پی میبرند، چراغ را جلو خودشان قرار دهند.

آیا میشود آئینه را دید؟

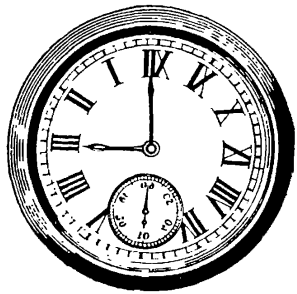
باز هم یک دلیل دیگر که ما در باره آئینه معمولی اطلاعات کافی نداریم. با اینکه همه مردم هر روز به آئینه نگاه میکنند، اکثریت به سؤال «آیا میشود آئینه را دید؟» جواب نادرست میدهند. آنهائی که معتقدند آئینه را میشود دید، اشتباه میکنند. آئینه خوب و پاک دیده نمیشود. میشود قاب آئینه، کناره‌های بی، لحسی - در آن منعکس شده اند، دید، اما خود آئینه‌را، بشرطی که کثیف نشده باشد، میتوان دید. هیچ سطح منعکس کننده، بر خلاف سطح پخش کننده، بخودی خود دیده نمیشود. (سطح پخش کننده به سطحی گفته میشود که اشعهٔ نور را به هر سو پخش میکند. ما در امور عادی به سطح‌های منعکس کننده، سطح صیقلی و به سطح‌های پخش کننده، سطح مات میگوئیم).

همهٔ تردستی‌ها و شعبده‌ها و حقه بازی‌هائی که با استفاده از آئینه انجام میدهند، مثلا همین شعبدهٔ سر «بریده»، بر اساس آن است که خود آئینه دیده نمیشود، بلکه فقط اجسامی که در آن انعکاس می‌یابند، دیده میشوند.

وقتی در آئینه نگاه میکنیم، که را می‌بینیم؟

عده زیادی جواب میدهند: «معلوم است که خودمان‌را می‌بینیم. عکس ما در آئینه دقیقترین کپیه خود ما است و در تمام جزئیات با ما شباهت تام دارد».

اما آیا میل ندارید به این شباهت یقین حاصل کنید؟ گونهٔ راست شما خال دارد، اما گونهٔ راست عکس شما در آئینه بدون خال است و در عوض گونهٔ چپش خال دارد، خالی که در گونه چپ شما نیست. شما موهایتان را به راست خوابانده‌اید، اما او به چپ خوابانده است. ابروی راست شما بالاتر و پرپشت تر از ابروی چپتان است، ابروی راست او، بر عکس، پائین‌تر و کم‌پشت‌تر



شکل ۹۹ — آدم همانند شما که اورا در آئینه می‌بینید، چنین ساعتی دارد.

از ابروی چپ است. شما ساعتتان را در جیب راست جلیقه و دفترچه یادداشتتان را در جیب چپ کتتان میگذارید، اما عکس شما در آئینه عادت دیگری دارد، دفترچه یادداشتش در جیب راست کت و ساعتش درجیب چپ جلیقه‌اش است. به صفحهٔ ساعت او توجه کنید. شما هرگز چنین ساعتی نداشته‌اید. جا و شکل ارقام این ساعت غیر معمولی است. مثلا شکل رقم هشت طوری است که هرگز هشت را به آن شکل (IIX) نمی‌نویسند و در جای رقم دوازده قرار دارد. رقم دوازده که اصلا نیست. بعد از رقم شش رقم پنج است و همینطور تا یک. بعلاوه حرکت عقربه‌های ساعت عکس شما در جهت مخالف حرکت معمولی عقربه‌های ساعت است.

بالاخره عکس شما در آئینه یک نقص جسمانی دارد که تصور میرود شما نداشته باشید. او چپ دست است، با دست چپ می‌نویسد و میدوزد و میخورد، و اگر شما اظهار تمایل کنید که با او دست بدهید دست چپش را به سوی شما دراز میکند.

به دشواری میتوان فهمید که او با سواد است یا نه. در هر صورت با سواد بودنش هم نوع مخصوصی است. تصور نمیرود شما بتوانید حتی یک سطر از کتابی را که او در دست دارد، یا یک کلمه از خط خرچنگ قورباغه‌ای را که با دست چپش می‌نویسد، بخوانید.

کسی که مدعی شباهت تام و تمام با شما میباشد، چنین آدمی است! حالا شما میخواهید از روی او در باره وضع ظاهر خودتان قضاوت کنید...

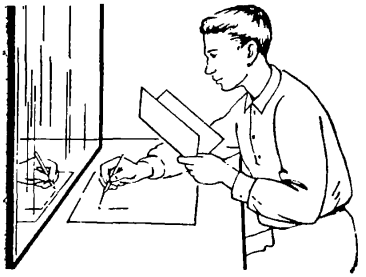
شوخی را کنار بگذاریم. اگر شما گمان می‌برید که وقتی به آئینه نگاه میکنید، خودتان‌را در آئینه می‌بینید، سخت در اشتباهید. صورت و بالاتنه و لباس اکثریت مردم کاملا متقارن نیستند (گرچه ما معمولا به این مسأله توجه نمیکنیم): نیمهٔ راست کاملا عین نیمهٔ چپ نیست. در آئینه تمام خصوصیات نیمهٔ راست به نیمهٔ چپ منتقل میشود و بر عکس، بطوریکه قیافه‌ای در برابر ما ظاهر میشود که اغلب تأثیرش با تأثیر قیافهٔ خود ما بسیار تفاوت دارد.

نقاشی جلو آئینه

آزمایش زیر همانند نبودن عکس توی آئینه را با خود جسم بطور بارزتری نشان میدهد.

یک آئینه را روی میز جلو خودتان بطور قائم بگذارید، جلو آئینه یک صفحه کاغذ بگذارید و بکوشید یک شکل، مثلا مربع مستطیل با قطرهای آن را روی کاغذ بکشید. اما ضمن کشیدن مربع مستطیل به دست خودتان نگاه نکنید، بلکه فقط به حرکات دستی که در آئینه منعکس شده است، نگاه کنید.

آنوقت یقین خواهید کرد که کار ظاهراً به این آسانی، تقریباً غیر قابل اجرا است. طی سال‌های متمادی میان تأثیرات بصری و حواس محرکه ما توافق معینی به وجود آمده ت. آئینه این رابطه را



شکل ۱۰۰ — نقاشی جلو آئینه.

برهم میزند، زیرا سبب میشود که حرکات دست ما بصورت معکوس به چشم برسند. عادت چندین ساله علیه هر حرکت شما اعتراض میکند: شما میخواهید به طرف راست خط بکشید، اما دست به طرف چپ میرود و هیمنطور...

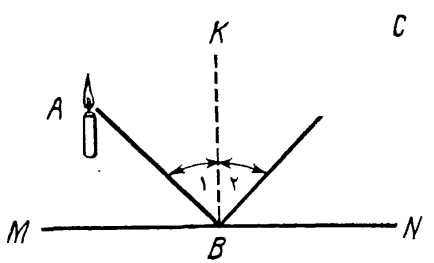
اگر بخواهید جلو آئینه بجای یک شکل هندسی ساده، شکل مرکب‌تری بکشید یا چیزی بنویسید و به خطوط توی آئینه نگاه کنید با پدیده‌های باز هم عجیب‌تری رو برو خواهید شد و در هم برهمی خنده داری خواهید دید.

" خطوطی که روی کاغذ آب خشک‌کن نقش میشوند، نیز مانند خطوط منعکس شده در آئینه، قرینه نوشته اصلی هستند. به خطوط خرچنگ قورباغه‌ای که کاغذ شما را آراسته‌اند، نگاه کنید و بکوشید آنها را بخوانید. شما نمیتوانید یک کلمه، حتی کلمه‌ای را که کاملا خوانا است، بخوانید: حروف بطور غیر عادی به طرف چپ مایل هستند، و مهمتر از همه اینکه به ترتیبی که شما به آن عادت کرده‌اید، پشت سر هم قرار ندارند. اما حالا آئینه را بطور عمودی جلو کاغذ نگاه دارید، آنوقت خواهید دید که همانطور که شما عادت کرده‌اید آنها را ببینید، در آئینه نوشته شده‌اند. در آئینه تصویر متقارن آن چیزی منعکس شده است که خودش تصویر متقارن نوشته معمولی است.

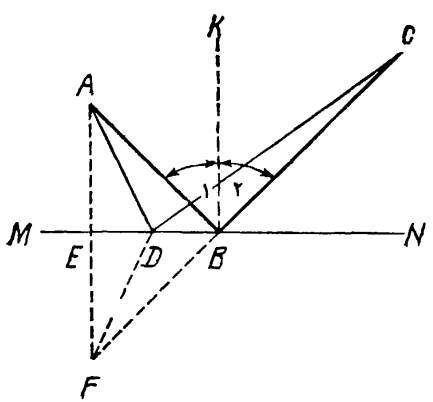
کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه

میدانیم که نور در محیط همگون به خط مستقیم، یعنی از کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه، پخش میشود. اما نور وقتی که از یک نقطه به نقطهٔ دیگر بطور مستقیم نمیرود، بلکه ابتدا در آئینه منعکس میشود و سپس به آن نقطه میرسد، نیز کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه را برمیگزیند.

این راه را مورد بررسی قرار میدهیم: فرض میکنیم که حرف A (شکل ۱۰۱) منبع نور، خط MN آئینه و خط ABC راه شعاع نور از شمع تا چشم C باشد. خط KB بر خط MN عمود است.



شکل ۱۰۱ — زاویه انعکاس (۲) مساوی است با زاویه تابش (۱).



شکل ۱۰۲ — نور هنگام انعکاس کوتاه‌ترین راه را برمیگزیند.

طبق قانون انعکاس زاویهٔ انعکاس (۲) با زاویهٔ تابش (۱) مساوی است. بنا بر این به آسانی میتوان ثابت کرد که راه ABC کوتاه‌ترین راه است از نقطهٔ A به آئینه و از آئینه MN به نقطهٔ C. برای اثبات این مطلب راه ABC را با راه دیگری، مثلا راه ADC (شکل ۱۰۲) مقایسه میکنیم. از نقطه A خط عمود AE بر خط MN را فرود می‌آوریم و آنقدر امتداد میدهیم تا در نقطه F با امتداد شعاع BC متقاطع شود. نقطهٔ F را به نقطهٔ D نیز وصل میکنیم. قبل از هر چیز ثابت میکنیم که مثلث ABE با مثلث EBF مساوی است. این دو مثلث قائم‌الزاویه هستند و یک ضلع مجاور زاویه قائمه، یعنی ضلع EB مشترک است. بعلاوه زاویه EFB و زاویه EAB باهم مساوی هستند، زیرا بترتیب با زاویه (۲) و زاویه (۱) مساوی هستند. پس AE=EF. بنا بر این چون دو ضلع مجاور زاویهٔ قائمهٔ مثلث‌های AED و EDF باهم مساوی هستند، این دو مثلث باهم مساوی هستند. پس AD=DF.

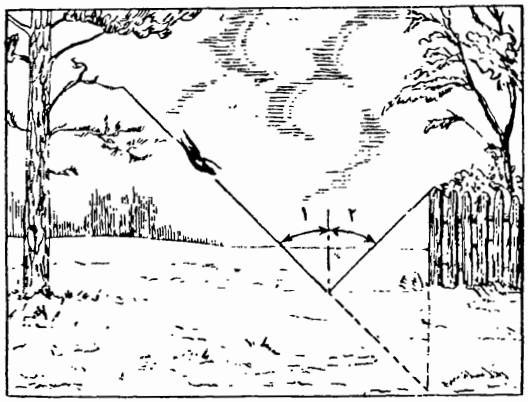
بنا بر آنچه گفته شد، ما میتوانیم بجای راه ABC راه مساوی با آن یعنی CBF را (چون AB=FB) برداریم، و همینطور بجای راه ADC راه CDF را. حالا اگر طول CBF و CDF را باهم مقایسه کنیم، می‌بینیم که خط مستقیم CBF از خط منکسر CDF کوتاه‌تر است. بنا بر این ثابت شد که راه ABC از راه ADC کوتاه‌تر است.

نقطهٔ D در هر جا که باشد، راه ABC همیشه از راه ADC کوتاه‌تر خواهد بود، فقط بشرط آنکه زاویه انعکاس مساوی زاویه تابش باشد. پس، نور واقعاً کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه ممکن میان منبع نور و آئینه و چشم را برمیگزیند. این موضوع را نخستین بار هرون اسکندرونی مکانسین و ریاضی‌دان برجستهٔ یونانی در قرن ۲ میلادی خاطرنشان ساخت.

پرواز کلاغ

توانائی انتخاب کوتاه‌ترین راه در شرایطی نظیر آنچه هم اکنون بررسی کردیم، ممکن است برای حل برخی مسائل بعرنج بکار آید. یکی از این گونه مسأیل مسئله زیر است:

شکل ۱۰۳ — مسأله پرواز کلاغ. کوتاه‌ترین راه تا دیوار را پیدا کنید.



شکل ۱۰۴ — حل مسأله پرواز کلاغ.

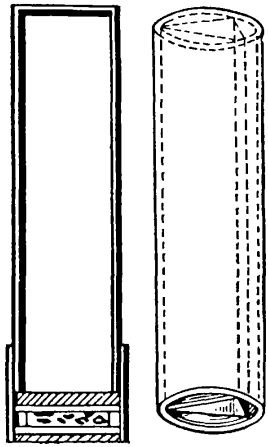
کلاغ روی شاخهٔ درخت نشسته است. در پائین توی حیاط مقداری دانه ریخته است. کلاغ از روی شاخهٔ درخت به پائین میپرد، یک دانه برمیدارد و روی دیوار مقابل می‌نشیند. برای اینکه کوتاه‌ترین راه را پیموده باشد، کجا باید دانه را بردارد؟ (شکل ۱۰۳).

این مسأله عیناً نظیر مسأله‌ای است که ما هم اکنون بررسی کردیم. به این دلیل دادن جواب درست به این سؤال کار دشواری نیست. کلاغ باید از شعاع نور سرمشق بگیرد، یعنی طوری بپرد که زاویه (۱) مساوی زاویه (۲) باشد (شکل ۱۰۴). ما دیدیم که در اینصورت راه کلاغ کوتاه‌ترین راه خواهد بود.

دانستنی‌های تازه و کهنه در باره گل‌نما

همه میدانند اسباب بازی‌ای که گل‌نما نام دارد، چه اسباب بازی خوبی است: یک مشت شیشه‌شکستهٔ رنگارنگ در دو یا سه آئینهٔ مسطح منعکس میشود و اشکال فوق‌العاده زیبائی بوجود می‌آورد و همینکه گل نما را کمی بچرخانیم اشکال عوض میشوند. با اینکه گل نما در میان عموم مردم بحد کافی معلوم و معروف است، عده معدودی میدانند که در گل نما چه تعداد فوق‌العاده زیاد اشکال مختلف بوجود می‌آید. فرض میکنیم که شما گل‌نمائی را که ۲۰ شیشه‌شکسته دارد، به دست گرفته‌اید و هر دقیقه ۱۰ بار میچرخانید تا اشکال تازهٔ انعکاسات شیشه‌شکسته‌ها را تماشا کنید. چقدر وقت برای شما لازم است تا بتوانید همهٔ اشکالی‌را که در گل نما بوجود می‌آید، تماشا کنید؟

خیال‌باف‌ترین آدم جهان نمیتواند به این سؤال جواب درست بدهد. اقیانوس‌ها خشک و کوه‌های عظیم نیست و نابود خواهند شد، اما باز هم نقش و نگارهای بیمانندی که در اسباب بازی کوچک شما نهانند، به پایان نخواهند رسید. تا ابد برای بوجود آمدن همه اشکال ممکنهٔ نقش و نگارها حد



شکل ۱۰۵ — گل‌نما.

اقل .. ۵۰۰ میلیون سال وقت لازم است. بیش از پانصد میلیارد سال باید گل نما را چرخاند تا بتوان همهٔ نقش و نگارهای آن را تماشا کرد!

نقش و نگارهای بی‌نهایت گوناگون و دائماً متغیر گل نما از مدت‌ها پیش نظر نقاشان زینت‌گر را بخود جلب کرده است، زیرا سمند خیالات و تصورات آنها به گرد توانائی آفرینندگی این اسباب کوچک هم نمیرسد. در گل نما گاهی چنان نقش و نگار های زیبای حیرت انگیز بوجود می‌آید که بهترین نمونه برای آرایش و نقش و نگار کاغذ دیواری و پارچه و سایر چیزها می‌باشد.

اما توده‌های وسیع مردم دیگر به گل‌نما آن علاقه‌ای را نشان نمیدهند که صد سال پیش، وقتی این اسباب بازی هنوز تازه اختراع شده بود، به آن نشان میدادند. در آن زمان شعرا و نویسندگان در مدح آن قلم‌فرسائی میکردند.

گل‌نما در سال ۱۸۱۶ در انگلستان اختراع شد و پس از یک سال، یک سال و نیم به روسیه آمد و مورد استقبال گرم و شور انگیز عموم قرار گرفت.

ایزمایلوف افسانه سرای معروف در مجلهٔ «بلاگونامرنی» («نیک اندیش») در ژوئیهٔ سال ۱۸۱۸ راجع به گل نما چنین نوشت:

«همینکه آگهی گل‌نما را خواندم، این افزار بی همتا را به دست آوردم —

چه بیند دیدگانم با نگاهی؟
در این اشکال گوناگون چه اختر
صدف‌ها و زمردها و یاقوت
زبرجدها و لعل و در و گوهر
دو صد الماس و مروارید غلتان
همی بیند همه با هم برابر!
چو دستم‌را دهم کوچک تکانی
به چشمانم فتد صد نقش دیگر.

نه فقط بازبان شعر، بلکه به نثر هم نمیتوان آنچه را در گل‌نما می‌بینی توصیف کرد. با کوچکترین حرکت دست اشکال تغییر میکنند و هیچ یک از آنها به دیگری شباهتی ندارد. چه نقش و نگارهای زیبا که در آن نمی‌بینی! آه چه خوب بود اگر میشد آنهارا روی پارچه گلدوزی کرد! اما چنین ابریشم‌های رنگارنگ درخشان کجا میتوان یافت؟ اینست بهترین سرگرمی هنگام بیکاری و دلتنگی. نقش و نگارهای گل‌نما را تماشا کردن بمراتب بهتر از نشستن و با ورق فال گرفتن است.

میگویند که گل نما در قرن ۱۷ هم بوده است. حالا در انگلستان آن را از نو ساخته و تکمیل کرده‌اند و در حدود دو ماه پیش از آنجا به فرانسه آورده‌اند. یکی از ثروتمندان فرانسه گل نمائی به قیمت ۲۰۰۰۰ فرانک سفارش داد، و دستور داد بجای شیشه‌شکسته و مهره‌های رنگارنگ در آن مروارید و سنگ‌های قیمتی بگذارند».

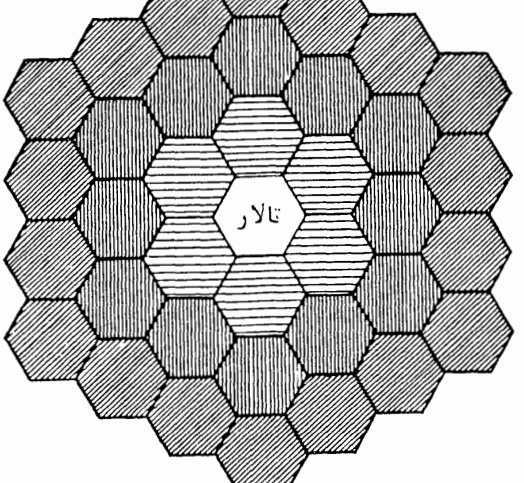
سپس افسانه‌سرا لطیفهٔ خنده‌داری در باره گل‌نما مینویسد و بالاخره با تذکر حزن انگیز زیر که وضع دوران عقب‌ماندگی و ارباب رعیتی را کاملا نشان میدهد، مقالهٔ خویش را به پایان میرساند:

«روسپینی فیزیسین و مکانیسین امپراطوری که با ساختن ابزارهای بصری بسیار عالی معروفیت بسزائی کسب کرده است، گل‌نما میسازد و دانه‌ای ۲۰ روبل میفروشد. بدون شک علاقمندان به گل‌نما بمراتب بیشتر از علاقمندان به سخنرانی‌ها و درسهای فیزیک و شیمی آقای روسپینی میباشند، سخنرانی‌ها و درسهائی که، با نهایت تأسف و تعجب، از آنها هیچ نفع شخصی نصیب ایشان نشده است».

مدت مدیدی گل‌نما فقط یک اسباب بازی جالب بود، فقط در دوران ما برای کشیدن نقش و نگار مورد استفاده قرار گرفته است. اسبابی اختراع کرده‌اند که بوسیله آن میتوان از نقش و نگارهای گل‌نما عکس برداشت و بدین ترتیب بطور مکانیکی نقش و نگارهای گوناگون ابداع کرد.

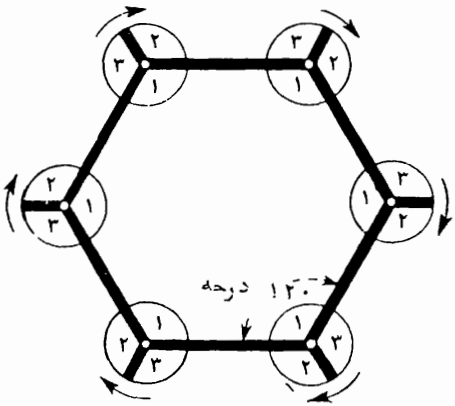
کاخ‌های اوهام و سراب

اگر ما به اندازه یک تکه شیشه‌شکسته کوچک میشدیم و در داخل گل نما قرار میگرفتیم، چه احساس میکردیم؟ وسیله‌ای وجود دارد که میتوان با آن این آزمایش را انجام داد. تماشاچیان نمایشگاه جهانی در پاریس در سال ۱۹۰۰ امکان این آزمایش کم‌نظیر را داشتند. در این نمایشگاه چیزی مانند گل نما، اما غیر متحرک، که «کاخ اوهام» نام داشت مورد استقبال وسیعی قرار گرفته بود. تالار شش‌گوشه‌ای را در نظرتان مجسم کنید که هر دیوار آن یک آئینه عظیم کاملا صیقلی



شکل ۱۰۶ — در نتیجه سه بار انعکاس دیوارهای تالار مرکزی ۳۶ تالار پدید می‌آید.

شکل ۱۰۸ — راز «کاخ سراب»



شکل ۱۰۷

و صاف باشد. در گوشه‌های این کاخ آئینه آرایش‌های معماری از قبیل ستون و گیلویه و غیره ساخته شده و به گچ‌کاری‌های سقف متصل میشود. تماشاچی در داخل چنین تالاری گوئی خود را در میان گروه بیشماری آدم‌های عین خودش و در درون یک سلسله تالار و ستون بی‌پایان می‌یافت. آنها از همه سو اورا احاطه کرده و تا چشم کار میکرد گسترش یافته بودند.

تالارهائی که در شکل ۱۰۶ بطور افقی هاشور زده شده، در نتیجهٔ یک بار انعکاس پدید می‌آیند، در نتیجهٔ دو بار انعکاس ۱۲ تالاری که بطور عمود بر تالارهای اولی هاشور زده شده، پدید می‌آیند و در نتیجهٔ سه بار انعکاس ۱۸ تالار دیگر (با هاشور مایل) بر این تالارها افزوده میشود. با هر انعکاس تعداد تالارها افزایش می‌یابد و تعداد کل آنها بسته به میزان صیقلی و صاف‌بودن آئینه‌ها و دقت توازی دیوارهای روبرو در تالار منشوژی میباشد. تالارهائی که در نتیجه دوازدهمین انعکاس پدید می‌آمدند، عملا تمیز داده میشدند، یعنی افق دید تماشاچی ۴۶۸ تالار را در بر میگرفت.

هر کسی که بر قوانین انعکاس نور آگاهی داشته باشد، دلیل این «معجزه» برایش روشن است، زیرا در اینجا سه جفت آئینهٔ موازی و ده جفت آئینه که نسبت بهم با زاویهٔ معینی نصب شده اند، وجود دارد. به این دلیل تعجب آور نیست که تعداد انعکاسات یک جسم در آنها تا این حد زیاد است.

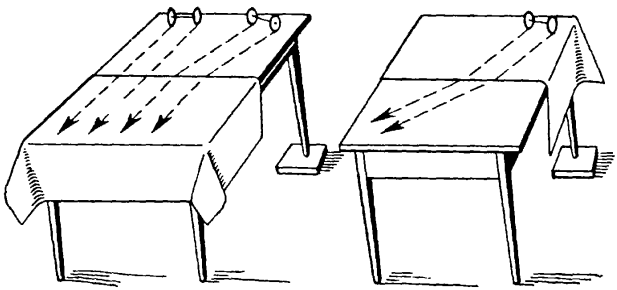
تأثیرات بصری که در کاخ موسوم به «کاخ سراب» در نمایشگاه پاریس حاصل شده بود، از این هم جالب تر است. تشکیل دهندگان این «کاخ» بر تعداد بیشمار انعکاسات، تغییر آنی تمام منظره را نیز افزوده بودند. گوئی گل‌نمای عظیم متحرکی ساخته بودند که تماشاچیان در درون آن قرار میگرفتند.

در این «کاخ سراب» تغییر مناظر به ترتیب زیر صورت میگرفت: دیوارهای آئینه‌ای در فاصلهٔ کمی از کنار آئینه در طول بریده شده بودند و زاویه‌ای که بوجود آمده بود، میتوانست حول محوری بچرخد و به زاویهٔ دیگری تبدیل شود. بطوریکه در شکل ۱۰۷ مشاهده میشود، ممکن بود گوشه‌ها را سه بار مطابق گوشه‌های ۱ و ۲ و ۳ عوض کرد. حالا در نظرتان مجسم کنید که در همهٔ گوشه‌های شمارهٔ ۱ منظرهٔ جنگل مناطق حاره، و در گوشه‌های شمارهٔ ۲ منظره و اثاثیهٔ یک تالار قصرهای عربی، و در گوشه‌های شماره ۳ یک معبد هندی قرار دارد. با یک حرکت مکانیسمی که پنهان بود و گوشه‌ها را میچرخاند، جنگل منطقهٔ حاره به تالار قصر عربی یا معبد هندی تبدیل میشد. تمام اسرار این «ساحری» بر اساس یک پدیدهٔ سادهٔ فیزیکی یعنی انعکاس اشعهٔ نور، بنا شده بود.

چرا و چگونه نور منکسر میشود؟

اینکه اشعهٔ نور هنگام عبور از یک محیط به محیط دیگر منکسر میشوند، به نظر عده‌ای یک بوالهوسی عجیب طبیعت است. ظاهراً مفهوم نیست که چرا نور در محیط جدید سمت اولیهٔ خود را حفظ نمیکند و راه کجی را برمیگزیند. کسانی که اینطور فکر میکنند، لابد راضی خواهند شد اگر بدانند که شعاع نور در واقع همان کاری را میکند که یک ستون سرباز هنگام عبور از زمین مناسب برای راه‌پیمائی به زمین نا مناسب برای راه‌پیمائی میکنند. جون گرشل منجم و فیزیسین مشهور قرن ۱۹ در این باره میگوید:

«یک دسته سرباز را در نظر بگیرید که از زمینی میگذرند که با خط مستقیم به دو منطقه تقسیم شده است، یکی از این دو منطقه صاف و هموار و برای راه‌پیمائی مناسب است، دیگری پست و بلند و ناهموار و نا مناسب، بطوری که در آن نمیتوان با سرعت منطقهٔ اول راه‌پیمائی کرد. بعلاوه فرض میکنیم که زاویهٔ میان صف سربازان و خط مرزی میان دو منطقه طوری است که همهٔ سربازان در یک زمان باهم از مرز نمیگذرند، بلکه یک بیک و یکی پس از دیگری میگذرند. در اینصورت هر سرباز پس از آنکه از مرز گذشت، روی زمینی حرکت میکند که دیگر نمیتواند با سرعت اولیه راه برود. او دیگر نمیتواند نظام خود را با آن قسمت از صف که هنوز در زمین خوب راه میروند، حفظ کند و دقیقه به دقیقه بیشتر از آن عقب خواهد ماند. چون هر سرباز پس از عبور از مرز با همین دشواری در حرکت روبرو خواهد شد، پس اگر سربازان صف را برهم نزنند و پراکنده نشوند و به حرکت در صف ادامه بدهند، تمام آن قسمت صف که از مرز گذشته است، ناگزیر از قسمتی که هنوز نگذشته، عقب میماند و میان این دو قسمت صف در محل تقاطع با مرز، یک زاویهٔ منفرجه بوجود می‌آید. و چون هر سرباز برای آنکه پایش درست باشد و راه را بر دیگران سد نکند، مجبور است با زاویه عمود به صف تازه مستقیماً به جلو برود، بنا بر این راهی که او



شکل ۱۰۹ — آزمایشی که علت انکسار نور را نشان میدهد.

پس از عبور از مرز می‌پیماید، اولا — عمود به صف تازه خواهد بود، ثانیا — نسبت این راه به راهی که در صورت عدم تقلیل سرعت می‌پیمود، مساوی خواهد بود به نسبت سرعت تازه به سرعت اولیه».

شما میتوانید این آزمایش شبیه به انکسار نور را، به مقیاس کوچکتر، روی میزتان انجام دهید و به چشم خود ببینید. روی نصف میز رومیزی پهن کنید (شکل ۱۰۹)، میز را کمی مایل قرار بدهید و دو چرخ کوچک را که محکم به یک محور نصب شده‌اند (مثلا از یک لکوموتیو شکسته یا اسباب بازی دیگر بچه‌ها) روی میز بگذارید تا بغلتند. اگر زاویهٔ میان سمت حرکت چرخ و لبهٔ رومیزی زاویه قائمه باشد، انکسار راه صورت نخواهد گرفت. در اینصورت شما یک قاعدهٔ انکسار نور را به چشم خود می‌بینید: شعاعی که به سطح مقسم دو محیط عمود باشد، منکسر نمیشود. اگر راه چرخ‌ها نسبت به لبهٔ رومیزی مایل باشد، در آنصورت راه در لبهٔ رومیزی، یعنی در مرز دو محیط با سرعت‌های مختلف، منکسر میشود.

مشاهده میشود که هنگام عبور از آن قسمت میز که سرعت بیشتر است (قسمت بدون رومیزی) به آن قسمت که سرعت کمتر است (رومیزی)، سمت راه («شعاع نور») به «خط عمود سقوط» نزدیک میشود و در عکس اینصورت از خط عمود دور میشود.

ضمناً از آنچه گفته شد میتوان قاعدهٔ مهمی را که ماهیت مطلب مورد بحث را نشان میدهد، بدست آورد، و آن قاعده اینکه: انکسار فقط در موردی صورت میگیرد که سرعت در دو محیط متفاوت باشد، و هر چه تفاوت سرعت بیشتر باشد، میزان انکسار به همان نسبت بیشتر خواهد بود. آنچه «ضریب انکسار» نامیده میشود و میزان انکسار شعاع نور را معین میکند، چیزی نیست جز نسبت این دو سرعت. وقتی میخوانید که ضریب انکسار نور هنگام عبور از هوا به آب $\frac{۴}{۳}$ است، در عین حال میفهمید که سرعت حرکت نور در هوا تقریباً ۱/۳ برابر سرعت نور در آب است.

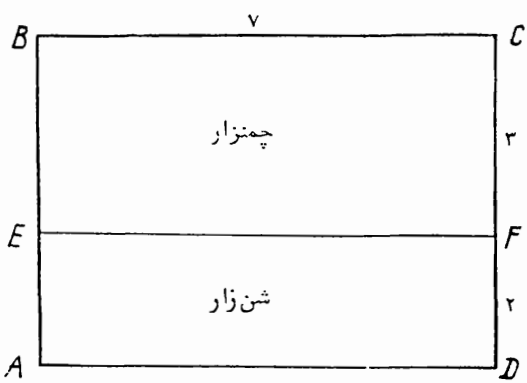
از اینجا یک خصوصیت آموزنده دیگر پخش نور نیز حاصل میشود. در حالیکه شعاع نور هنگام انعکاس از نزدیک‌ترین راه میرود، هنگام انکسار از سریع‌ترین راه میگذرد: شعاع نور از هیچ راه دیگری زودتر از این راه منکسر شده به «مقصد» نمیرسد.

چه وقت راه دراز زودتر از راه کوتاه پیموده میشود؟

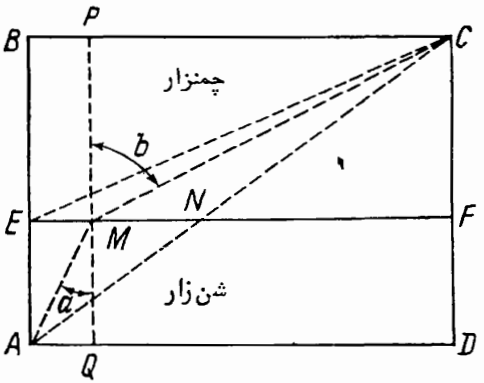
اما آیا واقعاً میتوان از راه سنکسر زودتر از راه مستقیم به مقصد رسید؟ بله، وقتی سرعت حرکت در قسمت‌های مختلف راه متفاوت است، از راه سنکسر زودتر میتوان به مقصد رسید. ببینیم اهالی دهی که میان دو ایستگاه راه‌آهن واقع است و به یکی از ایستگاهها خیلی نزدیک میباشد، چه میکنند. آنها برای اینکه زودتر به ایستگاه دور برسند، اول با اسب در جهت عکس به ایستگاه نزدیک میروند، آنجا سوار قطار میشوند و به ایستگاه دور میروند. مسلم است که اگر آنها با اسب مستقیماً به ایستگاه دور میرفتند، راهشان کوتاه‌تر بود، اما ترجیح میدهند که راه دراز را با اسب و با قطار بروند، زیرا از آن راه زودتر به مقصد میرسند.

حالا چند دقیقه‌ای صرف بررسی یک مثال دیگر میکنیم. سرباز سواره‌نظام باید برای دادن گزارش به فرمانده از نقطه A به چادر فرمانده در نقطه C برود (شکل ۱۱۰). فاصله میان سرباز و چادر از یک منطقه شن‌زار و یک منطقه چمنزار تشکیل یافته و خط مستقیم EF مرز میان این دو منطقه است. سرعت حرکت اسب در شن‌زار دو بار کمتر از سرعت در چمنزار است. سرباز سواره‌نظام از چه راهی باید برود تا در اسرع وقت به چادر برسد؟

در نظر اول تصور میرود که سریع‌ترین راه خط مستقیمی است که از نقطه A به نقطه C کشیده شود. اما این اشتباه محض است و من گمان نمیکنم سواره‌نظامی پیدا شود که این راه را برگزیند. حرکت آهسته در شن‌زار او را به این فکر صحیح می‌اندازد که منطقهٔ شن‌زار را از راهی برود که کمتر کج و در نتیجه کوتاه‌تر باشد. البته در اینصورت قسمت دوم راه که از چمنزار میگذرد درازتر خواهد بود، اما از آنجا که در چمنزار دوبار سریع‌تر میتوان حرکت کرد، دراز شدن راه بیش از وقتی که صرفه‌جوئی کرده است، نخواهد شد و در نتیجهٔ کلی تمام راه را در مدت زمان کمتری خواهد پیمود. بعبارت دیگر، راه سرباز سواره‌نظام باید در مرز دو منطقه منکسر شود، ضمناً طوری که زاویه راه از چمنزار و خط عمود بر خط مرزی دو منطقه از زاویه راه شن‌زار با این عمود بزرگتر باشد.



شکل ۱۱۰ — مسأله سرباز سواره نظام. سریع‌ترین راه از A به C را پیدا کنید.



شکل ۱۱۱ — حل مسأله سرباز سواره نظام. سریع‌ترین راه، راه AMC میباشد.

آنهائی که هندسه، و در این مورد معین قضیهٔ فیثاغورث را میدانند، میتوانند حساب کنند که راه مستقیم AC واقعاً هم سریع‌ترین راه نیست، و با اندازه‌های عرض دو منطقه و مسافت‌هائی که ما در نظر داریم، اگر مثلاً از راه منکسر AEC (شکل ۱۱۱) برویم زودتر به مقصد میرسیم.

در شکل ۱۱۰ نشان داده شده است که عرض منطقه شن‌زار ۲ کیلومتر، عرض منطقه چمنزار ۳ کیلومتر و فاصله BC برابر ۷ کیلومتر است. بنا بر این طبق قضیهٔ فیثاغورث تمام طول AC (شکل ۱۱۱) میشود:

$$\sqrt{۵^۲+۷^۲}=\sqrt{۷۴}=۸/۶۰ \quad \text{کیلومتر}$$

به آسانی میتوان فهمید که قسمت AN، یعنی راه شن‌زار، از این مسافت $\frac{۲}{۵}$ تمام مسافت یعنی ۳/۴۴ کیلومتر است. از آنجا که حرکت در شن‌زار دو بار کندتر از حرکت در چمنزار صورت میگیرد، پس ۳/۴۴ کیلومتر راه شن‌زار، از لحاظ زمان لازم برای پیمودن آن، مساوی ۶/۸۸ کیلومتر راه چمنزار است. بنا بر این تمام راه مختلط خط مستقیم AC که ۸/۶۰ کیلومتر میباشد، معادل است با ۱۲/۰۴ کیلومتر راه چمنزار.

حالا همین حساب تبدیل تمام راه را به راه از چمنزار برای خط منکسر AEC انجام میدهیم. قسمت AE مساوی ۲ کیلومتر و از لحاظ زمان معادل ۴ کیلومتر راه از چمنزار میباشد. قسمت دیگر، یعنی EC، مساوی است به:

$$EC=\sqrt{۳^۲+۷^۲}=\sqrt{۵۸}=۷/۶۱ \quad \text{کیلومتر}$$

پس تمام راه منکسر AEC مساوی است به:

$$۴+۷/۶۱=۱۱/۶۱ \quad \text{کیلومتر}$$

بنا براین، راه مستقیم «کوتاه» معادل ۱۲/۰٤ کیلومتر حرکت درچمنزار و راه منکسر «دراز» معادل ۱۱/٦۱ کیلومتر حرکت در همان زمین میباشد. بطوری که مشاهده میکنید، حرکت از راه «دراز» به اندازه ۰/٤۳=۱۱/٦۱ — ۱۲/۰٤، یعنی تقریباً نیم کیلومتر صرفه دارد.

اما ما هنوز سریع‌ترین راه را نشان نداده‌ایم. برای پیدا کردن سریع‌ترین راه باید دست به دامن مثلثات شد. بطوری که تئوری می‌آموزد، نزدیک‌ترین راه راهی است که نسبت سینوس زاویه b به سینوس زاویه a مساوی باشد با نسبت سرعت حرکت در چمنزار به سرعت حرکت در شن‌زار، یعنی $\frac{۲}{۱}$ بعبارت دیگر، باید راهی را برگزید که سینوس b دو برابر سینوس a باشد. برای رسیدن به این مقصود باید از نقطهٔ M که‌در یک کیلومتری نقطه E واقع است، ازمرزمیان دو منطقه بگذریم. آنوقت واقعاً

$$\sin a = \frac{۱}{\sqrt{۱+۲^۲}} \quad , \quad \sin b = \frac{٦}{\sqrt{۳^۲+٦^۲}}$$

و نسبت

$$\frac{\sin b}{\sin a} = \frac{٦}{\sqrt{٤٥}} : \frac{۱}{\sqrt{٥}} = \frac{٦}{۳\sqrt{٥}} : \frac{۱}{\sqrt{٥}} = ۲$$

یعنی درست مساوی نسبت دو سرعت خواهد بود.

حالا ببینیم در این مورد طول کلی راه به حساب راه در چمنزار چند کیلومتر خواهد شد. حساب میکنیم: $AM = \sqrt{۲^۲+۱۲}$ که معادل است با ٤/٤۷ کیلومتر راه در چمنزار.

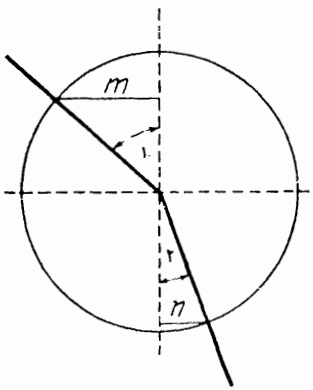
$$MC = \sqrt{٤٥} = ٦/۷۱ \quad \text{کیلومتر}$$

طول تمام راه مساوی است به: ۱۱/۱۸=٦/۷۱+٤/٤۷ کیلومتر

یعنی ۸٦۰ متر کوتاه‌تر از راه مستقیم که میدانیم معادل ۱۲,۰٤ کیلومتر است.

ملاحظه میکنید که در اینگونه شرایط راههای منکسر چقدر باصرفه است. شعاع نور هم درست همین سریع‌ترین راه را برمیگزیند، زیرا قانون انکسار نور با حل ریاضی مسأله دقیقاً مطابقت دارد: نسبت سینوس زاویه انکسار به سینوس زاویه تابش مساوی است با نسبت سرعت در محیط جدید به سرعت در محیط اولیه. از طرف دیگر، این نسبت مساوی است به ضریب انکسار نور در دو محیط مربوطه.

اگر خصوصیات انعکاس و انکسار نور را در یک قانون گرد بیاوریم، میتوانیم بگوئیم که شعاع نور در کلیهٔ موارد از سریع‌ترین راه عبور میکند، یعنی تابع قانونی است که در فیزیک به



شکل ۱۱۲ — سینوس چیست؟ نسبت m به شعاع دایره سینوس زاویه(۱) و نسبت n به شعاع دایره سینوس زاویه (۲) میباشد.

«اصل سریع‌ترین راه» (اصل فرما) معروف است. چنانچه محیط ناهمگون باشد و قابلیت منکسر کردن آن بتدریج تغییر کند، مثلا جو کره زمین، در این مورد هم نور از سریع‌ترین راه میگذرد. علت کج شدن جزئی اشعهٔ ستارگان که در اصطلاح منجمین «انکسار جوی» نامیده میشود، نیز همین است. هوای دور کرهٔ زمین هر چه به زمین نزدیکتر باشد، متراکم‌تر است و شعاع نور در آن بتدریج منکسر میشود، بطوری که طرف مقعر آن رو به زمین است. در اینصورت شعاع نور در طبقات بالائی جو که کمتر از سرعت آن میکاهند، مدت زیادتری، و در طبقات پائینی که بیشتر از سرعت آن میکاهند، مدت کم‌تری میماند و در نتیجه از این راه زودتر به مقصد میرسد تا از راهی که خط کاملا مستقیم باشد.

اصل سریع‌ترین راه (اصل فرما) تنها در مورد پدیده‌های نوری صدق نمیکند، بلکه صوت و بطور کلی همه حرکت‌های موجی شکل، بدون بستگی به طبیعت امواج، کاملا تابع این اصل هستند.

بدون شک، خوانندگان مایلند بدانند علت این خصوصیت حرکت‌های موجی شکل چیست. نظریات* شردینگر فیزیسین برجسته معاصر را که به این پدیده مربوط است، نقل میکنم. شردینگر بر اساس مثال دستهٔ سربازی که در زمین ناهمگون حرکت میکند و ما آن را بررسی کردیم، حرکت شعاع نور را در موردی که تراکم محیط بتدریج تغییر میکند، در نظر میگیرد و مینویسد:

«فرض میکنیم برای آنکه نظام صف کاملا حفظ شود، سربازان بوسیله نیزه بلندی که هر یک از آنها آن را محکم گرفته است، به یکدیگر وصل شده‌اند. به سربازان فرمان میدهند که همه با حد اکثر سرعت ممکنه بدوند. اگر وضع زمین نقطه به نقطه بتدریج تغییر کند، در آنصورت، مثلا، ابتدا جناح راست صف و سپس جناح چپ صف سریع‌تر حرکت خواهد کرد و گردش صف خود بخود صورت خواهد گرفت. ضمناً مشاهده خواهیم کرد که راهی‌را که سربازان پیموده‌اند نه خط مستقیم، بلکه منحنی است. اینکه این راه، با وضع مشخص زمین، از لحاظ زمان کوتاه‌ترین راه میباشد، بحد کافی روشن است، زیرا هر سرباز کوشیده است هر چه ممکن است سریع‌تر حرکت کند».

رابینسون‌های تازه

بدون شک میدانید که قهرمانان رمان ژول ورن «جزیره اسرارآمیز» که به سرزمین غیر مسکونی افتاده بودند، بدون کبریت و چخماق آتش تهیه کردند. به رابینسون برقی که درخت را آتش زد، کمک کرد، اما به رابینسون‌های ژول ورن نه تصادف، بلکه استعداد اختراع و حاضرذهنی مهندس و اطلاعات دقیق وی از قوانین فیزیک، کمک کرد. بیاد دارید که وقتی پنکروف ملوان ساده‌لوح از شکار برگشت و مهندس و روزنامه‌نگار را جلو خرمن آتشی که زبانه میکشید دید، چقدر متعجب شد و پرسید:

«— آخر این آتش را که روشن کرده است؟

اسپیلت جواب داد:

— خورشید.

---

*این نظریات را شردینگر در سخنرانی خود در استکهلم هنگام دریافت جایزه نوبل (در سال ۱۹۳۳) اظهار داشت.

روزنامه‌نگار شوخی نمیکرد. واقعاً آتشی را که موجب آنهمه وجد و شعف ملوان گردیده بود، خورشید روشن کرده بود. ملوان آنچه را به چشم خود میدید، باور نمیکرد و چنان حیران شده بود که حتی نمیتوانست آنطور که باید و شاید از مهندس توضیح بخواهد. هربرت پرسید:

— پس ذره‌بین داشتید؟

مهندس جواب داد:

— نه، اما ذره‌بین درست کردم.

و ذره‌بین را نشان داد. این ذره‌بین از دو شیشه تشکیل شده بود که مهندس از ساعت خودش و ساعت اسپیلت در آورده، لبه‌های آنها را با گل به یکدیگر چسبانده و فضای میان آن را پر آب کرده بود. بدین ترتیب یک عدسی واقعی درست شده بود که مهندس بوسیله آن اشعهٔ خورشید را روی خزه خشک متمرکز ساخته و آتش تهیه کرده بود.»

گمان میکنم خوانندگان مایل باشند بدانند که چرا باید فضای میان دو شیشهٔ ساعت را از آب پر کرد، مگر عدسی محدب‌الطرفینی که توی آن پر از هوا باشد، اشعه را متمرکز نمیکند؟

خیر، متمرکز نمیکند. شیشهٔ ساعت به دو سطح موازی (متحدالمرکز) — سطح خارجی و سطح داخلی — محدود میشود. طبق قوانین فیزیک معلوم است که اشعهٔ نور وقتی از محیطی که به اینگونه سطوح محدود باشد بگذرند، سمت آنها تقریباً تغییر نمیکند. و سپس وقتی از شیشهٔ دوم نظیر شیشه اول بگذرند، باز هم سمت آنها تغییر نمیکند و در نتیجه اشعه در کانون عدسی متمرکز نمیشوند. برای آنکه اشعه در یک نقطه متمرکز بشوند، باید فضای میان دو شیشه را از جسم شفافی پر کرد که اشعهٔ نور را بیش از هوا منکسر کند. در رمان ژول ورن مهندس همین کار را کرد.

یک تنگ پر آب هم اگر کروی شکل باشد، میتوان از آن مانند ذره‌بین برای روشن کردن آتش استفاده کرد. این پدیده را در دوران قدیم نیز میدانستند و بعلاوه دیده بودند که خود آب در این مورد گرم نمیشود. حتی گاهی اتفاق افتاده است که تنگ پر آبی که جلو پنجره باز قرار داشته، پرده یا رومیزی را سوزانده و میز را سیاه و زغال کرده است. بسری‌های بزرگ پر از آب رنگینی که سابقاً برای زینت پشت ویترین دواخانه‌ها میگذاشتند، گاهی سبب آتش گرفتن مواد سریع‌الاحتراق اطراف خود میشدند و سانحه‌های واقعی بوجود میآوردند.

با یک قرع نسبتاً کوچک پر از آب میتوان آبی را که روی شعله نگه داشته باشیم، جوش آورد. برای این کار کافی است که قطر قرع حدود ۱۲ سانتیمتر باشد. اگر قطر قرع ۱۵ سانتیمتر باشد، در کانون* آن حرارت به ۲۰ درجه میرسد. آتش زدن سیگار با قرع پر از آب همانقدر آسان است که آتش زدن سیگار با ذره‌بین. نور نوسوف در شعری که بنام «فایدهٔ شیشه» سروده است، در بارهٔ ذره‌بین میگوید:

پرتو خورشید را با سینهٔ صاف آورم
از پرومت گرچه تقلید است، اما با گناه
ز آسمان آتش به دست آرم و زان سیگار خویش
شعله‌ور سازم انسان، بی خیال و بی ندا

---

*در اینصورت کانون قرع بسیار به قرع نزدیک است.

یاوه گویان و ریاکاران بد کردار را
بی محابا پرده برداریم از روی سیاه.

اما باید یادآور شد که قدرت احتراق عدسی‌های آبی بمراتب از قدرت احتراق عدسی‌های شیشه‌ای کمتر است. علت این امر آنستکه: اولا — انکسار نور در آب بمراتب از انکسار نور در شیشه کمتر است، ثانیاً — آب بمیزان زیادی اشعه مادون قرمز را که در گرم کردن اجسام نقش بزرگی دارند، به خود جذب میکند.

جالب استکه یونانیان باستان بیش از هزار سال قبل از اختراع عینک و دوربین از قدرت احتراق عدسی‌های شیشه‌ای آگاهی داشتند. آریستوفان در کمدی معروف «ابرها» به این مسأله اشاره میکند. سقراط به استرپ‌تی‌آد یک مسأله میدهد:

«اگر کسی برای تو التزام‌نامه‌ای به مبلغ پنج تالانت* می‌نوشت، تو آن التزام‌نامه را چطور نابود میکردی؟

استرپ‌تی‌آد — من وسیله نابود کردن التزام‌نامه را پیدا کرده‌ام، ضمناً چنان وسیله‌ای که خود تو هم آن را محیلانه‌ترین وسیله میشماری! البته در دواخانه‌ها سنگ بی‌نظیر و شفافی را که با آن آتش روشن میکنند، دیده‌ای؟

سقراط — عدسی؟

استرپ‌تی‌آد — کاملا درست است.

سقراط — خوب، بعد چی؟

استرپ‌تی‌آد — وقتی محضردار مشغول نوشتن است، پشت سرش می‌ایستم و اشعهٔ خورشید را روی التزام‌نامه می‌اندازم و همهٔ کلمات را ذوب میکنم...»

برای روشن شدن مطلب یادآوری میکنیم که یونانیان دوران آریستوفان روی لوحه‌های موم‌اندودی مینوشتند که در اثر حرارت به آسانی ذوب میشد.

چطور میشود با یخ آتش روشن کرد؟

از یخ هم، اگر بحد کافی شفاف باشد، میتوان عدسی محدب الطرفین ساخت و با آن آتش روشن کرد. ضمناً یخ که در اینصورت اشعه را منکسر میکند، خودش گرم نمیگردد و آب نمیشود. ضریب انکسار یخ فقط قدری کمتر از ضریب انکسار آب است و بطوری که میدانیم، بوسیله کره شیشه‌ای پر از آب میتوان آتش روشن کرد، پس بوسیله عدسی یخی نیز میتوان این کار را انجام داد.

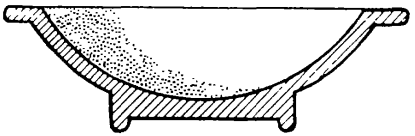
در رمان ژول ورن «مسافرت کاپیتان گاتراس» عدسی یخی خدمت بزرگی انجام داد. وقتی مسافران در سرمای وحشتناک ۴۸ درجه بدون آتش ماندند و چخماق را هم گم کرده بودند، دکتر کلوئوبونی همانا به این وسیله آتش روشن کرد.

«گاتراس به دکتر گفت:

---

*تالانت (talent) واحد وزن ویول در یونان قدیم (مترجم).

— این بدبختی است.
دکتر جواب داد: بله.
— ما حتی دوربین هم نداریم که عدسی آن را در بیاوریم و آتش روشن کنیم.
دکتر گفت:
— میدانم و بسیار متأسفم که دوربین نداریم. اشعهٔ خورشید بقدر کافی قوی هستند که بتوانند فتیله آتش‌زنه را روشن کنند.
گاتراس گفت:
— چه میتوان کرد، مجبوریم با گوشت نپخته خرس رفع گرسنگی بکنیم.
دکتر به فکر فرو رفت و گفت:
— بله، حالا که دستمان از همه جا کوتاه شده... اما چرا ما...
گاتراس با کنجکاوی پرسید:
— به چه فکری افتاده اید؟
— یک فکری به مغزم رسیده است که...
ناواستوار ندا بر آورد:
— فکر! اگر فکری به مغز شما رسیده است. پس ما نجات یافته‌ایم!
دکتر با شک و تردید گفت:
— اما نمیدانم موفق میشوم یا نه.
گاتراس پرسید:
— چه نقشه‌ای کشیده‌اید؟
— ما عدسی نداریم، اما میتوانیم بسازیم.
ناواستوار پرسید: «چطور»؟
— یک تکه یخ را صاف میکنیم و از آن عدسی میسازیم.
— واقعاً شما گمان میکنید که...
— چرا گمان نکنم؟ آخر فقط لازم است که اشعه خورشید در یک نقطه گرد بیایند، و برای این منظور میتوانیم از یخ مثل بهترین بلور استفاده کنیم. اما اگر یک تکه یخ آب شیرین باشد بهتر است، چون یخ آب شیرین محکم‌تر و شفاف‌تر است.
ناواستوار قطعه یخ بزرگی را که در صد قدمی مسافران بود نشان داد و گفت:
— اگر اشتباه نکنم این قطعه یخ، بطوریکه از رنگش معلوم میشود، درست همان چیزی است که برای ما لازم است.
— حق با شماست. تبرتان را بردارید، ببینم. برویم، دوستان عزیز!
هر سه نفر به طرف قطعه یخ راه افتادند. معلوم شد که یخ واقعاً یخ آب شیرین است.
دکتر دستور داد از قطعه یخ یک تکه به قطر یک پا بشکنند و خودش با تبر و بعد با کارد آن را صاف کرد و بالاخره با دست آن‌را صیقل داد. عدسی شفافی که گوئی از بهترین بلور ساخته شده بود، از آب درآمد. نور خورشید بحد کافی زیاد بود: دکتر عدسی را زیر اشعه خورشید نگاه داشت و اشعه را روی فتیله آتش‌زنه متمرکز کرد. پس از چند ثانیه فتیله آتش



شکل ۱۱۴ — جام برای ساختن عدسی یخی.

شکل ۱۱۳ — «دکتر اشعه خورشید را روی فتیله آتش‌زنه متمرکز کرد».

آنچه ژول ورن در این حکایت [illegible] است زیاد فانتاستیک نیست. آزمایش آتش زدن چوب بوسیله عدسی یخی را برای نخستین بار در سال ۱۷۶۳ در انگلستان با یک عدسی فوق‌العاده بزرگ با موفقیت انجام دادند و پس از آن نیز بارها این آزمایش با موفقیت تمام انجام شده است. البته ساختن عدسی یخی شفاف با ابزارهائی مانند تبر و کارد و «دست خالی» کار دشواری است، آنهم در سرمای ۴۸ درجه! اما عدسی یخی را میتوان بوسیله ساده‌تری تهیه کرد: باید آب را در ظرفی که شکل لازم را داشته باشد، ریخت و گذاشت تا یخ ببندد، بعد ظرف را کمی گرم کرد و عدسی یخی حاضر و آماده را از آن بیرون آورد.

اگر خواستید چنین بکنید، بیاد داشته باشید که فقط در روز یخ‌بندان بدون ابر و مه و در هوای آزاد میتوان آن را با موفقیت انجام داد، نه در اطاق و پشت شیشهٔ پنجره، زیرا شیشه قسمت زیادی از انرژی اشعهٔ خورشید را جذب میکند و آنچه باقی میماند برای تولید حرارت زیاد کافی نیست.

به کمک اشعهٔ خورشید

یک آزمایش دیگر هم که در زمستان به آسانی میتوان آن را انجام داد، بکنید. روی برفی که اشعه خورشید به آن میتابد، دو [illegible] پارچهٔ مساوی — یکی به رنگ روشن و دیگری سیاه — بگذارید. پس از یکی دو ساعت می‌بینید که پارچهٔ سیاه توی برف فرو رفته، در حالیکه پارچهٔ سفید همان جائی که بوده، مانده است. پی بردن به این تفاوت کار دشواری نیست: برف زیر پارچهٔ سیاه بیشتر آب میشود، زیرا پارچهٔ سیاه قسمت اعظم اشعهٔ خورشید را که به آن میتابد، جذب میکند،

پارچهٔ سفید، بر عکس، قسمت اعظم اشعه را منعکس و پخش میکند و به این دلیل کمتر از پارچهٔ سیاه گرم میشود.

این آزمایش آموزنده را برای نخستین بار بینامین فرانکلین مبا ز شهیر راه استقلال ایالات متحده امریکا و کسی که با اختراع برق‌گیر خود را بعنوان یک فیزیسین جاویدان ساخت، انجام داده است. خودش مینویسد: «من از خیاط چند تکه ماهوت به رنگ‌های مختلف گرفتم. این پارچه‌ها سیاه، سورمه‌ای، آبی آسمانی، سبز، ارغوانی، سرخ، سفید و به رنگ‌های مختلف دیگر بودند. صبح یک روز آفتابی همهٔ این تکه‌های پارچه را روی برف گذاشتم. پس از چند ساعت تکهٔ پارچهٔ سیاه که بیش از سایرین گرم شده بود بقدری توی برف فرو رفته بود که دیگر اشعهٔ خورشید به آن نمیرسید. پارچهٔ سورمه‌ای نیز تقریباً به اندازه پارچهٔ سیاه، اما پارچهٔ آبی آسمانی بمراتب کمتر از آنها فرو رفته بود. سایر پارچه‌ها به همان نسبت که روشن‌تر بودند، کمتر فرو رفته بودند. پارچهٔ سفید روی برف مانده بود، یعنی اصلا فرو نرفته بود».

بنیامین فرانکلین میپرسد: «اگر از تئوری هیچ سودی نمیتوان حاصل کرد، پس این تئوری به چه درد میخورد؟» و ادامه میدهد: «مگر ما نمیتوانیم از این آزمایش نتیجه بگیریم که در مناطق گرمسیر و آفتابی لباس سفید از لباس سیاه مناسب‌تر است، زیرا لباس سیاه توی آفتاب بدن مارا بیشتر گرم میکند و اگر در این وضع حرکت هم بکنیم، که خود آن حرکت نیز در بدن ما تولید حرارت میکند، حرارت بیش از حد بوجود می‌آید؟ مگر کلاههای تابستانی مردانه و زنانه نباید سفید باشندتا حرارتی را که باعث آفتاب زدگی در برخی میشود، بر طرف کنند؟... علاوه براین، مگر دیوارهای سیاه نمیتوانند در طی روز آنقدر حرارت آفتاب را جذب کنند که شب تا حدودی گرم بمانند و میوه‌ها را از سرما حفظ کنند؟ مگر ممکن نیست که یک ناظر تیزبین با مسائل کم و بیش مهم دیگر از این نوع برخورد کند؟»

واقعه کشتی هائوس که در سال ۱۹۰۳ یک هیأت علمی آلمانی با آن به قطب جنوب رفته بودند، نشان میدهد که از این پدیده چه نتایج سودمندی میتوان گرفت و چگونه میتوان آن را به کار برد. کشتی در یخ گیر کرده بود و کلیهٔ وسائل معمولی بیرون آوردن کشتی‌ها از میان یخ بی نتیجه مانده بود. با مواد منفجره و اره‌های یخ بری توانستند فقط چند صد متر مکعب یخ را بکنند، اما نتوانستند کشتی را در بیاورند. آنوقت به اشعه خورشید متوسل شدند: میان کشتی و نزدیکترین شکاف برزگی که در یخ بود، با خاکستر تیره رنگ و زغال راهی به طول دو کیلومتر و به عرض ده متر کشیدند. روزهای بلند و آفتابی تابستان قطبی بود و اشعهٔ خورشید کاری را که مواد منفجره و اره‌های یخ بری قادر به انجام آن نبودند، انجام دادند. در تمام طول این راهی که کشیده بودند، یخ آب شد و شکست و کشتی از اسارت یخ رهائی یافت.

دانستنی‌های کهنه و نو در باره سراب

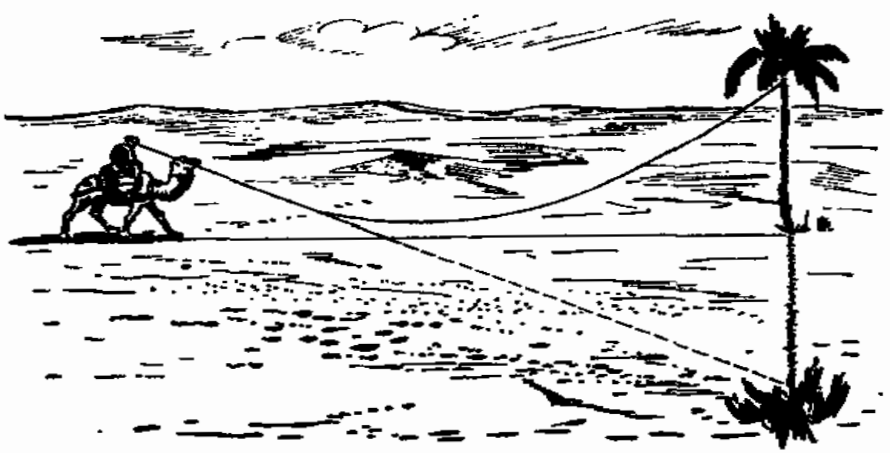
لابد همه میدانند که علت فیزیکی سراب معمولی چیست. شن صحرا در پرتو آفتاب سوزان داغ میشود و خصوصیت آئینه پیدا میکند، زیرا تراکم طبقهٔ هوای مجاور شن از تراکم طبقات هوای بالای آن کمتر است. شعاع مایل نور از جسمی که در فاصلهٔ زیادی واقع است، وقتی به این طبقهٔ هوا میرسد، راه خود را در آن طوری کج میکند که پس از آن از زمین دور میشود و طوری به چشم

آدم میتابد که گوئی با زاویه تابش بسیار بزرگی در آئینه منعکس شده است و آدم تصور میکند که در صحرا سطح آئینه مانند آبی را می‌بیند که اجسام نزدیک ساحل در آن منعکس شده‌اند (شکل ۱۱۰).

اما صحیح‌تر است اگر بگوئیم که طبقهٔ هوای گرم نزدیک شن داغ اشعه را مانند آئینه منعکس نمیکند، بلکه مانند سطح آبی منعکس میکند که از زیر آب به آن نگاه کنند. در اینجا انعکاس ساده صورت نمیگیرد، بلکه انعکاسی صورت میگیرد که در فیزیک «انعکاس داخلی» نامیده میشود. برای این کار باید شعاع نور با زاویهٔ بسیار کوچکی، با زاویه‌ای بمراتب کوچکتر از آنچه در شکل ۱۱۰ بطور ساده نشان داده شده است، داخل طبقهٔ هوا بشود. در غیر اینصورت زاویهٔ تابش شعاع از «زاویهٔ حد» (کوچکترین زاویه تابش) نخواهد گذشت، و بدون آن انعکاس داخلی صورت نمیگیرد.

ضمناً قسمتی از این تئوری را که ممکن است باعث سوء تفاهم بشود، توضیح میدهیم. برای آنکه پدیده به صورتی که در بالا توضیح داده شد صورت بگیرد، باید طبقاتی از هوا که تراکم آنها بیشتر است بالای طبقاتی که تراکم آنها کمتر است واقع شوند. اما ما میدانیم که هوای متراکم سنگین همیشه پائین می‌آید و بر هوای سبکی که در زیر آن است فشار می‌آورد و جای آن را میگیرد. پس چگونه ممکن است طبقات متراکم و رقیق هوا طوری روی یکدیگر قرار بگیرند که برای پیدایش سراب لازم است؟

کلید حل این معما در آنستکه طبقات هوائی که بطور لازم برای پیدایش سراب روی یکدیگر قرار گرفته‌اند، از هوای ساکن تشکیل نشده‌اند، بلکه از هوائی تشکیل شده‌اند که در حال حرکت میباشد. طبقهٔ هوائی که بوسیلهٔ شن گرم میشود روی زمین باقی نمیماند، بلکه بطور مداوم بالا میرود و طبقهٔ هوای دیگری که جای آن را میگیرد، فوراً گرم میشود. این تغییر مداوم سبب میشود که همیشه یک طبقه هوای رقیق در مجاورت شن داغ قرار داشته باشد، البته در هر لحظه هوا آن هوای لحظه پیش نیست، اما این امر برای سمت حرکت اشعه تفاوتی ندارد.



شکل ۱۱۰ — چگونه در صحرا سراب پدید می‌آید. این شکل که معمولا در کتاب‌های درسی چاپ میشود، راه شعاع نور مایل به طرف زمین را با شیب به مراتب بیشتری نشان میدهد.

شکل ۱۱۶ — سراب در جاده قیرریزی شده.

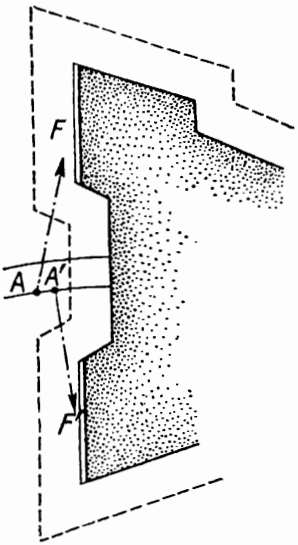
این نوع سراب که مورد بررسی ما است، از دوران بسیار قدیم معلوم بوده است. در هواشناسی معاصر این نوع سراب را سراب «پائینی» مینامند (سراب دیگری که در نتیجهٔ انعکاس اشعهٔ نور در طبقات هوای رقیق قسمت‌های فوقانی جو پدید می‌آید، سراب «بالائی» نام دارد). اکثریت مردم معتقدند که سراب معمولی فقط در هوای گرم و سوزان صحاری جنوبی ممکن است پدید آید و در عرض‌های جغرافیائی شمالی تر هرگز پدید نمی‌آید. در صورتیکه سراب پائینی در مناطق معتدله نیز دیده میشود. این پدیده بخصوص تابستان در جاده‌های آسفالته و قیرریزی‌شده زیاد به چشم میخورد، زیرا این جاده‌ها به علت رنگ تیره‌ای که دارند، در زیر اشعهٔ خورشید خیلی گرم میشوند. در این موارد از دور بنظر می‌آید که گوئی سطح تار جاده از آب پوشیده شده و برخی چیزها در آن منعکس میگردد. سمت حرکت اشعهٔ نور در این نوع سراب‌ها در شکل ۱۱۶ نشان داده شده است. اگر قدری توجه داشته باشیم اینگونه پدیده‌ها را بمراتب بیش از آنچه معمولا فکر میکنند، میتوان مشاهده کرد.

یک نوع سراب‌دیگر هم هست که سراب پهلوئی نام دارد و معمولا مردم حتی تصور نمیکنند که چنین سرابی وجود داشته باشد. این نوع سراب در نتیجهٔ انعکاس در دیوار عمودی که گرم شده باشد، پدید می‌آید. یکی از مؤلفین فرانسوی این پدیده را توصیف کرده است. وقتی به دژی نزدیک میشد، دید که دیوار بتنی صاف برج ناگهان مانند آئینه به درخشش درآمد و منظره و زمین اطراف و آسمان در آن منعکس شد. چند گام دیگر به پیش رفت و همین تغییر را در دیوار دیگر برج دید. بنظر می‌آمد که گوئی سطح خاکستری رنگ و ناهموار دیوار ناگهان به سطح صیقلی‌شده‌ای تبدیل میگردد. یک روز بسیار گرم و آفتابی بود و دیوارها میبایست سخت داغ شده باشند، وکلید حل معمای آئینه‌مانند شدن دیوارها نیز در همین داغ شدن بود. در شکل ۱۱۷ دیوارهای برج (F و F′) و محل مشاهده‌کننده (A و A′) نشان داده شده است. معلوم شد هر بار که دیوار بحد کافی از اشعهٔ خورشید گرم میشد، سراب هم به چشم میخورد. او حتی توانست از این پدیده عکس بردارد.

در شکل ۱۱۸ دیوار F برج ابتدا تار (سمت چپ) و سپس مانند آئینه براق (سمت راست) نشان

داده شده است (در هر دو بار از نقطهٔ A' عکس برداری کرده اند). در عکس سمت چپ بتن معمولی خاکستری رنگ است که البته دو نفر سربازی که نزدیک دیوار ایستاده‌اند، ممکن نیست در آن منعکس بشوند. در سمت راست قسمت اعظم همان دیوار خصوصیت آئینه پیدا کرده و عکس قرینهٔ هیکل سرباز نزدیک دیوار در آن منعکس شده است. البته در اینجا خود سطح دیوار اشعه‌را منعکس نمیکند، بلکه فقط قشر هوای گرم مجاور دیوار منعکس میکند.

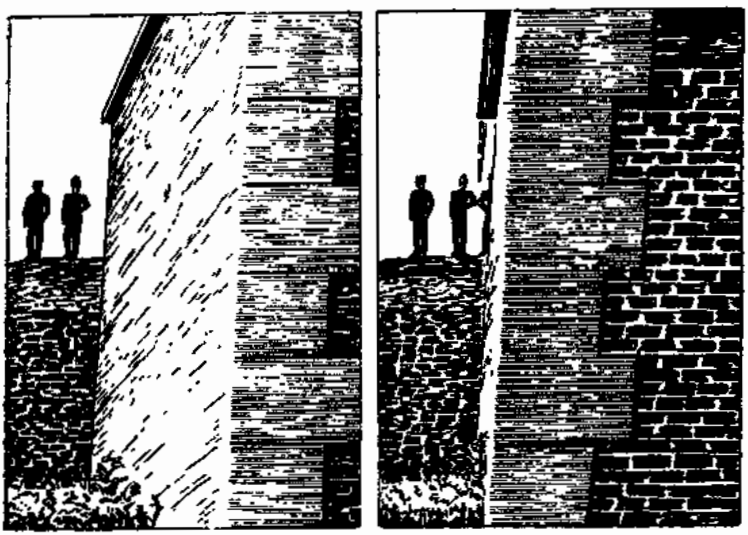
باید در روزهای گرم و آفتابی تابستان به دیوارهای بناهای بزرگ که داغ شده‌اند، توجه کرد و دید که آیا پدیدهٔ سراب به چشم نمیخورد. بدون شک با قدری توجه موارد به چشم خوردن سراب باید افزایش بیابد.



شکل ۱۱۷ — نقشه برجی که در آن سراب مشاهده شده است. دیوار F از نقطه A و دیوار F' از نقطه A' آئینه مانند بنظر آمده بود.

«شعاع سبز»

«آیا هرگز خورشید را وقتی در افق دریا غروب میکند، مشاهده کرده‌اید؟ بدون شک، بله. آیا خورشید را تا لحظه‌ای که انتهای بالائی قرص آن با خط افق تماس می‌یابد و سپس ناپدید میشود، با چشم تعقیب کرده‌اید؟ لابد، بله. اما آیا دیده‌اید که وقتی خورشید جهان افروز آخرین پرتو خود را میپراکند، اگر در آن لحظه آسمان کاملا شفاف و بی ابر باشد، چه پدیده‌ای روی میدهد؟ شاید،



شکل ۱۱۸ — دیوار خاکستری‌رنگ ناصاف (سمت چپ) ناگهان گوئی صیقلی شده و اجسام در آن منعکس میگردند (سمت راست).

نه. اگر امکانی برایتان پیش آمد که این پدیده را مشاهده کنید، فرصت را از دست ندهید: شعاع سرخ به چشم شما نمیخورد، بلکه شعاع سبز به چشمتان میخورد، چنان شعاع سبز رنگ شگفت‌آوری که هیچ نقاشی نمیتواند در تختهٔ رنگ‌آمیزی خویش بیابد و حتی خود طبیعت قادر نیست نظیر آن را، نه در رنگ‌های گوناگون گیاهان و نه در رنگ شفاف‌ترین دریاها، بوجود آورد».

این یادداشت که در یکی از روزنامه‌های انگلستان به چاپ رسیده بود، دوشیزه قهرمان رمان ژول ورن «شعاع سبز» را به وجد و شعف آورد و وی را برانگیخت تا فقط و فقط برای آنکه شعاع سبزرا با چشم خویش ببیند، مسافرت‌های زیادی بکند. بطوریکه ژول ورن در رمان خود می‌نویسد، دوشیزه اسکاتلندی موفق نشد این پدیدهٔ زیبای طبیعت را مشاهده کند. اما با همهٔ اینها، این پدیده روی میدهد. با اینکه حوادث افسانوی زیادی را با شعاع سبز مربوط میکنند، شعاع سبز افسانه نیست. شعاع سبز پدیده‌ای است که هر شخص دوستدار طبیعت را واله و شیفته میسازد، فقط باید آن را با صبر و حوصله لازم جستجو کرد.

چرا شعاع سبز پدید می‌آید؟

اگر به یاد بیاورید که وقتی از پشت منشور شیشه‌ای به اجسام نگاه میکنیم، اجسام به چه صورتی بنظر ما می‌آیند، آنوقت دلیل این پدیده را می‌فهمید. آزمایش زیر را انجام بدهید: یک ورق کاغذ را به دیوار بچسبانید، یک منشور را افقی، طوریکه سطح پهن آن به پائین باشد، جلو چشمتان بگیرید و از پشت آن به صفحهٔ کاغذ نگاه کنید. مشاهده خواهید کرد که اولا — صفحهٔ کاغذ از جای واقعی خود خیلی بالاتر رفته است، ثانیاً — در بالای آن یک حاشیهٔ بنفش مایل به آبی و در پائین آن یک حاشیهٔ زرد مایل به سرخ دیده میشود. علت بالا رفتن صفحهٔ کاغذ انکسار نور است، و پیدایش حاشیه‌ها مربوط به تجزیه نور سفید بوسیلهٔ شیشه، یعنی خصوصیت شیشه میباشد که اشعه رنگ‌های مختلف را بطور یکسان منکسر نمیکند. اشعهٔ بنفش و آبی بیش از سایر رنگ‌ها منکسر میشوند و بهمین دلیل در بالا یک حاشیهٔ بنفش مایل به آبی می‌بینیم. اشعهٔ سرخ کمتر از همه منکسر میشوند و بهمین دلیل حاشیهٔ پائینی کاغذ سرخ بنظر می‌آید.

برای درک بهتر مطالب بعدی لازم است علت پیدایش این حاشیه‌های رنگی‌را قدری توضیح داد. منشور نور سفیدی را که از کاغذ میتابد، به همهٔ رنگ‌های طیف تجزیه میکند و از صفحهٔ کاغذ تعداد زیادی عکس رنگی پدید می‌آورد که بترتیب میزان انکسار قرار دارند و قسمتی از هر یک از آنها روی دیگری واقع میشود. چشم در نتیجهٔ تأثیر هم‌زمان این عکس‌های رنگی که روی یکدیگر واقع شده‌اند، نور سفید حس میکند (ترکیب رنگ‌های طیفی)، اما در بالا و در پائین دو حاشیه از رنگ‌هائی که ترکیب نشده‌اند، پدید می‌آید. گوته شاعر نامدار آلمانی که این آزمایش را کرده و به ماهیت آن پی نبرده بود، تصور کرد که به این طریق نادرستی تعلیمات نیوتن در باره رنگ‌ها را فاش ساخته است و خودش کتاب «علم رنگ‌ها» را نوشت، که تقریباً از سر تا ته بر تصورات نادرست پایه‌گذاری شده است. گمان میکنم خوانندهٔ ما اشتباهات شاعر بزرگ را تکرار نخواهد کرد و انتظار نخواهد داشت که منشور همه چیز را برایش به رنگ دیگری در آورد. جو زمین برای چشم ما مانند منشور هوائی عظیمی است که قاعدهٔ آن رو به پائین است. وقتی خورشید در افق است و ما به آن نگاه میکنیم، خورشید را از پشت منشور هوائی می‌بینیم در بالای قرص خورشید یک حاشیهٔ آبی و سبز و در پائین آن یک حاشیهٔ سرخ مایل به زرد پدید

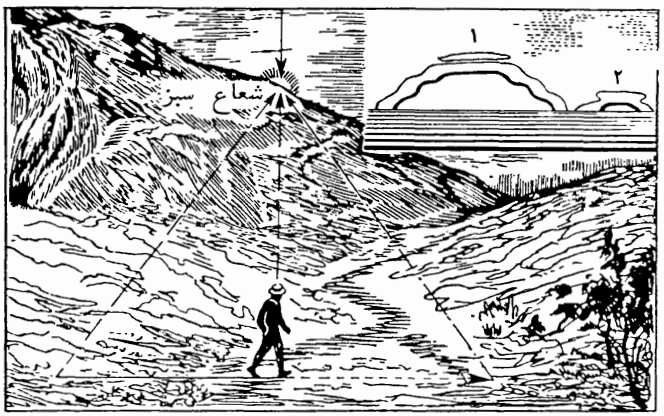
می‌آید. تا وقتی که خورشید بر فراز افق قرار دارد، نور شدید قرص خورشید حاشیه‌های رنگی بمراتب کم‌نورتر را از بین می‌برد و ما آنها را اصلا نمی‌بینیم. اما در لحظهٔ طلوع و غروب خورشید، وقتی تقریباً تمام قرص خورشید در پشت افق پنهان است، ممکن است حاشیه آبی انتهای بالائی آن را ببینیم. این حاشیه از دو قسمت تشکیل شده است: قسمت بالائی آبی نزدیک به سورمه‌ای و قسمت پائینی آبی نزدیک به آسمانی است که از ترکیب اشعهٔ آبی و سبز بوجود آمده است. وقتی هوای نزدیک افق کاملا صاف و شفاف است، ما حاشیهٔ آبی — «شعاع آبی» را می‌بینیم. اما اغلب اوقات اشعهٔ آبی در هوای جو پراکنده میشوند و فقط حاشیهٔ سبز باقی میماند که همان پدیده «شعاع سبز» است. بالاخره باید یاد آور شد که در اکثر موارد هم اشعهٔ آبی و هم اشعهٔ سبز در هوای تار پراکنده میشوند و آنوقت هیچ حاشیه‌ای دیده نمیشود و خورشید به صورت قرص سرخ‌رنگی در افق فرو میرود.

تیخوف منجم رصدخانهٔ «پولکوفسکایا»* که در بارهٔ «شعاع سبز» تحقیقات ویژه‌ای کرده است، برخی نشانه‌های نمایان شدن این پدیده را یاد آور میشود: «اگر خورشید هنگام غروب سرخ‌رنگ باشد و بتوان با چشم غیر مسلح به راحتی به آن نگاه کرد، میتوان با اطمینان کامل گفت که شعاع سبز پدید نخواهد آمد». علت روشن است: رنگ سرخ قرص خورشید نشان میدهد که هوای جو اشعهٔ آبی و سبز، یعنی تمام حاشیه بالائی قرص خورشید را بشدت پراکنده میکند. تیخوف ادامه میدهد: «بر عکس، اگر رنگ معمولی سفید مایل به زرد خورشید تغییر نکرده و خورشید با نور زیاد غروب کند (یعنی اگر هوای جو نور را کم جذب کند. — پرلمان)، آنوقت به احتمال قوی میتوان انتظار داشت که شعاع سبز پدید آید. اما در این مورد بسیار مهم است که افق یک خط مشخص و بدون پست و بلندی باشد و در نزدیک آن جنگل و بنا و برجستگی‌های دیگر وجود نداشته باشد. این شرایط در دریا بهتر از هر جای دیگر فراهم می‌آید. بهمین دلیل است که دریانوردان از پدیده شعاع سبز آگاهی زیادی دارند».

بدین ترتیب، برای آنکه «شعاع سبز» را ببینیم باید وقتی که آسمان کاملا صاف و شفاف است، در لحظهٔ غروب یا طلوع خورشید به آن نگاه کنیم. در کشورهای جنوبی آسمان در افق شفاف‌تر از نواحی ما است، به این دلیل پدیده «شعاع سبز» در جنوب بیشتر مشاهده میشود. اما در نواحی ما نیز این پدیده آنقدرها که عده زیادی، لابد تحت تأثیر رومان ژول ورن، تصور میکنند، نادر نیست. کسی که با پشتکار برای مشاهدهٔ «شعاع سبز» بکوشد، دیر یا زود شاهد پیروزی را در بر میگیرد. اتفاق افتاده است که موفق شده‌اند این پدیدهٔ زیبا را حتی با دوربین مشاهده کنند. دو نفر منجم آلزاسی مشاهدات خود را چنین توصیف میکنند:

«...در آخرین دقیقه پیش از غروب آفتاب وقتی که هنوز قسمتی از خورشید نمایان است، قرص خورشید را که حدود مواج و متحرک، اما کاملا مشخص دارد، حاشیهٔ سبزی احاطه کرده است. تا وقتی که خورشید هنوز کاملا غروب نکرده است، این حاشیه با چشم غیر مسلح دیده نمیشود، فقط در لحظه‌ای که خورشید کاملا درافق ناپدید میشود، این حاشیه را میتوان دید. اما اگر با دوربینی که بحد کافی (تقریباً ۱۰۰ بار) بزرگ میکند، نگاه کنیم، میتوانیم تمام این پدیده را از اول تا آخر ببینیم: حاشیهٔ سبز حد اقل ۱۰ دقیقه پیش از غروب آفتاب قابل رؤیت میشود. این حاشیه

*رصدخانه «پولکوفسکایا»، رصدخانه‌ای است در نزدیک لنینگراد که معروفیت جهانی دارد (مترجم).



شکل ۱۱۹ — مشاهده «شعاع سبز» در مدت زیاد. مشاهده‌کننده طی ۵ دقیقه «شعاع سبز» را در پشت رشته کوهها میدید. در بالا سمت راست، «شعاع سبز» قابل رؤیت با دوربین. محیط قرص خورشید خط منحنی صاف نیست. در حالت (۱) نور قرص خورشید چشم را خیره میکند و مانع میشود که بتوان حاشیه سبز را با چشم غیر مسلح دید. در حالت (۲) وقتی قرص خورشید در شرف ناپدید شدن است، «شعاع سبز» با چشم غیر مسلح هم قابل رؤیت است.

قسمت بالائی قرص خورشید را در بر میگیرد،اما در قسمت پائینی قرص خورشید حاشیهٔ سرخی دیده میشود. عرض حاشیهٔ سبز در ابتدا بسیار کم (فقط چند ثانیه قوس) میباشد و بتدریج که خورشید پائین میرود، زیادتر میشود، و گاهی تا نیم درجه قوس میرسد.اغلب در بالای حاشیهٔ سبز برجستگی‌های سبزی نیز دیده میشود و بتدریج که خورشید ناپدید میشود گوئی این برجستگی ها در کنارهٔ قرص خورشید سر میخورند تا به بالاترین نقطه آن میرسند. گاهی برجستگی‌ها از کنارهٔ خورشید جدا میشوند و چند ثانیه جداگانه میدرخشند تا خاموش می شوند» (شکل ۱۱۹).

پدیدهٔ شعاع سبز یکی دو ثانیه طول میکشد. اما در شرایط استثنائی مدت آن بمیزان قابل ملاحظه ای افزایش می‌یابد. مواردی بوده است که «شعاع سبز» در مدت بیش از ۵ دقیقه دیده میشده است! خورشید در پشت کوه دوردستی غروب کرده و شخصی که بسرعت گام بر میداشته، حاشیهٔ سبز قرص خورشید را در حالیکه گوئی از دامنهٔ کوه به پائین میخزیده، مشاهده میکرده است (شکل ۱۱۹). مشاهده پدیده «شعاع سبز» هنگام طلوع آفتاب وقتی که انتهای بالائی قرص خورشید تازه از افق بیرون می‌آید، بسیار آموزنده است. فرضیه‌ای وجود دارد که گویا «شعاع سبز» خطای باصره است و در اثر خستگی چشم از نور خورشید که در همان لحظه غروب کرده است، بوجود می‌آید. مشاهدهٔ «شعاع سبز» هنگام طلوع آفتاب این فرضیه را رد میکند.

خورشید یگانه جرم آسمانی نیست که «شعاع سبز» میپراکند. مواردی بوده است که این پدیده هنگام فرو رفتن زهره در افق نیز مشاهده شده است.

فصل نهم

دیدن با یک چشم و با دو چشم

وقتی عکس نبود

عکس در زندگی روزانهٔ ما بقدری عادی شده است که تصور هم نمیکنیم نیاکان ما، حتی نیاکان نه چندان دور، چگونه بدون عکس گذران میکردند. دیکنس در «نشریهٔ باشگاه پیکویک» از اینکه در حدود صد سال پیش در ادارات دولتی انگلستان شکل ظاهری اشخاص را چگونه تصویر میکردند، حکایت جالبی نقل میکند. جریان در زندان بدهکاران که پیکویک را بآنجا آوردند رخ داد: به پیکویک گفتند بنشیند تا تصویرش را بکشند.

«مستر پیکویک ندا برآورد:

— تصویر مرا بکشند!

زندانبان تنومند جواب داد:

— قیافه و مشخصات شما را، سر. شما باید اطلاع داشته باشید که ما در تصویر کشیدن استادیم. قبل از آنکه فرصت کنید سرتان را برگردانید، تصویرتان حاضر است. بفرمائید، بنشینید سر، خانهٔ خودتان است.

مستر پیکویک اطاعت کرد و نشست. آنوقت ساموئل (نوکر پیکویک) در گوشش آهسته گفت که در اینجا باید عبارت «تصویر کشیدن» را بمعنای مجازی آن فهمید و ادامه داد:

— این به آن معنا است که زندانبانان در صورت شما دقیق میشوند تا بتوانند شما را از کسانی که به دیدن زندانیان می‌آیند، تمیز بدهند.

جریان عمل شروع شد. زندانبان تنومند با لاقیدی به صورت مستر پیکویک نگاه میکرد و در همین ضمن رفیقش رو بروی زندانی تازه وارد ایستاد و نگاه خودرا به صورت او دوخت. جنتلمن سومی درست جلو بینی مستر پیکویک ایستاد و با دقت هر چه بیشتر به بررسی مشخصات او پرداخت.

بالاخره تصویر کشیده شد و به مستر پیکویک گفتند که میتواند به زندان برود».

در زمان‌های پیش از جریان بالا شرح مشخصات اشخاص نقش اینگونه «تصویرها» را بازی میکرده است. بیاد دارید که در اثر پوشکین «بوریس گودونوف» گریگوری اترپیف را در فرمان تزار چگونه

توصیف کرده بودند. «قدش کوتاه است، سینه‌اش پهن و یک دستش کوتاه‌تر از دست دیگر است، چشمانش آبی و موهایش بور است، روی گونه اش یک زگیل و روی پیشانیش زگیل دیگری هست». در دوران ما بجای همه اینها یک عکس پیوست میکنند.

چه چیز را بسیاری از اشخاص بلد نیستند؟

عکاسی در سال‌های چهل قرن ۱۹ میلادی در روسیه رسوخ یافت و ابتدا به صورت عکاسی قدیمی معروف به «داگرتیپی»* یعنی عکس روی ورقه‌های فلزی بود. نقص عمدهٔ این نوع عکاسی آن بود که میبایست مدت زیادی — دهها دقیقه — جلو دوربین عکاسی بیحرکت ایستاد...

پروفسور وینبرگ فیزیسین لنینگرادی میگوید:

«پدربزرگ من برای آنکه عکس بگیرد، آنهم فقط یک عکس تکثیر نشده، مدت چهل دقیقه جلو دوربین عکاسی نشست!»

با وجود این امکان به دست آوردن تصویر بدون شرکت نقاش بقدری نو و حیرت‌آور مینمود که تودهٔ مردم خیلی دیر به این فکر عادت کردند. در یک مجلهٔ قدیمی روسی (سال ۱۸۴۰) در این مورد حادثه جالب و خنده‌داری حکایت شده است:

«هنوز هم عده زیادی نمیخواهند باور کنند که دوربین عکاسی خودش بتواند عکس بردارد. یک شخص بسیار محترم آمد تا یک عکس خود را سفارش بدهد. صاحب عکاسخانه اورا نشاند، شیشه و تخته را توی دوربین گذاشت، به ساعت خود نگاه کرد و بیرون رفت. تا وقتی صاحب عکاسخانه در اطاق بود، شخص محترم چنانکه گوئی میخکوب شده است، سر جایش نشسته بود. اما همینکه صاحب عکاسخانه از در بیرون رفت، آقائی که میل داشت عکس خودرا داشته باشد، لازم ندانست بیحرکت بنشیند، کمی انفیه کشید، دوربین عکاسی را از همه طرف تماشا کرد، چشمش را جلو شیشه دوربین گرفت، سرش‌را تکان داد و گفت: «عین شامورتی است» و در اطاق شروع به قدم زدن کرد.

صاحب عکاسخانه برگشت،دم در از تعجب خشکش زد و ندا برآورد:

— چکار دارید میکنید؟ مگر من به شما نگفتم که بی حرکت بنشینید و تکان نخورید!

— من که نشسته بودم. فقط وقتی شما رفتید برخاستم.

— همان وقتی که من رفتم باید می‌نشستید.

— چرا من باید بیخود و بیجهت بنشینم؟»

خوانندگان محترم گمان میکنند که حالا ما دیگر از این تصورات ساده‌لوحانه در باره عکاسی بری هستیم. اما در زمان ما هم هنوز اکثریت مردم با عکاسی و عکس کاملا دمساز نشده‌اند و کمتر کسی هست که بلد باشد عکس حاضر را تماشا کند. خیال میکنید اینجا چیزی نیست که بلد باشی یا نباشی: عکس‌را برمیداری و نگاه میکنی. اما این کار بهیچوجه آنقدرها هم که خیال میکنید ساده نیست. عکس از جملهٔ آن وسائل عادی زندگی است که با وجود اینکه فوق‌العاده متداول

---

*«داگرتیپی» مشتق از نام «داگر» مخترع این نوع عکاسی.

است، ما بلد نیستیم بطور باید و شاید آنهارا استعمال کنیم. اکثریت عکاسان حرفه‌ای و غیر حرفه‌ای عکس را درست آنطور که باید تماشا نمیکنند، مردم عادی که جای خود دارد. بیش از صد سال است که هنر عکاسی وجود دارد، اما با وجود این عده زیادی نمیدانند چطور باید عکس را تماشا کرد.

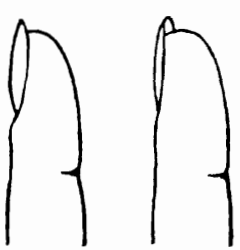
هنر تماشا کردن عکس

دوربین عکاسی از لحاظ طرز ساختمان مانند یک چشم بزرگ است. آنچه روی شیشهٔ مات نقش میشود، به فاصلهٔ میان ابژکتیف و اجسامی که از آنها عکس برداری میشود، بستگی دارد. دوربین عکاسی نمائی را روی صفحه ثبت میکند که اگر چشم ما (فقط یک چشم) در جای ابژکتیف بود، آن نمارا می‌دید. بنا بر این اگر میخواهیم که عکس همان تأثیری را در ما ببخشد که خود جسم می‌بخشد، باید:

۱— عکس را فقط با یک چشم تماشا کنیم،

۲— عکس را در فاصله لازم از چشم نگاه داریم.

به آسانی میتوان فهمید که وقتی ما عکس را با دو چشم نگاه میکنیم حتماً باید در برابر خود نمای مسطحی را ببینیم، نه تصویری را که عمق دارد. این امر نتیجه ضروری خصوصیات دستگاه بینائی ما است. وقتی به چیزی که حجم دارد نگاه میکنیم تصویرهائی که در شبکیهٔ چشمهای ما بوجود می‌آیند، عین یکدیگر نیستند: چشم راست عین آن چیزی را که چشم چپ می‌بیند، نمی‌بیند (شکل ۱۲۰). همین یکسان نبودن تصویرها، در واقع، دلیل عمدهٔ آنستکه اشیاء مجسم بنظر ما می‌آیند: شعور ما این دو تأثیر غیر یکسان را بصورت یک تصویر برجسته در هم می‌آمیزد (بطوری که معلوم است ساختمان استریوسکوپ بر همین اصل مبتنی است).۱۰ اگر در برابر ما چیز مسطحی، مثلا سطح دیواری قرار داشته باشد، وضع دیگری‌است: در اینصورت در هر دو چشم ما تأثیرات کاملا یکسانی بوجود می‌آید، و این یکسان بودن برای شعور علامت مطسح بودن جسم است.



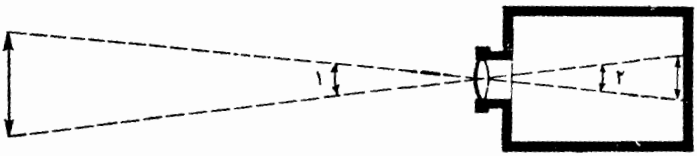
شکل ۱۲۰ — اگر دست‌را نزدیک به صورت نگاه داریم، چشم چپ و چشم راست انگشت را اینطور می‌بینند.

حالا روشن است که وقتی ما عکس را با دو چشم نگاه میکنیم، دچار چه اشتباهی میشویم. با این عمل به شعور خود اعتقاد به اینکه در برابر ما همانا نمای مسطحی قرار دارد، تحمیل میکنیم! وقتی با دو چشم به عکسی که برای فقط یک چشم در نظر گرفته شده، نگاه می‌کنیم، برای خودمان مانع فراهم می‌آوریم و آن چیزی را که عکس باید به ما بدهد، نمیبینیم، و در نتیجهٔ این خطا، تصویر فریبائی که دوربین عکاسی با چنان کمال بوجود آورده است، تمام فریبندگی خودرا از دست میدهد.

عکس را در چه فاصله‌ای باید نگاه داشت؟

قاعدهٔ دوم، یعنی اینکه عکس‌را در فاصله لازم از چشم نگاه داریم، نیز به همین اندازه اهمیت دارد: در صورت عدم رعایت فاصلهٔ لازم، منظره صحیح دیده نخواهد شد.

این فاصله چقدر باید باشد؟



شکل ۱۲۱ــ در دوربین عکسی زاویه (۱) با زاویه (۲) مساوی است.

برای آنکه عکس تأثیر کامل ببخشد باید آن را با همان زاویهٔ دیدی تماشا کرد که عدسی دوربین عکسی آن را روی صفحهٔ مات دوربین و یا جسمی‌را که عکس آن برداشته شده «میدیده است» (شکل ۱۲۱). از اینجا نتیجه میشود که فاصلهٔ عکس تا چشم باید به همان اندازه‌ای که عکس از خود جسم کوچکتر است، از فاصلهٔ جسم تا عدسی کوچکتر باشد. بعبارت دیگر، باید عکس را در فاصله‌ای از چشم نگاه داشت که تقریباً مساوی طول کانونی عدسی دوربین عکسی باشد.

اگر در نظر داشته باشیم که فاصلهٔ کانونی اکثریت دوربین‌های عکسی غیرحرفه‌ای در حدود ۱۲ ــ ۱۰ سانتیمتر* است، آنوقت میفهمیم که ما هرگز اینگونه عکس‌هارا در فاصله صحیح از چشم تماشا نمیکنیم، فاصلهٔ بهترین دید برای یک چشم معمولی (۲۵ سانتیمتر) تقریباً دو برابر فاصله مذکور است. عکس‌هائی که از دیوار آویزانند نیز مسطح به نظر می‌آیند، زیرا آنها را از فاصله از اینهم بیشتر تماشا میکنند.

فقط اشخاص نزدیک بین که فاصلهٔ بهترین دید آنها کم است و نیز کودکان که قادرند از فاصله نزدیک ببینند، میتوانند از لذت تأثیری که یک عکس معمولی، درصورت تماشای صحیح آن (با یک چشم) می‌بخشد، بهرمند گردند. آنها وقتیکه عکس را درفاصله ۱۲ ــ ۱۰ سانتیمتر از چشم نگاه میدارند، در برابر خود تصویر مسطحی نمی‌بینند، بلکه منظرهٔ برجسته‌ای می‌بینند که نمای جلوی آن از نمای عقبی طوری جدا شده است که گوئی با استریوسکوپ به آن نگاه میکنند.

تصور میکنم حالا دیگر خوانندگان محترم قبول خواهند کرد که ما در اکثریت موارد، بعلت بی‌اطلاعی خودمان، از عکس آن لذتی را که واقعاً میتواند ببخشد، نمیبریم و اغلب بیخود و بیجهت شکوه و شکایت میکنیم که عکس‌ها بیروح هستند. تمام مطلب در آنستکه ما چشم خود را نسبت به عکس در نقطهٔ لازم قرار نمیدهیم و به عکسی که فقط برای یک چشم در نظر گرفته شده، با دو چشم نگاه میکنیم

تأثیر عجیب ذره‌بین

بطوریکه هم اکنون توضیح دادیم، اشخاص نزدیک‌بین به آسانی میتوانند عکس‌های معمولی را برجسته ببینند. اما آدم‌هائی که چشم معمولی دارند، چکار باید بکنند؟ آنها نمیتوانند عکس را زیاد به چشمشان نزدیک کنند، اما ذره‌بین به آنها کمک میکند. اینگونه اشخاص وقتی با عدسی‌هائی

*در اینجا و پس از آن، مؤلف آن نوع دوربین‌های عکسی را در نظر دارد که در سال‌های تدوین کتاب «فیزیک برای سرگرمی» معمول بوده است (هیأت تحریریه).

که دو بار بزرگ میکند، به عکس نگاه کنند، میتوانند از آنچه نزدیک‌بینان برخوردارند، بهرمند شوند، یعنی بی آنکه به چشم خود فشار بیاورند، میتوانند ببینند که چطور عکس ساده برجستگی و فرو رفتگی پیدا میکند. میان تأثیر اینگونه تماشای عکس با تأثیر تماشای آن از فاصلهٔ زیاد و با دو چشم، تفاوت از زمین تا آسمان است. تأثیر اینگونه تماشای عکس معمولی تقریباً همانند تأثیر استریوسکوپ است. حالا معلوم میشود که چرا وقتی به عکس با ذره‌بین و با یک چشم نگاه میکنیم، اغلب عکس برجسته بنظر می‌آید. این واقعیت بر همه معلوم است. اما بندرت اتفاق می‌افتد که این پدیده را درست توضیح بدهند.

یکی از تقریظ نویسان «فیزیک برای سرگرمی» در این مورد به من نوشت:

«در چاپ بعدی کتاب مسأله زیر را مورد بررسی قرار دهید: چرا وقتی با ذره‌بین معمولی به عکس نگاه میکنیم، عکس برجسته به نظر می‌آید؟ به عقیده من تمام توضیحات بغرنج و مرکب استریوسکوپ حتی قابل تنقید هم نیست. با یک چشم به استریوسکوپ نگاه کنید، خواهید دید که برجسته بودن، علیرغم تئوری، حفظ میشود».

البته حالا بر خوانندگان گرامی روشن است که این واقعیت کوچکترین خدشه‌ای به تئوری استریوسکوپ وارد نمی‌آورد. تأثیر جالب اسبابی که در مغازه‌های اسباب بازی فروشی بنام «دورنما» میفروشند، از همین اصل سرچشمه میگیرد. در این اسباب کوچک عکس معمولی یک منظره یا جمعیتی از پشت ذره‌بین و با یک چشم دیده میشود. همین برای برجسته به نظر آمدن کافی است. معمولا بعضی از قسمت‌های نمای جلوی منظره را می‌برند و جلوتر از عکس قرار میدهند، این امر نیز بر تأثیر فریبنده اسباب می‌افزاید. چشم ما که در برابر برجستگی‌های اشیاء نزدیک بسیار حساس است، نسبت به برجستگی‌های نسبتاً دور آنقدرها حساسیت ندارد.

بزرگ کردن عکس‌ها

آیا نمیشود عکس‌ها را طوری تهیه کرد که چشم معمولی بدون توسل به ذره‌بین، بتواند آنهارا درست تماشا کند؟ کاملا میشود. برای این کار کافی است از دوربین‌های عکاسی استفاده کنیم که فاصلهٔ کانونی ابژکتیف آنها زیاد باشد. پس از توضیحات بالا روشن است که عکسی را که با عدسی دارای فاصله کانونی ۲۰ — ۳۰ سانتیمتر برداشته شده باشد، میتوان از فاصله معمولی (با یک چشم) تماشا کرد و عکس به اندازه کافی برجسته به نظر خواهد آمد.

میتوان عکس‌هائی برداشت که حتی وقتی آنها را از فاصلهٔ زیاد و با دو چشم هم تماشا کنیم، مسطح به نظر نیایند. گفتیم که وقتی هر دو چشم از چیزی دو تصویر کاملا همانند ببینند، شعور ما آن دو تصویر را به صورت یک تصویر مسطح در هم می‌آمیزد. اما این تمایل شعور، با افزایش مسافت بسرعت تقلیل می‌یابد. در عمل ملاحظه میشود که عکس‌هائی را که با ابژکتیف‌های دارای فاصلهٔ کانونی ۷۰ سانتیمتر برداشته شده باشند، میتوان بلاواسطه با هر دو چشم تماشا کرد و عکس‌ها به صورت منظرهٔ برجسته به نظر خواهند آمد.

اما داشتن دوربین عکاسی با ابژکتیف دارای فاصله کانونی زیاد کاری است دشوار و پر دردسر. به این دلیل راه دیگری را نشان میدهیم، و آن راه، بزرگ کردن عکس‌هائی است که با دوربین عکاسی

معمولی برداشته شده‌اند. وقتی عکس‌ها را به این ترتیب بزرگ کنیم، فاصله لازم و مناسب برای تماشای آنها نیز بهمان نسبت بزرگ کردن عکس، افزایش می‌یابد. اگر عکسی را که با دوربین عکاسی با ابژکتیف دارای فاصله کانونی ۱۰ سانتیمتر برداشته شده، ٤ یا ٥ بار بزرگ کنیم، کافی است که عکس در ما تأثیر مطلوب را ببخشد. عکس بزرگ‌شده را میتوان از فاصلهٔ ٦٠ — ٧٥ سانتیمتر با هر دو چشم تماشا کرد. عکس بزرگ شده تا حدی تار و ناروشن است، اما این امر از میزان تأثیر عکس نمیکاهد، زیرا ناروشنی آن از دور کم به چشم میخورد. در عوض بمیزان زیادی برجسته و منظره‌مانند بنظر می‌آید.

بهترین جا در سینما

کسانی که زیاد به سینما میروند، لابد متوجه شده‌اند که برخی از فیلم‌ها فوق‌العاده برجسته به نظر می‌آیند. اشکال و تصاویر از زمینه عقب جدا شده و بقدری برجسته هستند که وجود پرده را از یاد می‌بری و گوئی منظرهٔ حقیقی و هنرپیشه‌های زنده را در صحنه می‌بینی.

اینگونه‌برجستگی تصاویر، برخلاف آنچه اغلب تصور می کنند، به خصوصیات فیلم بستگی ندارد، بلکه بسته به جائی است که بیننده نشسته است. گرچه فیلم‌های سینما را با دوربین‌های فیلم‌برداری دارای فاصلهٔ کانونی فوق‌العاده کم برمیدارند، اما چندین‌برابر، در حدود صد برابر، بزرگتر روی پرده نشان میدهند، بطوری که میتوان آنها را با دو چشم و از فاصله زیادی (متر ۱۰=۱۰×۱۰۰ سانتیمتر) تماشا کرد. حد اکثر برجستگی، زمانی مشاهده میشود که ما فیلم را با همان زاویه دیدی ببینیم که دوربین فیلم‌برداری منظرهٔ واقعی را هنگام فیلم‌برداری «می‌دیده است». آنوقت در برابر ما منظره طبیعی جلوه خواهد کرد.

فاصله‌ای را که این مناسب‌ترین زاویهٔ دید را داشته باشد، چگونه باید پیدا کرد؟ برای این کار باید جائی انتخاب کرد که: اولا — روبروی وسط پرده باشد، ثانیاً — فاصلهٔ آن نقطه از پرده به همان میزان بزرگتر از عرض تصویر باشد که فاصلهٔ کانونی دوربین فیلم‌برداری از عرض فیلم بیشتر است.

معمولا برای فیلم‌برداری، بسته به خصوصیات فیلم‌برداری، از دوربین‌های فیلم‌برداری دارای فاصلهٔ کانونی ۳۰ یا ٥٠ یا ۷٥ و یا ۱۰۰ میلیمتر استفاده میشود. عرض استاندارد فیلم‌ها ۲٤ میلیمتر است. مثلا برای فاصلهٔ کانونی ۷٥ میلیمتر تناسب زیر را خواهیم داشت:

$$\frac{\text{فاصلهٔ مطلوب}}{\text{عرض تصویر}} = \frac{\text{فاصلهٔ کانونی}}{\text{عرض فیلم}} = \frac{۷٥}{۲٤} \approx ۳$$

بنا بر این در این مورد برای پیدا کردن مناسب‌ترین جا باید عرض تصویر را در ۳ ضرب کرد. اگر عرض تصویر روی پرده سینما، مثلا ٦ قدم است، بهترین جا برای تماشای آن فیلم در ۱۸ قدمی پرده قرار دارد.

وقتی میخواهیم پیشنهادهای مختلفی را که بمنظور برجسته نمودن فیلم‌های سینما مطرح میشوند، مورد آزمایش قرار دهیم، این شرایط را نباید از نظر دور بداریم، زیرا به آسانی میتوان خصوصیاتی را که از علل نامبردهٔ بالا ناشی میشود، به اختراع مورد آزمایش نسبت داد.

اندرزی به خوانندگان مجلات مصور

البته تصاویری که از روی عکس‌ها در مجلات و کتاب‌ها چاپ میشوند، دارای همان خصوصیاتی هستند. که خود عکسها دارند. به این تصاویر هم اگر با یک چشم و از فاصله مناسب نگاه کنیم، بهتر برجسته بنظر می‌آیند. از آنجا که عکس‌های مختلف با دوربین‌های عکاسی دارای فاصلهٔ کانونی مختلف برداشته شده است، برای پیدا کردن مناسب‌ترین فاصلهٔ تماشای آنها باید به آزمایش توسل جست. یک چشمتان را ببندید، دستتان را به جلو دراز کنید و تصویر مورد آزمایش را طوری نگاه دارید که سطح آن عمود به شعاع دید باشد و چشم بازتان در برابر مرکز تصویر قرار گیرد. بعد همانطور که به عکس نگاه میکنید، عکس را بتدریج به چشمتان نزدیک کنید. لحظه‌ای را که عکس بیش از هر جای دیگر برجسته به نظر می‌آید، به آسانی خواهید یافت. بسیاری از عکس‌هائی که وقتی آنها را بطور معمولی تماشا میکنیم مسطح و نا روشن هستند، اگر طبق آنچه گفته شد تماشا کنیم، برجسته و روشن بنظر می‌آیند و بعلاوه برق آب و سایر تأثیرات استریوسکوپیک نیز نمایان میشود.

با اینکه تقریباً همهٔ آنچه در بالا گفته شد، بیش از نیم قرن پیش در کتاب‌های ساده و مورد استفادهٔ عموم تشریح شده است، تعجب‌آور استکه مردم از این حقایق ساده کم اطلاع دارند. در کتاب «اصول فیزیولوژی عقل» تألیف کارپنتر که ترجمهٔ روسی آن در سال ۱۸۷۷ منتشر شده، در باره طرز تماشای عکس مطالب زیر نوشته شده است:

«شایان توجه است که تأثیر اینگونه تماشای عکس (با یک چشم) تنها منحصر به برجسته به نظر آمدن جسم نیست. سایر خصوصیات آن عبارت از اینستکه عکس فوق‌العاده روشن و نزدیک به واقعیت به نظر می‌آید و بر فریبندگی آن افزوده میشود. این حکم بیش از همه در مورد تصویر آب ساکن، که در شرایط عادی ضعیف‌ترین جنبه عکس میباشد، صدق میکند. اگر به اینگونه تصویر آب با دو چشم نگاه کنیم، مسلماً سطح آن تار و بی‌جلا به نظر می‌آید، اما اگر با یک چشم نگاه کنیم، اغلب اوقات در آن شفافیت و عمق حیرت آوری مشاهده خواهیم کرد. عین این مطلب را میتوان در باره خصوصیات مختلف سطوحی که نور را منعکس میکنند، مانند برنز، عاج و امثال آن، گفت. اگر نه با دو چشم، بلکه با یک چشم به عکس نگاه کنیم، مادهٔ جسمی را که از آن عکس برداشته شده، بمراتب آسان‌تر میتوان تشخیص داد».

به یک مسأله دیگر نیز باید توجه داشت. وقتی عکس را بزرگ میکنیم، نزدیک‌تر به واقعیت جلوه میکند، در حالیکه وقتی عکس را کوچک میکنیم، کیفیت آن از این حیث بدتر میشود. البته عکس‌های کوچک شده دقیق‌تر و واضح‌تر هستند، اما مسطح بنظر می‌آیند و در آدم تأثیر برجستگی و فرورفتگی را بوجود نمی‌آورند. پس از تمام آنچه گفته شد، علت این مسأله باید برای ما روشن باشد: متناسب با میزان کوچک کردن عکس «فاصله منظره‌ای» آن نیز، که بدون آنهم خیلی کم است، باز هم کمتر میشود.

تماشای تابلوها

آنچه در باره عکس گفتیم تا حدودی در باره تابلوهائی که نقاشان کشیده‌اند، نیز قابل تطبیق است، یعنی تابلوها را نیز بهتر است از فاصلهٔ مناسب تماشا کنیم. فقط در این صورت است که احساس منظره میکنیم و تابلو مسطح به نظر نمی‌آید، بلکه با برجستگی و فرو رفتگی‌های متناسب به

نظر می‌آید. تابلوها را، بخصوص تابلوهائی را که زیاد بزرگ نیستند، بهتر است نه با دو چشم، بلکه با یک چشم تماشا کنیم.

کارپنتر روانشناس انگلیسی در اثر نامبرده در بالا در این مورد نوشته است :

«از مدت‌ها پیش معلوم است که وقتی به تابلوهائی که شرایط منظره‌ای و سایه و روشن و وضع کلی قسمت‌های متشکلهٔ آن کاملا با واقعیت مطابقت دارد، به دقت نگاه میکنیم، اگر با یک چشم نگاه کنیم، تأثیری که در ما می بخشد بمراتب بیشتر و زنده‌تر از وقتی است که با دو چشم نگاه میکنیم، و اگر از درون لوله‌ای که مانع دیدن همهٔ چیزهای خارج از تابلو میشود، نگاه کنیم، این تأثیر باز هم بیشتر و شدیدتر میشود. سابقاً این واقعیت را بکلی نادرست توضیح میدادند. بکون میگوید : «ما با یک چشم بهتر از دو چشم می‌بینیم، زیرا در اینصورت ارواح حیاتی در یک نقطه متمرکز میشوند و با نیروی بیشتری تأثیر می‌بخشند».

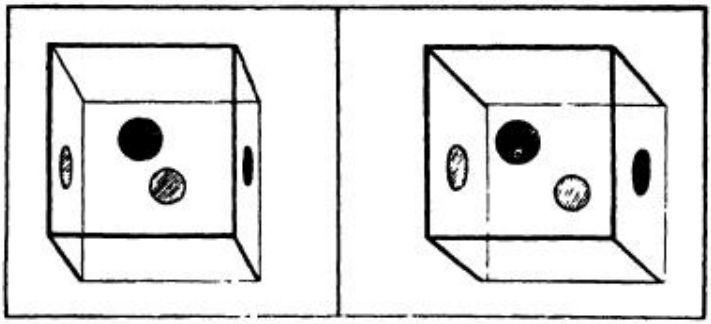
اما در واقع علت این امر آنستکه وقتی از فاصلهٔ متوسط با هر دو چشم به تابلو نگاه میکنیم، مجبوریم مسطح بودن آن را قبول کنیم، ولی وقتی فقط با یک چشم نگاه میکنیم، عقل ما آسان‌تر تحت تأثیر منظره و سایه و روشنی‌ها و سایر ویژگی‌ها قرار میگیرد. به این دلیل وقتی به تابلو بدقت چشم میدوزیم، پس از اندک مدتی تابلو برجسته بنظر می‌آید و حتی ممکن است مانند منظره واقعی مجسم شود. میزان مجسم شدن، قبل از هر چیز بسته به صحت و دقتی است که تصویر واقعی اجسام در سطح، روی تابلو آورده شده است... برتری دیدن با یک چشم در این موارد در آنستکه عقل آزاد است هر طور میخواهد تابلو را تفسیر کند و هیچ چیز عقل را مجبور نمیکند که تابلو را حتماً مسطح ببیند».

عکس‌های کوچک شده از روی تابلوهای بزرگ در اغلب موارد بیش از خود آن تابلوها برجسته به بظر می‌آیند. اگر به یاد بیاورید که وقتی تابلوئی را کوچک میکنیم، فاصلهٔ زیادی که معمولا باید تصویر را تماشا کرد کم میشود و در نتیجه عکس کوچک شده از فاصلهٔ کم‌تری برجسته به نظر می‌آید، آنوقت علت این پدیده را می‌فهمید.

استریوسکوپ چیست؟

حالا که از بررسی تابلوها به بررسی اجسام می‌پردازیم، چنین سؤالی برای ما مطرح میشود : اصولا چرا اجسام، برجسته به نظر می‌آیند، نه مسطح؟ تصویری که روی شبکیهٔ چشم ما بوجود می‌آید، مسطح است. پس چگونه اشیاء نه بصورت تابلوهای مسطح، بلکه بصورت اجسام سه‌بعدی به نظر ما می‌آیند؟

در این جریان چند عامل تأثیر دارد : اولا — تفاوت میزان روشنی قسمت‌های مختلف جسم، به ما امکان میدهد تا در باره شکل آن قضاوت کنیم. ثانیاً — فاصلهٔ همهٔ قسمت‌های تصویر مسطح از چشم به یک اندازه است، در صورتیکه قسمت‌های مختلف اجسام سه بعدی در فواصل گوناگونی نسبت به چشم قرار دارند و برای آنکه اجسام را روشن و واضح ببینیم، چشم باید در آن واحد «آمادگی» غیر یکسانی به خود بگیرد. در نتیجه ما به چشممان فشار می‌آوریم تا همهٔ قسمت‌های جسم سه‌بعدی را که در فاصله‌های مختلف قرار دارند، با روشنی و وضوح یکسانی ببینند. احساس این فشار دومین عامل موثر در این جریان است. اما مهمترین عاملی که در این جریان به ما کمک میکند آنستکه تصاویری که در هر یک از دو چشم ما از جسم واحدی بوجود می‌آیند، یکسان نیستند. اگر ابتدا یک چشم و سپس چشم دیگرمان را ببندیم و به نوبت به جسمی که در فاصله نزدیکی قرار دارد نگاه کنیم، به



شکل ۱۲۲ — یک مکعب شیشه‌ای با دایره‌های رنگی طوری که با چشم چپ و چشم راست دیده میشود.

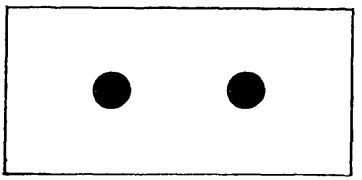
آسانی میتوانیم یقین حاصل کنیم که چشم راست و چشم چپ یک جسم واحد را یکسان نمی‌بینند و تصاویری که در هر یک از آنها بوجود می‌آیند، باهم تفاوت دارند. همین تفاوت است که بوسیله عقل ما بصورت تأثیر نقش برجسته تعبیر میشود (شکل ۱۲۰ و ۱۲۲).

حالا دو تصویر یک جسم را در نظرتان مجسم کنید که اولی آن تصویری از جسم باشد که چشم چپ می‌بیند و دومی تصویری باشد که چشم راست می‌بیند. اگر به این تصویرها طوری نگاه کنیم که هر چشم فقط تصویر منعکس‌شده در خودش را ببیند، آنوقت ما بجای دو تصویر مسطح یک جسم برجسته خواهیم دید، حتی برجسته‌تر از آنچه اجسام با یک چشم دیده میشوند. اینگونه تصویرهای زوج را بوسیله اسباب مخصوصی که «استریوسکوپ» (اسباب برجسته‌بینی) نام دارد، تماشا میکنند. در استریوسکوپ‌های قدیمی هر دو تصویر بوسیله آئینه در هم می‌آمیختند، اما در استریوسکوپ‌های جدید این عمل بوسیله منشورهای شیشه‌ای محدب صورت میگیرد. این منشورها اشعه را طوری منکسر میکنند که در صورت امتداد خیالی آنها هر دو تصویر (که در نتیجه محدب بودن منشور کمی بزرگ شده‌اند) روی یکدیگر قرار میگیرند. به‌طوری که ملاحظه میکنید، ایده استریوسکوپ فوق‌العاده ساده است، و باین دلیل تأثیری که بوسیله این اسباب‌های ساده حاصل میشود، بمراتب حیرت‌آورتر میباشد.

بدون شک اکثریت خوانندگان عکس‌های استریوسکوپیک صحنه‌ها و منظره‌های مختلف را دیده‌اند. شاید برخی، اشکالی را که برای تسهیل آموزش استریومتری (هندسه فضائی) کشیده شده است، نیز با استریوسکوپ تماشا کرده باشند. ما از این پس در باره این موارد بکار بردن استریوسکوپ که برای عموم کم و بیش معلوم است، سخنی نخواهیم گفت و فقط به بررسی آن مواردی میپردازیم که شاید برای بسیاری از مردم معلوم نباشد.

استریوسکوپ طبیعی ما

تصویرهای استریوسکوپیک را میتوان بدون هیچ اسبابی نیز تماشا کرد. فقط باید خود را عادت داد که چشم ها را بطور مناسب متوجه تصویر کرد. نتیجه‌ای که به دست می‌آید، مانند نتیجه تماشا با استریوسکوپ است، فقط با این تفاوت که در این مورد تصویر بزرگ نمیشود. ویتستون مخترع استریوسکوپ در ابتدا از همین اسلوب طبیعی استفاده میکرد.

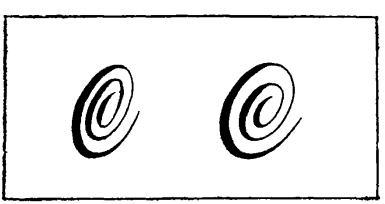


شکل ۱۲۳ — چند ثانیه به فاصله میان دو دایره نگاه کنید و از آن چشم برندارید. دایره‌ها روی هم قرار میگیرند و به صورت یک دایره به نظر می‌آیند.

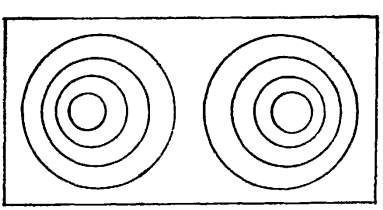
در پائین یک رشته شکل‌های استریوسکوپیک که بتدریج مرکب‌تر و بغرنج تر میشوند، از نظر خوانندگان میگذرد. بکوشید این شکل‌ها را مستقیماً بدون استریوسکوپ تماشا کنید. البته پس از مقداری تمرین نتیجهٔ لازم را به دست خواهید آورد.*

از شکل ۱۲۳ — یک جفت دایره کوچک سیاه — شروع کنید. شکل را جلو چشمتان بگیرید و در مدت چند ثانیه از فاصلهٔ میان دو دایره چشم برندارید. در این ضمن بکوشید طوری نگاه کنید که گوئی میخواهید جسمی را که دور تر از شکل، در آنسوی شکل قرار دارد، تماشا کنید. بزودی دیگر نه دو دایره، بلکه چهار دایره خواهید دید — هر دایره دو دایره میشود. اما بعد دایره‌های کناری از هم دور و دایره‌های وسطی به یکدیگر نزدیک میشوند و روی هم قرار میگیرند. اگر همین کار را با شکل ۱۲٤ و شکل ۱۲۵ تکرار کنید، در شکل ۱۲۵ وقتی دو تصویر روی هم قرار میگیرند و به صورت یک تصویر به نظر می‌آیند، گوئی در برابر خود درون لولهٔ درازی را می‌بینید که یک سر آن به نقطهٔ دوری میرود.

وقتی به این نتیجه نائل آمدید، میتوانید به تماشای شکل ۱۲٦ بپردازید. در این شکل باید اجسام هندسی را ببینید که در فضا معلق هستند. شکل ۱۲۷ بصورت راهرو دراز عمارت سنگی یا تونلی به



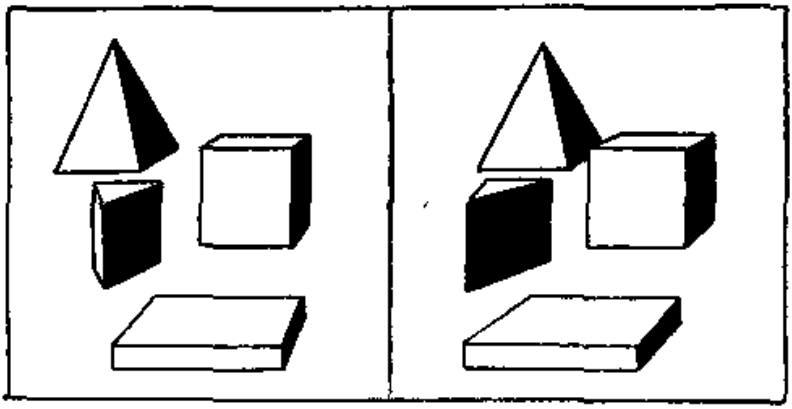
شکل ۱۲٤ — همین آزمایش را با این دو تصویر بکنید. وقتی به نتیجه مطلوب رسیدید، به آزمایش بعدی بپردازید.



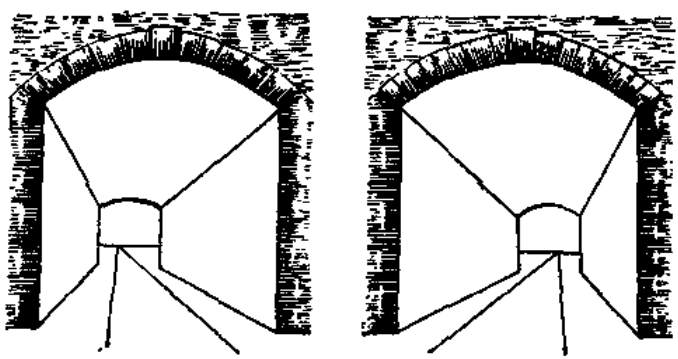
شکل ۱۲۵ — وقتی این تصویرها روی هم قرار گرفتند و مانند یک تصویر به نظر آمدند، در برابر خود درون لولهٔ درازی را خواهید دید که یک سر آن به نقطه دوری میرود.

---

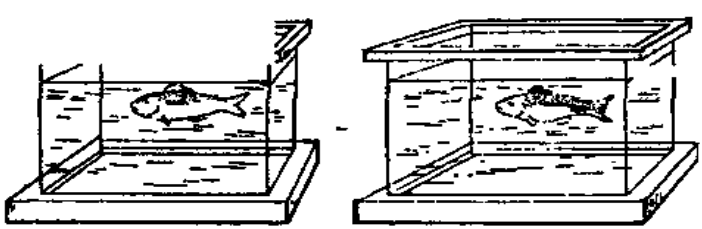
* باید خاطرنشان ساخت که همهٔ مردم نمیتوانند یاد بگیرند، حتی با استریوسکوپ، برجسته ببینند. بعضی (مثلا آنهائی که چشمشان چپ است یا آنهائی که عادت کرده‌اند فقط با یک چشم کار کنند) اصلا استعداد این کار را ندارند. برخی پس از مدت زیادی تمرین یاد می‌گیرند. عده‌ای دیگر، بطور عمده جوانان، این کار را در مدت بسیار کوتاهی — ۱۰ — ۱۵ دقیقه — یاد میگیرند.



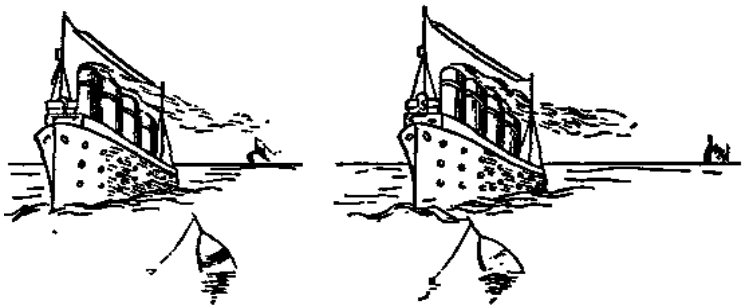
شکل ۱۲۶ — وقتی این چهار جفت شکل هندسی روی هم قرار گرفتند، مانند چهار جسم که در فضا معلق هستند، به نظر می‌آیند.



شکل ۱۲۷ — راهرو دراز یک عمارت را خواهید دید.



شکل ۱۲۸ — ماهی در حوضچه شیشه‌ای.



شکل ۱۲۹ — منظره استریوسکوپیک دریا.

نظرتان می‌آید، در شکل ۱۲۸ میتوانید از تماشای یک حوضچه شیشه‌ای شفاف لذت ببرید. بالاخره در شکل ۱۲۹ یک تابلو کامل منظره دریا در برابر خود خواهید دید.

یاد گرفتن تماشای مستقیم اینگونه تصاویر زوج کار نسبتاً آسانی است. بسیاری از آشنایان من در مدت کمی، پس از چند آزمایش مقدماتی، این کار را یاد گرفتند. اشخاص نزدیک‌بین و دوربین که عینک میزنند، میتوانند عینکشان را برندارند و تصاویررا مانند هر تصویر دیگری تماشا کنند. شکل‌ها را آنقدر نسبت به چشمتان دور و نزدیک کنید تا در مناسب‌ترین فاصله قرار بگیرند. در هر صورت آزمایش ها را باید در جائی انجام داد که کاملا روشن باشد، این امر در موفقیت آزمایش تأثیر زیادی دارد.

وقتی یاد گرفتید که شکل‌های بالا را بدون استریوسکوپ تماشا کنید، میتوانید از تجربه‌ای که اندوخته‌اید، برای تماشای هر گونه عکس استریوسکوپیک بدون اسباب مخصوص، استفاده کنید. عکس‌های استریوسکوپیکی را که در صفحات بعد به چاپ رسیده است (ص ۱۶۰ و ۱۶۵) نیز میتوانید با چشم غیر مسلح تماشا کنید. فقط نباید بیش از حد خود را به این تمرین مشغول کرد تا چشم خسته نشود.

اگر موفق نشدید چشمتان را به تماشای عکس‌های استریوسکوپیک عادت بدهید و استریوسکوپ هم نداشتید، میتوانید از شیشه‌های عینک‌های اشخاص دوربین استفاده کنید. باید شیشه‌ها را به دو سوراخی که در یک تکه مقوا تعبیه شده است، طوری بچسبانید که فقط از کناره داخلی شیشه‌ها نگاه کنید. بعلاوه باید بین دو شکل دیواره‌ای قرار داد. با این استریوسکوپ ساده کاملا میتوان به مقصود نائل آمد.

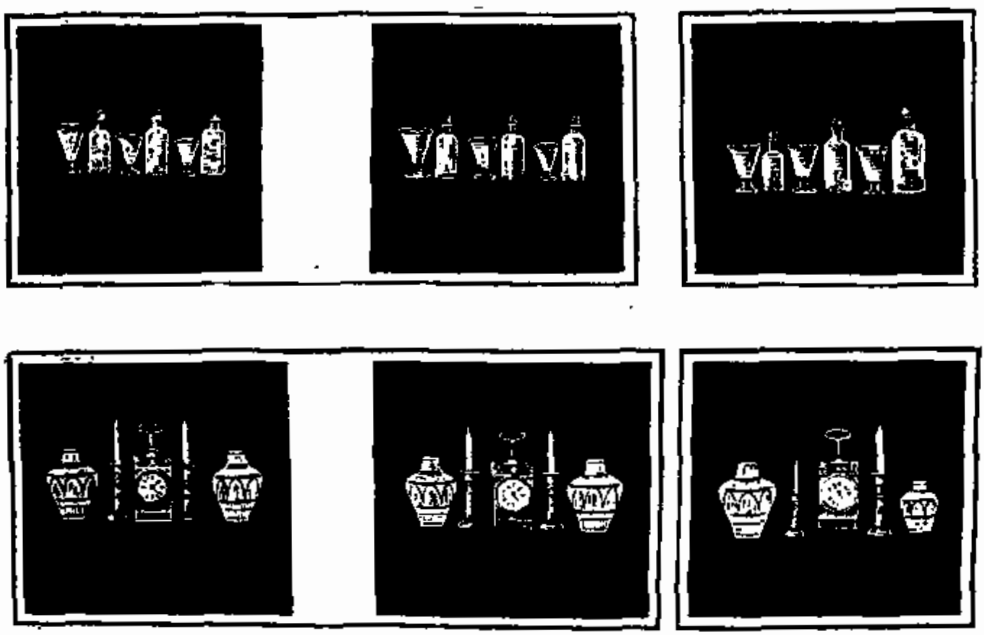
با یک چشم و با دو چشم

در شکل ۱۳۰ در بالا سمت چپ عکس سه ظرف شیشه‌ای دواخانه چاپ شده است که ظاهراً با هم مساوی هستند. هر قدر به این عکس‌ها با دقت نگاه کنید، نمیتوانید کوچکترین تفاوتی در اندازهٔ ظرف‌ها ببینید. اما تفاوت وجود دارد و بسیار هم زیاد است. ظرف‌ها به یک اندازه به نظر می‌آیند،

زیرا فاصله آنها تا چشم یا تا دوربین عکاسی به یک اندازه نیست: ظرف بزرگ دورتر از ظرف‌های کوچک است. اما از این سه ظرفی که در شکل دیده میشوند، کدام نزدیک‌تر و کدام دورتر قرار دارند؟ این مسأله را با نگاه ساده به تصویرها نمیتوان تعیین کرد.

اما اگر به کمک استریوسکوپ یا آن نوع تماشای استریوسکوپیک که هم اکنون شرح دادیم متوسل بشویم، حل مسأله آسان است. آنوقت با وضوح تمام می‌بینیم که از سه ظرف، ظرف سمت چپ خیلی دورتر از ظرف وسطی و ظرف وسطی نیز بنوبه خود خیلی دورتر از ظرف سمت راست است. تناسب حقیقی اندازه‌های ظرف‌ها در شکل سمت راست نشان داده شده است.

در شکل ۱۳۰ پائین موردی را که از مورد بالا نیز حیرت‌آورتر است، مشاهده میکنیم. در این جا عکس دو گلدان، دو شمعدان و یک ساعت را می‌بینید، ضمناً هر دو گلدان و هر دو شمعدان کاملا مساوی به نظر می‌آیند. اما در واقع از لحاظ اندازه میان آنها تفاوت زیادی وجود دارد: گلدان سمت چپ در حدود دو برابر از گلدان سمت راست بلندتر است و شمعدان سمت چپ بمراتب کوتاه‌تر از ساعت و شمعدان سمت راست. وقتی همین عکس‌ها را با استریوسکوپ تماشا کنیم، علت این دگرگونی فوراً آشکار میشود: اشیاء در یک صف چیده نشده‌اند، بلکه در فاصله‌های مختلف قرار دارند، اشیا بزرگ دورتر و اشیاء کوچک نزدیک‌تر هستند. در اینجا برتری مسلم دید استریوسکوپیک «با دو چشم» بر دید استریوسکوپیک «با یک چشم» بطور وضوح مشاهده میشود.



شکل ۱۳۰ — آنچه با استریوسکوپ دیده میشود.

آنچه هنگام تماشا با چشم غیر مسلح دیده میشود.

طریقهٔ سادهٔ کشف چیزهای جعلی

دو شکل کاملا یکسان، مثلا دو مربع سیاه مساوی، داریم. وقتی این شکل ها را با استریوسکوپ تماشا کنیم، یک مربع می‌بینیم که با هر یک از دو مربع جداگانه هیچ تفاوتی ندارد. اگر در مرکز هر یک از مربع ها یک نقطهٔ سفید باشد، البته این نقطهٔ سفید نیز در مرکز مربعی که با استریوسکوپ می‌بینیم، قرار میگیرد. اما همینکه نقطهٔ سفید یکی از مربع ها را کمی از مرکز مربع دور کنیم، تأثیر غیر منتظره‌ای می‌بخشد: باز هم مانند پیش در استریوسکوپ یک نقطه می‌بینیم، اما نه روی خود مربع، بلکه در جلو یا در عقب آن! کافی است تفاوت بسیار ناچیزی میان دو شکل وجود داشته باشد، تا با استریوسکوپ در آن برجستگی و فرورفتگی مشاهده شود.

این امر امکان میدهد تا بتوان اسکناس‌ها و سایر اسناد و مدارک جعلی را بسادگی کشف کرد. کسی مظنون را با یک اسکناس حقیقی کنار هم در استریوسکوپ بگذاریم، هر قدر هم با مهارت جعل شده باشد، فوراً جعلی بودن آن معلوم میشود: تفاوت بسیار ناچیز میان یک حرف یا یک عدد در دو اسکناس فورا به چشم میخورد، زیرا آن حرف یا آن خط در جلو یا در عقب زمینه اصلی به نظر خواهد آمد *.

دید غولان

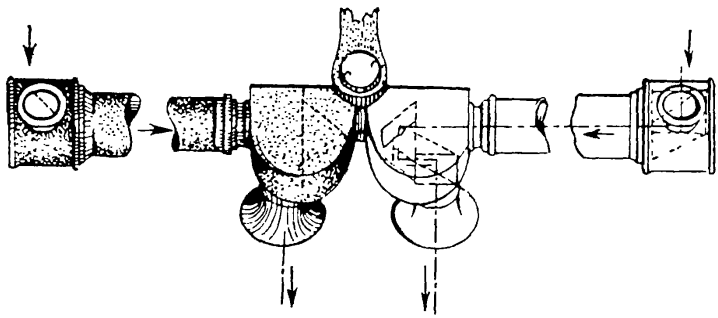
وقتی جسم در فاصلهٔ بسیار دور، بیش از ۴۵۰ متر، قرار دارد، فاصلهٔ میان چشم‌های ما دیگر نمیتواند در تفاوت تأثیرات نظری نقشی داشته باشد. به این دلیل بناها و کوههای دور و مناظر، مسطح به نظر می‌آیند. بهمین دلیل با اینکه ماه بمراتب نزدیکتر از سیارات و سیارات فوق‌العاده نزدیکتر از ثوابت هستند، ماه و همه ستارگان در یک سطح به نظر ما می‌آیند.

بطور کلی ما برای اجسامی که از ۴۵۰ متر دورتر هستند، استعداد درک بلاواسطه برجستگی‌ها و فرورفتگی‌ها را بکلی از دست میدهیم. چشم راست و چشم چپ آنها را یکسان می‌بیند، زیرا آن ۶ سانتیمتر فاصله میان مردمک چشم‌ها نسبت به مسافت ۴۵۰ متر بسیار ناچیز است. روشن است که عکس‌های استریوسکوپیک که در این شرایط برداشته شده باشند، کاملا یکسان هستند و نمیتوانند در استریوسکوپ تصور برجستگی و فرورفتگی بوجود آورند.

اما رفع این نقصان کار آسانی است: اجسام دور را باید از دو نقطه که فاصلهٔ میان آنها از فاصلهٔ معمولی میان دو چشم بیشتر است، عکس‌برداری کرد. اگر اینگونه عکس‌ها را با استریوسکوپ

---

* این فکر را که برای نخستین بار در اواسط قرن ۱۹ میلادی از طرف «دووه» اظهار شده است، نسبت به همهٔ اسکناس‌های زمان ما نمیتوان به کار برد. شرایط فنی چاپ اسکناس طوری است که حتی اگر هر دو اسکناس حقیقی باشند، نقش‌های اسکناس در استریوسکوپ به شکل تصویر مسطح به نظر نمی‌آید. اما اسلوب «دووه» برای تمیز دو صفحهٔ یک کتاب که با حروف‌چینی واحد چاپ شده، از صفحه همان کتاب که با حروف‌چینی تازه چاپ شده، کاملا مناسب است.



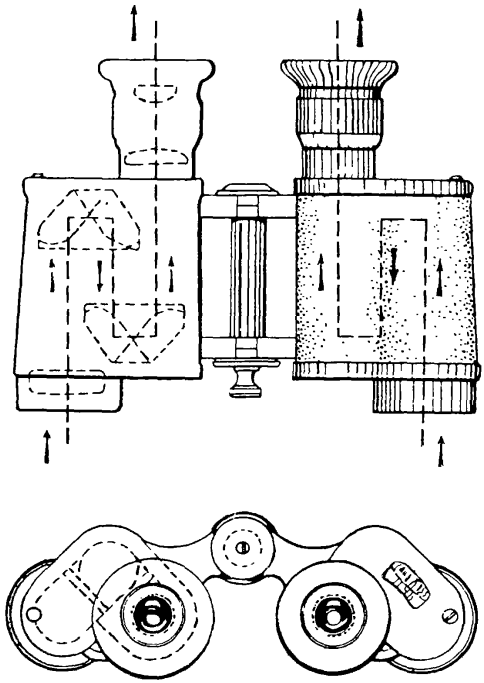
شکل ۱۳۱ — دوربین دوشاخه یا دوربین استریوسکوپیک.

تماشا کنیم، منظره‌ای خواهیم دید که هر گاه فاصلهٔ میان دو چشممان بمراتب بیش از فاصلهٔ معمولی بود، می‌دیدیم. راز برداشتن عکس‌های استریوسکوپیک از مناظر در همین است. معمولا این عکس‌ها را از پشت منشورهای بزرگ‌کننده (که سطوح آنها محدب است) تماشا میکنند، بطوری که اینگونه عکس‌های استریوسکوپیک برجسته اغلب با مقیاس طبیعی به نظر می‌آیند و تأثیر حیرت‌آوری می‌بخشند.

لابد خوانندگان حدس زده‌اند که ممکن است اسبابی مرکب از دو دوربین ساخت که بتوان برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های منظره را مستقیماً در طبیعت دید، نه از روی عکس. اینگونه اسباب‌ها واقعاً وجود دارد و دوربین‌دوشاخه نامیده میشود و از دو لوله عبارت میباشد که فاصلهٔ میان آنها از فاصلهٔ معمولی میان چشم‌ها زیادتر است و هر دو تصویر بوسیله منشورهای منعکس‌کننده به چشم میرسند (شکل ۱۳۱). وقتی با این اسباب تماشا میکنی چنان احساس خارق‌العاده‌ای بوجود می‌آید که توصیف ناپذیر است. سر تا سر طبیعت دگرگون میشود. کوههای دوردست برجسته به نظر می‌آیند، درختان، سنگلاخ‌ها، بناها و کشتی‌ها در دریا — همه چیز برجسته و محدب است و در فضای لایتناهی قرار دارد، نه روی یک صفحهٔ مسطح. شما با چشم خود می‌بینید کشتی دوردستی که با دوربین معمولی بی‌حرکت به نظر می‌آید، چگونه حرکت میکند. قاعدتاً غولان افسانوی میبایست مناظر زمین ما را به این شکل می‌دیدند.

اگر دوربین‌ها ۱۰ بار بزرگ کنند و فاصله میان عدسی‌ها ۶ برابر فاصلهٔ معمولی میان مردمک‌های چشم‌ها (یعنی، ۳۹=۶×۶/۵ سانتیمتر) باشد، در آنصورت تصویری که می‌بینیم ۶۰=۱۰×۶ بار واضح تر از تصویری است که با چشم غیر مسلح خواهیم دید. در نتیجه حتی چیزهائی که در فاصلهٔ ۲۰ کیلومتری قرار داشته باشند، باز هم بحد کافی برجسته به نظر می‌آیند.

دوربین‌دوشاخه برای مساحان، دریانوردان، توپچی‌ها و جهان‌گردان اسبابی است بی‌همتا، بخصوص اگر به صفحهٔ مدرجی که میتوان بوسیلهٔ آن مسافت را اندازه گرفت (مسافت‌یاب استریوسکوپیک)، مجهز باشد.



شکل ۱۳۲ — دوربین منشوری.

دوربین منشوری «زایس» نیز همین تأثیر را می‌بخشد، زیرا فاصلهٔ میان عدسی‌های آن بیش از فاصلهٔ معمولی میان چشم‌ها میباشد (شکل ۱۳۲). در دوربین‌های مخصوص تآتر، برعکس، فاصلهٔ میان عدسی‌ها کمتر از فاصلهٔ معمولی میان چشم‌ها است، تا از میزان برجستگی بکاهد و دکوراسیون طبیعی به نظر بیاید.

جهان در استریوسکوپ

اگر با دوربین دوشاخه به ماه یا به یکی از ستارگان نگاه کنیم، هیچ گونه برجستگی نخواهیم دید. انتظار دیگری نیز نمیبایست داشته باشیم، زیرا مسافت‌های آسمانی حتی برای دوربین دوشاخه نیز فوق‌العاده زیاد هستند. فاصله ۳۰ — ۵۰ سانتیمتر میان دو عدسی دوربین‌دوشاخه در مقایسه با فاصلهٔ میان زمین و ستارگان چه اهمیتی دارد؟ اگر میتوانستیم دوربین‌دوشاخه‌ای بسازیم که فاصلهٔ میان لوله‌های آن حتی دهها و صدها کیلومتر بود، باز هم وقتی با آن به ستارگانی که دهها میلیون کیلومتر از ما دورند نگاه میکردیم، کوچکترین تأثیری نمی‌بخشید.

در اینجا باز هم عکس‌های استریوسکوپیک به ما کمک میکنند. فرض کنیم ستاره‌ای را دیروز و سپس امروز عکس‌برداری کرده‌ایم. هر دو بار هنگام عکس‌برداری، ما در یک نقطه زمین، اما در دو نقطه مختلف منظومه شمسی بوده‌ایم، زیرا کره زمین در یک شبانه روز میلیون‌ها کیلومتر در مدار خود حرکت کرده است. و البته این دو عکس همانند نخواهند بود. اگر این عکس‌ها را در استریوسکوپ بگذاریم، آنوقت نه تصویر مسطح، بلکه تصویر برجسته‌ای خواهیم دید.

بنا بر این ما میتوانیم با استفاده از حرکت زمین در مدارش، اجسام آسمانی را از دو نقطهٔ بسیار دور از یکدیگر عکس‌برداری کنیم، و این عکس‌ها عکس‌های استریوسکوپیک خواهند بود. غولی را با سری عظیم در نظرتان مجسم کنید که فاصلهٔ میان چشمهایش چندین میلیون کیلومتر باشد، آنوقت می‌فهمید که منجمین با استفاده از عکس‌برداری فضائی چه نتایج فوق‌العاده‌ای به دست می‌آورند.

در حال حاضر برای کشف ستارگان جدید، بخصوص اختروارههای (آستروئیدها) بیشماری که در فضای میان مدار مریخ و مشتری در گردشند، از استریوسکوپ استفاده میکنند. تا چندی پیش کشف این آستروئیدها امری بود تصادفی و بسته به بخت و اقبال جوینده. حالا کافی است دو عکس استریوسکوپیک را که در دو زمان مختلف از یک قسمت آسمان برداشته شده است، با هم مقایسه کنیم. اگر در آن قسمت آسمان آستروئید وجود داشته باشد، استریوسکوپ فوراً آن را نمودار خواهد کرد، زیرا آستروئید نسبت به زمینه عمومی برجسته به نظر خواهد آمد.

با استریوسکوپ نه فقط تفاوت محل نقاط، بلکه تفاوت میزان نور آنها را نیز میتوان فهمید. این امر برای منجمین امکان مناسبی فراهم می‌آورد تا ستارگانی را که به تناوب درخشش آنها تغییر میکند و ستاره متغیر نامیده میشوند، پیدا کنند. هر گاه در دو عکس آسمان، ستاره‌ای از ستارگان با درخشش‌های مختلف افتاده باشد، استریوسکوپ فوراً این ستاره‌ای را که درخشش آن تغییر کرده، به منجم نشان میدهد.

دید با سه چشم

گمان نکنید که در اینجا چشم سوم از آنگونه اشتباهات نظیر گوش سوم است که ایوان ایگناتیویچ در حال هیجان در رمان پوشکین «دختر سروان» کرد و گفت: «او یک مشت به پوزه شما زد، شما هم یک کشیده به یک گوشش، یک کشیده به گوش دیگرش و یک کشیده به گوش سومش بزنید و راهتان را بکشید و بروید». ما واقعاً از امکان دید با سه چشم بحث میکنیم.

با سه چشم ببینیم؟ مگر میشود چشم سومی هم برای خود تهیه کرد؟

بدانید و آگاه باشید که ما همانا از دید با سه چشم بحث خواهیم کرد. علم توانائی آن را ندارد که به آدم چشم سومی بدهد، اما قادر است امکان فراهم آورد تا انسان اشیاء را طوری ببیند که آن اشیاء قاعدتاً میبایست به نظر موجود سه‌چشمی بیایند.

از آن شروع میکنیم که یک آدم محروم از یک چشم کاملا میتواند عکس‌های استریوسکوپیک را تماشا کند و عکس‌ها چنان تأثیر برجستگی در وی میبخشند که او بدون استریوسکوپیک تصورش را هم نمیتوانست بکند. برای این کار باید عکس‌هائی را که برای چشم راست و چشم چپ در نظر گرفته شده است، روی پرده آورد و بسرعت آنها را با یکدیگر عوض کرد. آنچه را آدم دو چشم در یک زمان با هر دوچشم می‌بیند، آدم یک‌چشم به تناوب و تغییر سریع خواهد دید. اما نتیجه‌ای که

حاصل میشود، یکی است، تأثیرات بصری که بسرعت عوض شوند، درست مانند تأثیرات همزمان به شکل یک تصویر واحد در هم می‌آمیزند*.

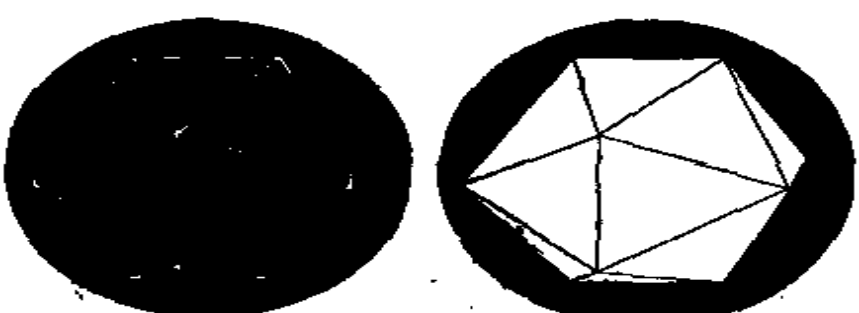
حال که چنین است، آدم دوچشم میتواند در آن واحد با یک چشم دو عکس را ببیند که بسرعت با یکدیگر عوض میشوند و با چشم دیگر عکس دیگری را که از نقطه سومی برداشته شده است.

بعبارت دیگر، یک چیز واحد را از سه نقطهٔ مختلف عکس‌برداری میکنند و این سه نقطه حالت سه چشم را دارند. بعد دو عکس از این سه عکس در حالیکه بسرعت با یکدیگر عوض میشوند، روی یک چشم بیننده اثر می‌بخشند. وقتی دو عکس بسرعت با یکدیگر عوض میشوند، تأثیراتی که می‌بخشند، بشکل یک تصویر برجسته مرکب در هم می آمیزد. اثر سومی از چشم دیگر که عکس سوم را نگاه میکند، به این تصویر افزوده میشود.

در این شرایط با اینکه فقط با دو چشم نگاه میکنیم، تأثیری که در ما به‌وجود می‌آید، عیناً مانند تأثیر نگاه کردن با سه چشم است. در اینصورت برجستگی به حد اعلای خود میرسد.

درخشندگی چیست؟

عکس‌های استریوسکوپیک که در شکل ۱۳۳ مشاهده میکنید، دو چندسطحی است، یکی سیاه در زمینهٔ سفید و دیگری سفید در زمینهٔ سیاه. اگر این عکس‌ها را با استریوسکوپ تماشا کنیم، چه خواهیم دید؟ تصور آنچه خواهیم دید بسیار دشوار است. ببینیم هلم‌هلتس چه میگوید:



شکل ۱۳۳ — درخشندگی استریوسکوپیک. وقتی این دو شکل را با استریوسکوپ نگاه کنیم، به هم درمی‌آمیزند و بصورت بلور درخشانی در زمینه سیاه به نظر می‌آیند.

* شاید علت برجستگی تعجب‌آوری که گاهی در فیلم‌های سینما مشاهده میشود، علاوه بر عللی که قبلا به آن اشاره شد، تا حدودی تأثیری باشد که اکنون در باره آن بحث میکنیم. اگر دوربین فیلم‌برداری ضمن کار بطور یکنواخت تکان میخورده است (که اغلب در نتیجه کار مکانیسمی که فیلم را به حرکت در می‌آورد، تکان هم میخورد)، در آنصورت عکس‌ها کاملا همانند برداشته نشده‌اند. وقتی این عکس‌ها روی پرده بسرعت با یکدیگر عوض شوند، در شعور ما به شکل تصویر برجسته‌ای در هم می‌آمیزند.

« وقتی یک سطح معین در یک عکس استریوسکوپیک، سفید و در عکس دیگر سیاه تصویر شده است، تصویر واحد این دو عکس، حتی اگر روی کاغذ کاملا مات کشیده شده باشند، درخشان به نظر می‌آید. طرح‌های استریوسکوپیک مدل بلورها که اینطور کشیده شده باشند، چنان تأثیر می‌بخشند که گوئی مدل بلور از گرافیت درخشان ساخته شده است. درخشش آب و برگ‌ها و امثال آنها در عکس‌های استریوسکوپیک، با بکار بردن این اسلوب، از درخشش مدل بلور هم بهتر به نظر می‌آید».

در کتاب قدیمی سچنوف فیزیولوژیست بزرگ روسی بنام «فیزیولوژی اعضای حس. بینائی» (چاپ ۱۸۶۷)، کتابی که از لحاظ مضمون هنوز بهیچوجه کهنه نشده است، توضیح بسیار خوب این پدیده را میتوانیم بخوانیم. آن توضیح بقرار زیر است:

« در آزمایش‌های در هم آمیختن مصنوعی استریوسکوپیک سطح هائی که بطور مختلف روشن یا بطور مختلف رنگ شده‌اند، شرایط واقعی دیدن اجسام درخشان تکرار میشود. در واقع تفاوت یک سطح مات با یک سطح درخشان (صیقلی) چیست؟ سطح مات نور را بطور پراکنده به همه طرف منعکس میکند، به این دلیل از هر سو به آن نگاه کنیم با روشنائی یکسانی به نظر می‌آید. اما سطح صیقلی نور را فقط به طرف معینی منعکس میکند، به این دلیل ممکن است حتی مواردی پیش بیاید که به یک چشم شخصی که به چنین سطحی نگاه میکند، مقدار زیادی اشعهٔ منعکس‌شده در سطح برسد و به چشم دیگر تقریبا هیچ شعاعی نرسد (این شرایط درست با مورد درهم آمیختن استریوسکوپیک سطح‌های سفید و سیاه مطابقت دارد). اما موارد تقسیم نابرابر نور منعکس‌شده در سطح‌های صیقلی درخشان میان دو چشم بیننده (یعنی مواردی که به یک چشم بیننده بیش از چشم دیگر نور میرسد)، ظاهراً اجتناب‌ناپذیر است.

به این ترتیب، خوانندگان ملاحظه میکنند که درخشندگی استریوسکوپیک دلیلی است بر اثبات این فکر که در پدیدهٔ درهم آمیختن تصویرها بصورت یک تصویر برجسته، تجربه و عادت نقش درجه یک را دارد. وقتی دایره‌های دید متفاوت باشد همینکه به دستگاه بینائی که با تجارب فراوان پرورش یافته است، امکان داده شود این تفاوت را به موردی از موارد دید واقعی مربوط کند، فوراً مبارزه میان دایره‌های دید جای خود را به تصور راسخ و استوار میدهد».

به این ترتیب، علت (یا اقلا یکی از علل) اینکه درخشندگی می‌بینیم، روشنی غیر یکسان تصاویری ست که در چشم راست و چشم چپمان منعکس میشوند. تصور نمیرود که ما میتوانستیم بدون ریوسکوپ این علت را کشف کنیم.

دید هنگام حرکت سریع

قبلا گفتیم که وقتی تصاویر مختلف یک جسم واحد به سرعت با یکدیگر عوض شوند و در چشم درهم آمیزند، تأثیر بصری برجستگی به وجود می‌آورند.

حالا چنین سؤالی پیش می‌آید: آیا فقط وقتی که تصاویر متحرک را با چشم ساکن می‌بینیم این پدیده صورت میگیرد یا وقتی چشمی که بسرعت حرکت میکند تصاویر ساکن را، می‌بیند نیز عین این پدیده صورت خواهد گرفت؟

از قرار معلوم، همانطور که میبایست انتظار برود، در این مورد نیز تأثیر استریوسکوپیک روی خواهد داد. لابد بسیاری از خوانندگان توجه کرده‌اند که فیلم‌های سینما که از قطار در حال حرکت سریع برداشته شده، چنان برجسته به نظر می‌آیند که از آنچه با استریوسکوپ می‌بینیم، هیچ دست کمی ندارند.

اگر به تأثیرات بصری که هنگام حرکت سریع در واگن یا در اتوبیل در ما به وجود می‌آید، بدقت توجه کنیم، میتوانیم به چشم خود این پدیده را ببینیم و به صحت آن یقین حاصل کنیم. احساس برجستگی و فرورفتگی به میزان قابل ملاحظه‌ای زیاد میشود و از آن ۴۰۰ متری که برای چشم غیر متحرک مرز دید استریوسکوپیک میباشد، به هر سو گسترش می‌یابد.

آیا علت آن تأثیر مطبوعی که تماشای مناظر از پنجره واگن در حال حرکت سریع در ما به وجود می‌آورد، در همین واقعیت نهفته نیست؟ مرز دید دور میشود و ما عظمت مناظر طبیعت را که به هر سو گسترش یافته است، با وضوح تمام تمیز میدهیم. وقتی با اتوبیلی که به سرعت حرکت میکند از میان جنگل میگذریم — به همان دلیل — جنگل را مانند بینندهٔ غیر متحرک یکپارچه و در هم آمیخته نمی‌بینیم، بلکه هر درخت، هر شاخه و هر برگ کاملا مشخص و مجزا از یکدیگر به نظر می‌آید. وقتی در راههای کوهستانی با اتوبیل به سرعت حرکت میکنیم، تمام عوارض زمین را مستقیماً به چشم خود می‌بینیم و تمام زیبائی‌های پست و بلندی‌های کوهها و دره‌ها را کاملا حس میکنیم. اشخاص یک چشم که از اینگونه دیدن مناظر محرومند، نیز میتوانند تمام آنچه را که توضیح داده شد، ببینند و لذت ببرند. قبلا متذکر شدیم که، بر خلاف آنچه معمولا خیال میکنند، برای برجسته دیدن بهیچوجه ضرورتی ندارد که تصویرهای مختلف را حتماً با دو چشم و در زمان واحد ببینیم. اگر تصویرهای مختلف با سرعت کافی با یکدیگر عوض شوند و در شبکیهٔ چشم در هم بیامیزند، با یک چشم نیز دید استریوسکوپیک صورت خواهد گرفت *.

آزمایش آنچه گفته شد، کاری است بسیار آسان. برای این کار فقط لازم است که وقتی در واگن قطار راه‌آهن یا در اتوبوس نشسته‌اید، به آنچه می‌بینید قدری دقت کنید. در این حال شاید پدیده حیرت‌آور دیگری را نیز مشاهده کنید که صد سال پیش «دووه» در باره آن نوشته است (چیزی حقیقتاً نو است، که کاملا از یاد رفته است!)، و آن پدیده اینست: اجسامی که از نزدیک جلو پنجره بسرعت پدیدار و ناپدید میشوند، کوچکتر از آنچه واقعاً هستند، به نظر می‌آیند. علت این پدیده که با دید استریوسکوپیک چندان وجه مشترکی ندارد، اینستکه وقتی چیزهائی را می‌بینیم که با سرعت زیاد حرکت میکنند، در باره نزدیکی آنها به غلط قضاوت میکنیم. گوئی بی‌اختیار چنین قضاوت میکنیم: اگر جسم به ما بسیار نزدیک است، پس باید در واقع کوچکتر از معمول باشد تا به همان اندازه به نظر ما بیاید که همیشه می‌آید. این توضیح را هلم‌هولتس داده است.

---

* اگر قطار از پیچ منحنی راه‌آهن بگذرد و چیزهائی که از آنها فیلم برداشته میشود، در جهت شعاع منحنی قرار داشته باشند، آن فیلم برجسته به نظر خواهد آمد. علت برجسته به نظر آمدن قابل ملاحظه اینگونه فیلم‌ها نیز تعویض سریع تصویرها و درهم آمیختن آنها است. فیلمبرداران این «تأثیر راه آهن» را بخوبی میدانند.

از پشت عینک رنگی

اگر با عینکی که شیشه‌های آن سرخ است به خطوطی که به رنگ سرخ در زمینه سفید نوشته شده، نگاه کنید، فقط یک زمینه سرخ یکدست خواهید دید. هیچ کلمه‌ای از خطوط را نخواهید دید، زیرا حروف سرخ با زمینه سرخ در هم می‌آمیزند. اگر با همان عینک به خطوطی که به رنگ آبی در زمینه سفید نوشته شده، نگاه کنید، با وضوح تمام حروف سیاهی در زمینه سرخ خواهید دید. به آسانی می‌توان فهمید چرا حروف سیاه هستند، زیرا اشعهٔ آبی از شیشهٔ سرخ نمیگذرند (علت سرخ بودن شیشه نیز همان است که فقط اشعهٔ سرخ از آن میگذرند). بنا بر این شما باید به جای حروف آبی عدم نور، یعنی حروف سیاه ببینید.

تأثیر تصویرهائی که به طرز ویژه‌ای چاپ شده و آناگلیف نام دارد، بر اساس همین خصوصیت شیشه‌های رنگی میباشد. تأثیری که آناگلیف‌ها می‌بخشند، عین تأثیر عکس‌های استریوسکوپیک میباشد. در آناگلیف‌ها دو تصویری که مربوط به چشم راست و چشم چپ است روی یکدیگر چاپ میشوند، اما به دو رنگ مختلف: یکی آبی و دیگری سرخ.

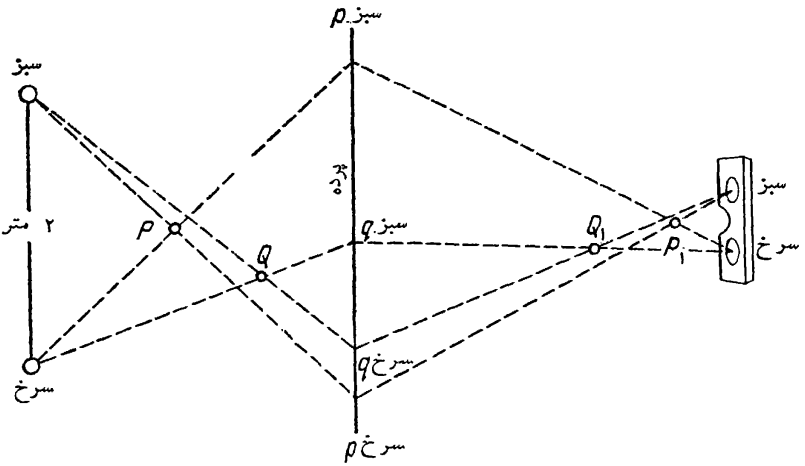
برای آنکه بجای دو تصویر رنگی یک تصویر سیاه اما برجسته ببینیم، کافی است که با عینک رنگی به آنها نگاه کنیم. چشم راست از پشت شیشهٔ سرخ فقط نقش آبی، یعنی همان نقشی را می‌بیند که با چشم راست وفق دارد (ضمناً نه رنگی بلکه سیاه). چشم چپ نیز از پشت شیشهٔ آبی فقط نقش سرخ را که با آن وفق دارد، می‌بیند. هر چشم فقط یک تصویر می‌بیند، آنهم فقط تصویری که با آن چشم وفق دارد. شرایطی که در اینجا وجود دارد، برای ما با شرایط استریوسکوپ همانند است، بنا بر این نتیجه حاصله نیز باید یکی باشد، یعنی تصویر برجسته به‌نظر بیاید.

«معجزات سایه‌ها»

تأثیر «معجزات سایه‌هائی» که گاهی در سینما نشان میدادند، بر اصلی متکی است که هم اکنون بررسی کردیم.

«معجزات سایه‌ها» عبارت از آنستکه سایه‌های اجسام متحرک را روی پرده می‌اندازند و این سایه‌ها بصورت اشکال برجسته‌ای که از پرده بیرون می‌آیند و جلو میروند، به نظر تماشاچیان (که عینک دو رنگ زده‌اند) می‌رسد. در اینجا در نتیجه تأثیر استریوسکوپی دورنگ است که اشکال اینگونه به نظر می‌آیند. جسمی را که میخواهند سایه آن را نشان دهند، در فاصلهٔ میان پرده و دو منبع نور — سرخ و سبز — که پهلوی یکدیگر قرار دارند، جا میدهند. دو سایهٔ رنگی — سرخ و سبز — که قسمتی از آنها روی یکدیگر قرار میگیرد، روی پرده می‌افتد. تماشاچیان با عینک‌هائی که شیشه‌های آن مسطح و یکی سرخ و دیگری سبز است، سایه‌ها را تماشا میکنند.

هم اکنون گفتیم که در این شرایط سایه‌ها بصورت اشکال برجسته‌ای که از سطح پرده بیرون می‌آیند و جلو میروند، به نظر تماشاچیان میرسند. تصاویری که بوسیله «معجزات سایه‌ها» به نظر می‌آیند، فوق‌العاده جالب و خنده‌دار هستند. گاهی تصور میرود که جسمی را که پرتاپ کرده‌اند، مستقیماً به طرف تماشاچیان می‌آید، یا مثلا عنکبوت کوه‌پیکری در هوا به سوی تماشاچیان گام برمیدارد و تماشاچیان بی‌اختیار فریاد میزنند و سرشان را بر میگردانند. دستگاه نمایش «معجزات سایه‌ها»



شکل ۱۳٤ — راز «معجزات سایه‌ها».

فوق‌العاده ساده است و با یک نگاه به شکل ۱۳٤ میتوان به راز آن پی برد. در شکل ۱۳٤ سمت چپ لامپ سبز و لامپ سرخ نشان داده شده است. P و Q اجسامی هستند که در فاصلهٔ میان لامپ‌ها و پرده قرار گرفته‌اند. p سبز و q سرخ و نیز p سرخ و q سبز سایه‌های رنگی این اجسام روی پرده هستند. P_1 و Q_1 جاهائی است که تماشاچی از پشت شیشه‌های رنگی سبز و سرخ (سمت راست) آنها را می‌بیند. وقتی عنکبوت واهی در روی پرده از Q به P میرود، چنین به نظر تماشاچی می‌آید که عنکبوت از Q_1 به P_1 حرکت میکند.

بطور کلی وقتی جسمی در پشت پرده به منبع نور نزدیک و در نتیجه سایه آن روی پرده بزرگ شود، در تماشاچی تصوری به وجود می‌آید که جسم از پرده به طرف او حرکت میکند.

تغییر غیر منتظرهٔ رنگ‌ها

قبل از هر چیز بجا و بموقع است که از یک رشته آزمایش‌هائی که در «غرفهٔ علم برای سرگرمی» در پارک مرکزی فرهنگ و استراحت لنینگراد صورت میگیرد و تماشاچیان بسیار از آن خوششان می‌آید، چند کلمه‌ای بگوئیم. یکی از اطاق‌های عمارت را مانند اطاق پذیرائی مبله کرده‌اند. روکش مبل‌ها نارنجی سیر است، روی میز یک رومیزی سبز گسترده و تنگی پر از شربت سرخ‌رنگ و مقداری گل گذاشته‌اند. قفسه کتاب پر از کتاب است و نوشته‌های روی جای شیرازه‌بندی کتاب‌ها هر یک به رنگی. ابتدا همهٔ اینها را در پرتو چراغ برق سفید معمولی نشان میدهند. بعد با یک چرخش کلید برق، نور سفید معمولی به نور سرخ تبدیل میشود و با این عمل در اطاق پذیرائی تغییرات غیر منتظره‌ای روی میدهد: مبل صورتی رنگ میشود، رومیزی سبز به رومیزی نیلوفری تیره تبدیل میگردد،

شربت سرخ مانند آب زلال بیرنگ میشود، گل‌ها چنان تغییر رنگ میدهند که گوئی اصلا آن گل‌های سابق نیستند، قسمتی از نوشته‌های روی کتاب‌ها ناپدید میشوند و اثری از آنها باقی نمیماند...

با یک چرخش دیکر کلید برق، نور سبز رنگی بر اطاق پرتو می‌افکند و اطاق طوری عوض میشود که نمیتوان آن را شناخت.

آموزش نیوتن در باره رنگ اجسام تمام این دگرگونی‌های جالب را بخوبی برای ما روشن میکند. اساس آموزش نیوتن اینستکه رنگ سطح اجسام همیشه نه رنگ اشعه‌ای است که جسم بخود جذب میکند، بلکه رنگ اشعه‌ای است که می‌پراکند و منعکس میکند و به چشم بیننده میرساند. تیندال فیزیسین معروف انگلیسی و هم‌میهن نیوتن این حکم را به ترتیب زیر فرموله میکند:

« وقتی جسمی را با نور سفید روشن میکنیم، رنگ سرخ در اثر جذب اشعهٔ سبز ظاهر میشود و رنگ سبز در اثر جذب اشعهٔ سرخ، ضمنا بقیه رنگ‌ها در هر دو حالت ظاهر میشوند. این بدان معنی است که رنگ اجسام از طریق معکوس حاصل میشود، بعبارت دیگر رنگ نتیجهٔ کاهش است، نه نتیجه افزایش ».

بنا بر این، رومیزی سبز در پرتو نور سفید به آن دلیل سبز است که میتواند بطور عمده اشعه سبز و اشعهٔ نزدیک به آن را پخش کند. سایر اشعه را به میزان خیلی کم پخش میکند و قسمت اعظم آنها را جذب میکند. اگر به طرف این رومیزی مخلوطی از اشعهٔ قرمز و بنفش روانه کنیم، رومیزی تقریباً فقط اشعهٔ بنفش را پخش خواهد کرد و قسمت اعظم اشعهٔ سرخ را جذب خواهد کرد و در چشم تأثیر رنگ نیلوفری سیر به وجود خواهد آمد.

علت کلیهٔ تغییرات رنگ‌ها در اطاق پذیرائی نیز تقریباً همین است. فقط بی‌رنگ شدن شربت سرخ معما به نظر می‌آید. چرا شربت سرخ در پرتو نور سرخ بی‌رنگ به نظر می‌آید؟ کلید حل این معما در اینستکه تنگ شربت سرخ رنگ روی دستمال سفیدی است که روی رومیزی سبز پهن شده است. اگر تنگ را از روی دستمال برداریم، فوراً دیده میشود که مایع درون تنگ در پرتو نور سرخ بی‌رنگ نیست، بلکه سرخ است. شربت فقط در مجاورت دستمال، بی‌رنگ به نظر می‌آید، و دستمال در زیر اشعهٔ سرخ به رنگ سرخ در می‌آید، اما ما برحسب عادت و به علت فرق نمایان رنگ دستمال با رنگ رومیزی تیره، باز هم خیال میکنیم که دستمال سفید است. و چون رنگ شربت داخل تنگ با رنگ سفید زیر تنگ یکی است، ما بی‌اراده شربت را هم سفید میشماریم و شربت سرخ در نظر ما دیگر شربت نیست، بلکه آب بی‌رنگ است.

آزمایش‌های نظیر آزمایش‌های بالا را میتوان در شرایط ساده‌تر نیز انجام داد. کافی است چند تکه شیشهٔ رنگی تهیه کنید و از پشت آنها به چیزهائی که در اطرافتان هست، نظر بیاندازید. (تأثیر اینگونه آزمایش‌ها در کتاب « آیا فیزیک میدانید »؟ اثر اینجانب توصیف شده است).

بلندی کتاب

مهمانی در خانه شما است و کتابی در دست دارد. از مهمان بپرسید که اگر کتاب را بطور قائم پهلوی دیوار روی کف اطاق قرار بدهید، تا چه نقطه‌ای خواهد رسید و پیشنهاد کنید که آن نقطه را با انگشت نشان بدهد. وقتی مهمان این کار را کرد کتاب را بطور قائم پهلوی دیوار روی کف اطاق بگذارید. معلوم خواهد شد بلندی کتاب تقریباً نصف آنست که مهمان شما نشان داده است!

اگر مهمان برای نشان دادن آن نقطه روی دیوار، خودش خم نشود، بلکه فقط بگوید که در کجای دیوار باید علامت گذاشت، این آزمایش خیلی بهتر انجام خواهد گرفت. البته این آزمایش را نه فقط با کتاب، بلکه با چراغ، کلاه و کلیه چیزهائی که ما معمولا عادت کرده‌ایم از نزدیک سطح چشممان ببینیم، میتوان انجام داد.

علت این خطای باصره آنستکه وقتی ما در طول اجسام به آنها نگاه میکنیم، همه آنها کوتاه‌تر به نظر می‌آیند.

اندازه ساعت مناره

همان اشتباهی را که مهمان شما در تخمین بلندی کتاب کرد، ما همیشه در تخمین اندازه چیزهائی هم که در ارتفاع زیاد قرار دارند، میکنیم. بخصوص اشتباه در تخمین اندازه ساعت مناره بسیار بارز است و جنبهٔ عمومی دارد. البته ما میدانیم که اینگونه ساعت ها بسیار بزرگند، با وجود این، تصوری که از بزرگی آنها داریم، بمراتب کوچکتر از اندازه واقعی این ساعت‌ها است. در شکل ۱۳۰ صفحهٔ ساعت معروف منارهٔ کلیسای وستمینستر لندن را مشاهده میکنید، که پائین آورده شده است.

شکل ۱۳۰ — اندازه ساعت مناره کلیسای وستمینستر.

آدم‌ها در مقایسه با آن مانند مورچه به نظر می‌آیند. وقتی به منارهٔ ساعت که از دور دیده میشود، نگاه میکنید، نمیتوانید باور کنید که اندازهٔ سوراخ‌هائی که در مناره می‌بینید، مساوی اندازهٔ این ساعت است.

سیاه و سفید

از دور به شکل ۱۳۶ نگاه کنید و بگوئید: در فاصلهٔ خالی میان دایرهٔ پائینی و یکی از دو دایرهٔ بالائی چند دایره ممکن است جابگیرد — چهار دایره یا پنج دایره؟ به احتمال نزدیک به یقین جواب خواهید داد که چهار دایره به راحتی جا میگیرد، اما برای دایرهٔ پنجم جا کافی نیست.

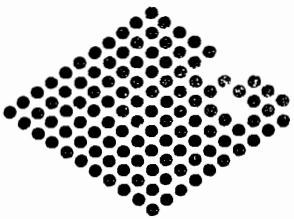
وقتی به شما بگویند که در این فاصله فقط سه دایره جا میگیرد و بس، باور نخواهید کرد. یک صفحه کاغذ یا پرگار را بردارید و اندازه بگیرید تا یقین حاصل کنید که جواب شما درست نیست.

این خطای عجیب حس باصره که در نتیجهٔ آن مسافات سیاه کوچکتر از مسافات سفید مساوی آنها به نظر ما می‌آیند، «ایرادیاسیون» یا «پرتو افکنی» نام دارد و به عدم کمال چشم ما مربوط است. چشم ما، بعنوان یک دستگاه بصری، با اصول دقیق اپتیک مطابقت کامل ندارد. محیط منکسر کنندهٔ چشم طوری است که محیط اطراف تصویری که در شبکیهٔ چشم منعکس میشود، مانند محیط اطراف تصویر روی شیشهٔ بات دوربین عکاسی که‌خوب تنظیم شده باشد، دقیق و مشخص نیست. در اثر پدیده‌ای که انحراف محیطی نام دارد، به دور هر یک از محیط‌های روشن حاشیهٔ روشنی بوجود می‌آید که اندازه آن را روی شبکیهٔ چشم زیادتر میکند. در نتیجه همیشه مسافات روشن زیادتر از مسافات سیاه مساوی آنها به نظر ما می‌آیند.

گوته شاعر شهیر آلمانی که‌درمطالعهٔ پدیده‌های طبیعی تیزبینی خاصی داشت، اما در بررسی مسائل تئوریک فیزیک اغلب احتیاط را از کف میداد، در کتاب خود بنام «آموزش رنگ‌ها» در بارهٔ این پدیده می‌نویسد:

«اجسام تیره از اجسام روشن مساوی خود کوچکتر به نظر می‌آیند. اگر در آن واحد به دایرهٔ سفیدی در زمینهٔ سیاه و به دایرهٔ سیاهی، با همان شعاع، در زمینهٔ سفید نگاه کنیم، دایرهٔ سیاه تقریباً به اندازه $\frac{1}{5}$ کوچکتر از دایرهٔ سفید به نظر می‌آید. اگر دایرهٔ سیاه به همین نسبت بزرگتر از دایرهٔ سفید باشد، این دو دایره مساوی به نظر خواهند آمد. داس ماه نو طوری به نظر می‌آید که گوئی شعاع دایره مربوطه آن از شعاع قسمت تاریک ماه، که گاهی در این شرایط دیده میشود، («رنگ خاکستری» ماه — برلمان) بزرگتر است. آدم با لباس تیره باریک‌تر از وقتی که لباس روشن پوشیده است، به نظر می‌آید. منبع نوری که از پشت لبهٔ چیزی دیده میشود، چنان به نظر می‌آید که گوئی در آن لبه بریدگی بوجود آورده است. خط‌کشی که شعلهٔ شمع از پشت آن پدیدار میشود، در آن نقطه فرو رفته به نظر می‌آید. خورشید هنگام طلوع و غروب گوئی در افق گودالی بوجود می‌آورد».

شکل ۱۳۶ — فاصله میان دایره پائینی و هر یک از دو دایره بالائی بیش از فاصله میان دو نقطه خارجی دایره‌های بالائی به نظر می‌آید، اما درواقع مساوی هستند.



شکل ۱۳۷ — این دایره‌ها از فاصله معینی شش گوشه به نظر می‌آیند.

شکل ۱۳۸ — دایره‌های سیاه از دور شش‌گوشه به نظر می‌آیند.

در این مشاهدات تمام آنچه گفته شد، درست است، مگر آنکه دایرهٔ سفید از دایرهٔ سیاه مساوی خود همیشه به یک نسبت بزرگتر به نظر می‌آید. میزان بزرگتر به نظر آمدن دایره بسته به فاصلهٔ میان چشم و دایره است. هم اکنون خواهید فهمید که چرا چنین است.

شکل ۱۳۶ را از چشمتان دور کنید، خطای حس باصره باز هم شدیدتر و عجیب‌تر خواهد شد. علت این امر آنستکه عرض حاشیهٔ اضافی همیشه ثابت میماند. به این دلیل اگر این حاشیه در فاصلهٔ کم، عرض منطقهٔ روشن را مثلا ٪۱۰ زیاد میکند، در فاصلهٔ زیاد که خود تصویر کوچک میشود، همان حاشیهٔ اضافی دیگر ٪۱۰ نخواهد بود، بلکه مثلا ٪۳۰ یا حتی ٪۵۰ عرض تصویر خواهد بود. علت تغییر عجیب شکل ۱۳۷ را نیز معمولا در همین خصوصیت چشم ما میدانند. وقتی از نزدیک به این شکل نگاه میکنید، تعداد زیادی دایرهٔ سفید در زمینه سیاه می‌بینید. اما کتاب را در جای دوری بگذارید و از فاصلهٔ ۲ — ۳ قدمی، چنانچه چشمتان خیلی تیزبین است از فاصلهٔ ۶ — ۷ قدمی، به شکل نگاه کنید. منظرهٔ شکل بطور محسوسی عوض میشود و شما بجای آن دایره‌ها، شش گوشه‌های سفیدی شبیه به خانه‌های لانهٔ زنبور خواهید دید.

اما باید گفت که دایره‌های سیاه هم در زمینهٔ سفید از دور شش گوشه به نظر می‌آیند (شکل ۱۳۸)، گرچه در این مورد خطای حس باصره دایره‌ها را بزرگ نمیکند، بلکه کوچک میکند. من از وقتی متوجه این مطلب شده‌ام دیگر علت این خطای حس باصره را در ارتباط با پرتوافکنی توضیح دادن، بحد کافی مرا قانع نمیسازد. بطور کلی توضیحاتی را که در حال حاضر در مورد خطای حس باصره میدهند، نمیتوان قطعی شمرد. برای بیشتر خطاهای باصره هنوز اصلا توضیحی وجود ندارد *.

کدام حرف سیاه‌تر است؟

شکل ۱۳۹ امکان میدهد که از یک نقص دیگر چشم ما، یعنی «آستیگماتیسم» اطلاع حاصل کنید. اگر با یک چشم به آن نگاه کنید، لابد همهٔ حروف بیک اندازه سیاه به نظرتان نخواهد آمد. توجه کنید که کدام حرف از این چهار حرف سیاه‌تر است و بعد شکل را به پهلو برگردانید. خواهید دید

* توضیح مفصل‌تر این پدیده را میتوانید در کتاب کوچک اینجانب «خطاهای حس باصره» — آلبوم خطاهای حس باصره — مطالعه کنید.

شکل ۱۳۹ — به این نوشته با یک چشم نگاه کنید. یکی از حرف‌ها سیاه‌تر از دیگران به نظرتان خواهد آمد.

که تغییر غیر منتظره‌ای روی میدهد: سیاه‌ترین حرف خاکستری رنگ میشود و حالا حرف دیگری سیاه‌تر از سایر حروف به نظر می‌آید.

اما در واقع همهٔ حروف بیک اندازه سیاه هستند، فقط در جهات مختلف هاشور زده شده‌اند. اگر ساختمان چشم ما مانند عدسی‌های شیشه‌ای گرانبها بی‌عیب و نقص بود، جهت هاشورها در میزان سیاهی حروف تأثیری نداشت. اما چشم ما اشعه را در جهات مختلف کاملا یکسان منکسر نمیکند، به این دلیل ما نمیتوانیم خطوط قائم و افقی و مایل را در آن واحد بیک اندازه واضح و روشن ببینیم.

بندرت آدمی را میتوان یافت که چشمش از این نقص بری باشد، و در برخی اشخاص آستیگماتیسم بقدری شدید است که به میزان قابل ملاحظه‌ای مانع دید میشود و از تیزبینی میکاهد. این اشخاص برای آنکه واضح و روشن ببینند، مجبورند عینک مخصوص بزنند.

چشم نواقص دیگری نیز دارد که استادان عینک‌ساز میتوانند با ساختن وسائل بصری خوب آنها را برطرف کنند. هلم‌هلتس فیزیسین معروف در بارهٔ این نواقص میگوید: «اگر یکی از سازندگان ابزارهای بصری به سرش میزد که به من ابزاری بفروشد که دارای اینگونه نواقص باشد، من به خود حق میدادم در باره بی‌دقتی کار او شدیدترین سخنان را بگویم و با اعتراض ابزارش را پس بدهم».

اما علاوه بر این خطاهای باصره که از نواقص معلوم چشم سرچشمه میگیرند، چشم ما به یک رشته خطاهائی دچار میشود، که علل بکلی دیگری دارند.

تصاویر زنده

تصاویری هست که نه فقط مستقیماً به ما نگاه میکنند، بلکه وقتی ما جای خود را تغییر میدهیم، چشمشان را به آن طرف بر میگردانند و با چشم ما را تعقیب میکنند. لابد همه اینگونه تصاویر را دیده‌اند. این خصوصیت جالب و عجیب اینگونه تصاویر از قدیم‌الایام مورد توجه بوده و برای بسیاری از اشخاص جنبهٔ معما داشته و اشخاص عصبی را واقعاً میترسانده است. گوگول در اثر «تصویر» یکی از این موارد را به بهترین شکل توصیف کرده است:

«چشمها به وی دوخته شده بودند و تصور میرفت که جز به او به هیچ چیز نمیخواهند بنگرند... نگاه تصویر از کنار هر چه در اطراف بود، میگذشت و مستقیماً به او می‌افتاد و تا مغز استخوانش نفوذ می‌کرد...»

افسانه‌های خرافاتی فراوانی با این خصوصیت اسرارآمیز چشم تصاویر ارتباط دارد (مثلا در همان اثر «تصویر گوگول»)، اما کلید حل این معما نیز در خطای حس باصره است و بس.

شکل ۱۴۰ — تصویر اسرارآمیز .

علت این پدیده اسرارآمیز آنستکه در اینگونه تصاویر مردمک چشم در وسط چشم قرار دارد. وقتی یک نفر مستقیماً به ما نگاه میکند، ما چشم‌های او را عیناً همینطور می‌بینیم. اما وقتی به طرف دیگر نگاه میکند، به نظر ما می‌آید که مردمک چشم و تمام عنبیهٔ چشمش در وسط چشم قرار ندارد، بلکه قدری به طرف یکی از گوشه‌های چشم رفته است. وقتی ما از روبروی تصویر کنار میرویم، البته جای مردمک چشم عوض نمیشود و در همان وسط چشم باقی میماند. اما چون تمام صورت را هم نسبت به خود مانند سابق می‌بینیم، طبیعی است که به نظرمان می‌آید گوئی تصویر سرش را به طرف ما برگردانده است و با چشم ما را تعقیب میکند.

علت سایر خصوصیات حیرت‌آور برخی از تابلوها نیز در همین است، مثلا: ما از جلو تابلو به هر طرف برویم، اسبی که در تابلو است مستقیماً به سوی ما می‌تازد، آدمی که در تابلو است، ما را نشان میدهد، دستش را که به جلو دراز کرده است، مستقیماً به طرف ما متوجه است و غیره. شکل ۱۴۰ نمونهٔ کوچکی از اینگونه تابلوها و تصویرها است. از این نوع تصویرها اغلب برای تبلیغات یا رکلام استفاده میکنند.

اگر به علت اینگونه خطاهای حس باصره خوب بیاندیشیم، معلوم میشود که نه فقط در اینجا هیچ چیز حیرت‌آوری نیست، بلکه اگر این تصاویر چنین خصوصیتی نمیداشتند، جای بسی تعجب بود.

سایر انواع خطاهای حس باصره

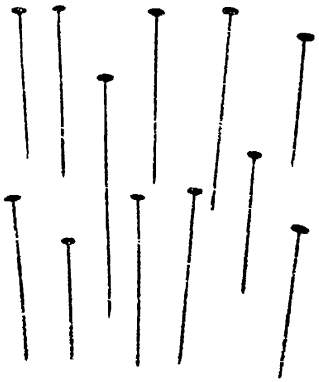
سنجاق‌هائی را که در شکل ۱۴۱ ملاحظه میکنید، در نظر اول هیچ جنبه خاصی ندارند. اما کتاب را تا سطح چشمتان بالا بیاورید، یک چشمتان را ببندید و به این خطوط طوری نگاه کنید که شعاع دید از امتداد آنها بگذرد. برای این کار باید چشم در نقطهٔ تقاطع امتداد این خطوط مستقیم قرار داشته باشد. وقتی اینطور نگاه کنید، به نظرتان می‌آید که سنجاق‌ها روی کاغذ کشیده نشده، بلکه بطور عمودی در آن فرو رفته‌اند. سرتان را کمی به یک طرف ببرید، خواهید دید که گوئی سنجاق‌ها نیز به همان طرف کج شده‌اند.

علت این خطای حس باصره را باید در قوانین علم مناظر و مرایا جست. خطها طوری کشیده شده‌اند که اگر سنجاق‌ها را بطور عمودی در کاغذ فرو کرده و به نحوی که در بالا گفته شد، به آنها نگاه میکردیم، میبایست دیده بشوند.

به اینکه ما تحت تأثیر خطاهای حس باصره قرار میگیریم، بهیچوجه نباید فقط مانند نقص حس باصره نگریست. این واقعیت جنبه‌های بسیار سودمند نیز دارد که اغلب آنها را از یاد میبرند. یکی از آن جنبه‌ها اینستکه اگر ما تحت تأثیر هیچ خطای باصره‌ای قرار نمیگرفتیم، نقاشی وجود نداشت و ما از تمام لذت‌های تماشای هنرهای زیبا محروم بودیم. نقاشان و هنرمندان از این نقص حس باصره به مقیاس وسیعی استفاده میکنند.

اولر دانشمند نابغهٔ قرن ۱۸ میلادی در اثر مشهور خود «نامه‌هائی در باره مواد فیزیکی مختلف*» نوشته است:

«تمام هنر نقاشی بر اساس این خطای حس باصره بنا شده است. اگر ما عادت میکردیم که در بارهٔ اشیاء مانند خود واقعیت قضاوت کنیم، این هنر (یعنی نقاشی) اصلا نمیتوانست وجود داشته باشد، و درست مثل آن بود که کور باشیم. نقاش تمام هنر و مهارت خویش را برای مخلوط کردن رنگ‌ها بیهوده به کار میبرد و ما میگفتیم: روی این صفحه لکهٔ سرخی است و آنجا یک لکهٔ آبی، اینجا لکهٔ سیاهی است و آنجا چند خط سفید رنگ، همه چیز در یک سطح قرار گرفته و تفاوت میان فاصله‌ها اصلا دیده نمیشود. هیچ جسمی را نمیشد تصویر کرد و هر چه روی تابلو کشیده بودند، مانند نوشته روی کاغذ به نظر ما می‌آید... آیا ما که از لذتی که هر روز این هنر مطبوع و سودمند به ما می‌بخشد، بی‌بهره بودیم، با تمام کمال خویش باز هم سزاوار رحم و دلسوزی نبودیم؟»



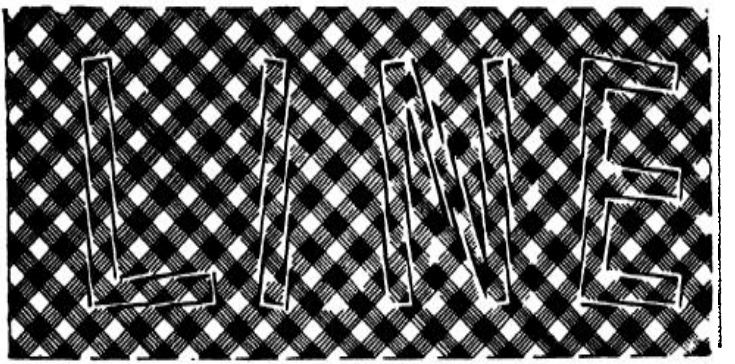
شکل ۱۴۱ — یک چشمتان را ببندید و با چشم دیگر از نقطه تقاطع امتداد این خطوط به شکل نگاه کنید. تعدادی سنجاق خواهید دید که گوئی در کاغذ فرو کرده‌اند. شکل را کمی به این سو و آن سو حرکت بدهید، به نظرتان می‌آید که سنجاق‌ها تکان میخورند.

خطاهای حس باصره بسیار زیاد است و میتوان یک آلبوم تمام را از نمونه‌های آن پر کرد.** بسیاری از آنها را همهٔ مردم میدانند و از برخی دیگر کم اطلاع دارند. چند مورد جالب از خطاهای حس باصره را که مردم کم از آنها اطلاع دارند، در اینجا برای نمونه می‌آورم. خطاهای حس باصره در مورد خطوطی که در زمینه چهارخانه کشیده شده است (شکل ۱۴۲ و ۱۴۳) فوق‌العاده جالب است. چشم بهیچوجه نمیتواند قبول کند که حروف شکل ۱۴۲ راست قرار گرفته‌اند. قبول اینکه خطوطی را که در شکل ۱۴۳ می‌بینیم، خطوط حلزونی نیستند، از این هم دشوارتر است. برای قبول این مطلب باید مستقیماً به آزمایش متوسل شد: نوک مداد را روی یکی از خطوطی که حلزونی به نظر می‌آید بگذارید و حرکت بدهید، می‌بینید که روی محیط دایره حرکت میکند و نه

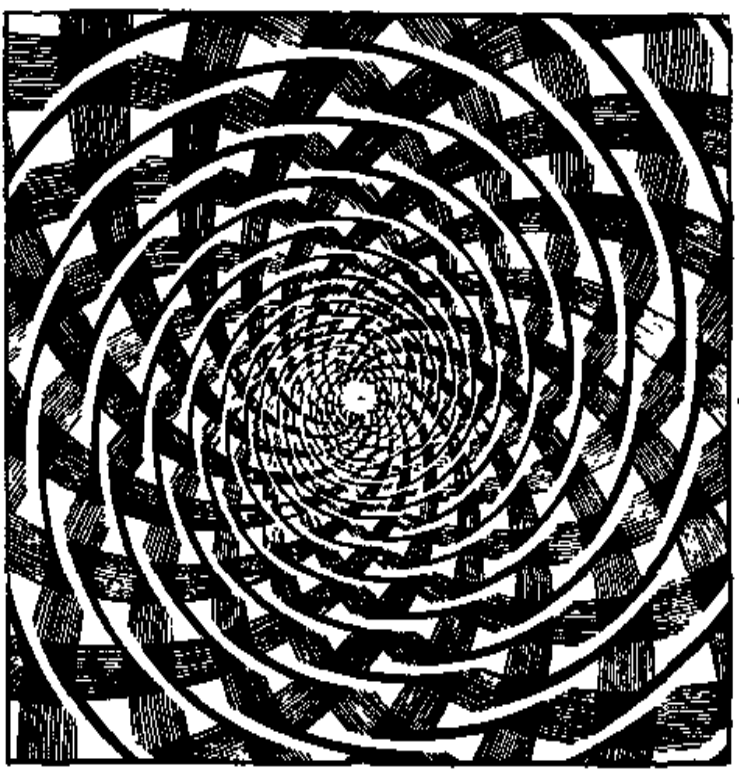
---

* این اثر از طرف استپان روموفسکی به روسی ترجمه و در سال ۱۷۷۴ در سنت‌پتربورگ به چاپ رسیده است.

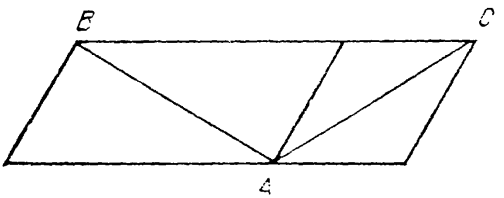
** در کتاب «خطاهای حس باصره» که در بالا به آن اشاره شد، بیش از ۶۰ نمونه خطاهای حس باصره گردآوری شده است.



شکل ۱۴۲ — حروف راست قرار دارند.



شکل ۱۴۳ — **خطوط منحنی** این شکل حلزونی به نظر می‌آیند، اما در واقع دایره هستند. یک چوب کبریت **نوک‌تیز** را روی یکی از خطوط حرکت بدهید، یقین خواهید کرد که دایره است.



شکل ۱۴۴ — با اینکه خط AB و AC مساوی هستند، خط AB درازتر از AC به نظر می‌آید.

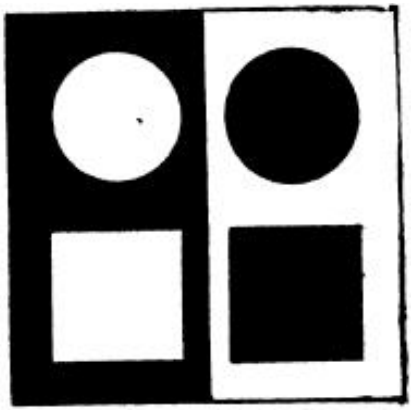
شکل ۱۴۵ — خط مایلی که راههای سیاه و سفید قائم‌را قطع کرده، منکسر به نظر می‌آید.

به مرکز نزدیک میشود و نه از آن دور. در شکل ۱۴۴ نیز عیناً همینطور، فقط به کمک پرگار میتوان یقین حاصل کرد که خط مستقیم AC از خط AB کوتاه‌تر نیست. خطاهای حس باصره که در شکل‌های ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸ روی میدهد، در زیرنویس هر یک از شکل‌ها شرح داده شده است. حادثهٔ جالب و خنده‌دار زیر نشان میدهد که در شکل ۱۴۷ خطای حس باصره تا چه حد شدید است: ناشر یکی از چاپ‌های قبلی این کتاب وقتی نمونهٔ کلیشه شکل ۱۴۷ را از کارگاه کلیشه‌سازی گرفت، خیال کرد که کلیشه آنطور که باید و شاید تهیه نشده است و داشت آن را به کارگاه برمیگرداند تا لکه‌های خاکستری رنگ محل تقاطع خطوط سفید را پاک کنند، که من تصادفاً وارد اطاق شدم و برایش توضیح دادم که مطلب از چه قرار است.

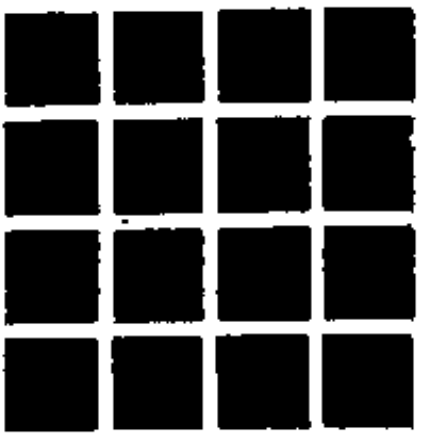
اشخاص نزدیک‌بین چگونه می‌بینند؟

همه میدانند که اشخاص نزدیک‌بین بی‌عینک بد می‌بینند، اما کسانی که دارای چشم عادی هستند، از اینکه اشخاص نزدیک‌بین چه می‌بینند و اشیاء در نظر آنها چگونه مجسم می‌شود، تصور بسیار مبهمی دارند. ضمناً اشخاص نزدیک‌بین بسیارند و اطلاع از اینکه جهان در نظر آنان چگونه مجسم میشود، بی فایده نیست.

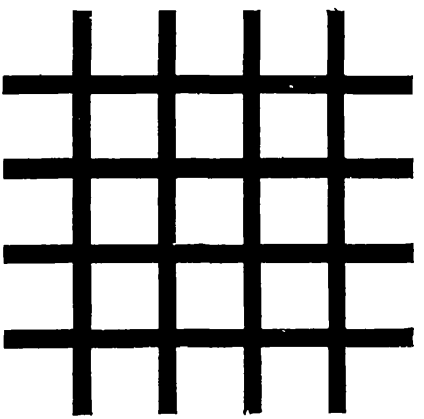
قبل از هر چیز، اشخاص نزدیک‌بین (البته بی عینک) هرگز خطوط اطراف اشیاء را مشخص و روشن نمی‌بینند و تمام اجسام برای آنها شکل تار و مبهمی دارند. کسانی که چشم معمولی دارند وقتی به درختی نگاه میکنند، شاخه و برگ‌هائی را که در زمینهٔ آسمان بطور روشن و مشخص نمایانند، از



شکل ۱۴۶ — این دو دایره سفید و سیاه و نیز دو مربع سفید و سیاه باهم مساوی هستند.



شکل ۱۴۷ — در نقاط تقاطع راههای سفید این شکل لکه‌های مربع خاکستری رنگ پدیدار و ناپدید میگردند، گوئی شعله‌ور و خاموش میشوند. اما در واقع این راهها در تمام طولشان کاملا سفید هستند. روی مربع‌های سیاه دو طرف یکی از راههای سفید کاغذ بگذارید تا یقین حاصل کنید که هیچ لکه‌ای وجود ندارد. این خطای حس باصره نتیجه تباین رنگ‌های سیاه و سفید است.



شکل ۱۴۸ — در نقاط تقاطع راههای سیاه لکه‌های خاکستری‌رنگ پدیدار میشوند.

یکدیگر تمیز میدهند. اما اشخاص نزدیک‌بین فقط جسم سبز بی‌شکلی می‌بینند که از اشکال نامشخص و مبهم تشکیل یافته است. اجزاء خرد و کوچک برای آنها ناپدید میشود.

صورت آدم‌ها به نظر اشخاص نزدیک‌بین جوان‌تر و جذاب‌تر می‌آید، تا به نظر کسانی که چشم معمولی دارند، اشخاص نزدیک‌بین چین‌ها و سایر نواقص و عیوب کوچک صورت را نمی‌بینند، رنگ سرخ زنندهٔ پوست (چه طبیعی و چه مصنوعی) به نظر آنها گلگون و لطیف می‌آید. وقتی برخی از آشنایانمان در تخمین سن اشخاص در حدود ۲۰ سال اشتباه میکنند، از ساده‌لوحی آنها حیران میشویم، از سلیقهٔ عجیب آنها در ارزیابی زیبائی تعجب میکنیم، وقتی زل زل به صورت ما نگاه میکنند و گوئی اصلا نمیخواهند ما را بشناسند، آنها را به عدم رعایت نزاکت و احترام متهم میکنیم... اما باید دانست که در بسیاری از موارد علت این پیش‌آمدها فقط و فقط نزدیک‌بینی است.

دلویگ شاعر معاصر پوشکین و دوست وی در خاطرات خود میگوید:

«در دبیرستان به من اجازه نمیدادند عینک بزنم، در عوض تمام زنها بسیار زیبا به نظرم می‌آمدند. دبیرستان را به پایان رساندم بقدری متأسف شدم که حد و اندازه نداشت».

وقتی یک نفر نزدیک‌بین (بی‌عینک) با شما صحبت میکند، اصلا صورت شما را، یا در هر حال آن چیزی را که شما گمان میکنید، نمی‌بیند. در برابر او قیافهٔ تار و مبهمی قرار دارد، و هیچ جای تعجب نیست که اگر بعد از یک ساعت دوباره شما را ببیند، نشناسد. نزدیک‌بین‌ها در اغلب موارد اشخاص را بیشتر از صدایشان می‌شناسند تا از شکل ظاهری آنها. کمال و ورزیدگی حس سامعه نقصان حس باصرهٔ آنان را جبران میکند.

بررسی آنکه شب جهان و آنچه در آن است چگونه به نظر نزدیک‌بینان می‌آید، نیز جالب است. در روشنائی شب تمام چیزهای درخشان — فانوس‌ها و چراغ‌ها و پنجره‌های روشن و امثال آن — برای نزدیک‌بینان به میزان زیادی بزرگ میشوند و منظره را به مجموعهٔ درهم‌برهمی از لکه‌های درخشان بی‌شکل و شبح‌های تیره و تار بدل میکنند. نزدیک‌بینان ردیف‌های راست و مستقیم چراغ‌های خیابان را به صورت دو سه لکه درخشان عظیم می‌بینند که به نظر آنها تمام خیابان را سد کرده است. اتومبیلی را که به سوی آنها می‌آید، تشخیص نمیدهند، بجای آن فقط دو هالهٔ درخشان (چراغ‌های اتومبیل) و به دنبال آن تودهٔ تیره و تاری می‌بینند.

حتی منظرهٔ آسمان شب نیز برای اشخاص نزدیک‌بین با منظره‌ای که چشم معمولی می‌بیند، تفاوت بسیار دارد. نزدیک‌بینان فقط ستارگان قدر اول و دوم و سوم، و احیاناً قدر چهارم را می‌بینند. بنا بر این برای آنها بجای چندین هزار ستاره فقط چند صد ستاره قابل رؤیت است. اما در عوض این چند ستارهٔ معدود مانند گلوله‌های بزرگ نورانی به نظر آنها می‌آیند. ماه تمام برای نزدیک‌بینان بسیار نزدیک و بزرگ به نظر می‌آید و هلال در نظر آنان شکل افسانوی و مرکبی دارد.

البته علت تمام این دگربینی‌ها و بزرگ به نظر آمدن اجسام، در ساختمان چشم اشخاص نزدیک‌بین نهفته است. کاسهٔ چشم اشخاص نزدیک‌بین زیاد گود است، بقدری گود است که وقتی اشعهٔ اجسام خارجی در قسمت‌های مختلف چشم منکسر میشوند، روی خود شبکیهٔ چشم تلاقی نمیکنند، بلکه قدری جلوتر از آن تلاقی میکنند. به شبکیهٔ چشم که در ته کاسهٔ چشم قرار دارد، اشعه‌ای میرسند که در حال پخش شدن هستند و در نتیجه تصویری تار و غیر مشخص بوجود می‌آورند.

فصل دهم

صوت وشنوائی

چگونه باید پژواک را جستجو کرد؟

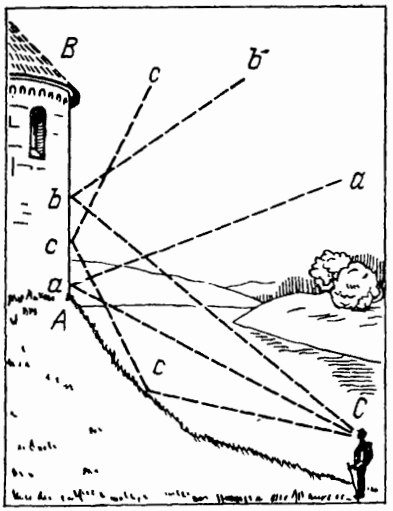
هیچ کسی وی را ندیده در جهان،
لیک هر کس صوت آن بشنیده است،
بی زبان اوراست فریاد و فغان
بی‌تن و بی‌جسم حی و زنده است.
نکراسوف

در بین حکایات مارک تواین فکاهی‌نویس امریکائی حکایتی هست که به سر یک نفر کلکسیونر آمده است، حکایت میکند. این کلکسیونر به سرش زده بود برای خود کلکسیونی جمع آوری کند. خیال میکنید چه کلکسیونی؟ کلکسیون پژواک! این آدم عجیب با پشتکار خستگی ناپذیری کلیهٔ قطعه‌زمین‌هائی را که در آن صوت چند بار منعکس و تکرار میشد و یا پژواک‌های عجیب و غریب دیگری به وجود می‌آمد، خریداری میکرد.

«قبل از همه در ایالت «جورجیا» پژواکی خرید که چهار بار تکرار میشد، بعد در «سریلند» پژواکی که شش بار تکرار میشد، بعد در «من» پژواکی که سیزده بار تکرار میشد و پس از آن پژواکی در «تنسی» که دوازده بار تکرار میشد. این پژواک را به بهای کمی به دست آورده بود، زیرا احتیاج به تعمیر داشت: قسمتی از صخره ریخته بود. کلکسیونر خیال میکرد که میتوان آن را تعمیر کرد. اما معماری که این کار را بر عهده گرفت، تا آن وقت هرگز پژواک نساخته بود و به همین دلیل آن را بکلی خراب کرد، بطوری که بعد از تعمیر فقط برای پناهگاه کر و لال‌ها مناسب بود...»

البته این شوخی است، اما در نقاط مختلف کرهٔ زمین، بویژه در نواحی کوهستانی، جاهائی هست که صوت در آن چندین بار تکرار میشود و پژواک‌های مکرر بسیار جالبی بوجود می‌آورد، و برخی از آنها از قدیم‌الایام معروفیت جهانی کسب کرده‌اند.

برخی از پژواک‌های معروف را نام می‌بریم. در قصر وودستوک در انگلستان پژواک ۱۷ هجا را بطور مشخص تکرار میکند. در ویرانه‌های قصر درنبورگ در نزدیک هالبرشتاد (آلمان) پژواک ۲۷ هجائی تکرار میشد، اما از وقتی که یکی از دیوارهای آن منفجر شد، پژواک هم از بین رفت. در نقطهٔ معینی میان صخره‌هائی که به شکل دایره در نزدیک آدرسباخ (چکوسلواکی) واقعند، ۷ هجا سه



شکل ۱۴۹ — پژواک وجود ندارد.

بار تکرار میشود، اما در چند قدمی این نقطه صدای تیراندازی هم هیچ پژواکی بوجود نمی‌آورد. در قصری در نزدیکی میلان (این قصر اکنون وجود ندارد) پژواک بسیار زیاد تکرار میشده است: صدای تیری که از یکی از پنجره‌های قسمت فرعی عمارت شلیک میکردند، ۴۰ تا ۵۰ بار و کلمه‌ای که به صدای رسا بر زبان می‌آوردند، در حدود ۳۰ بار تکرار میشد*.

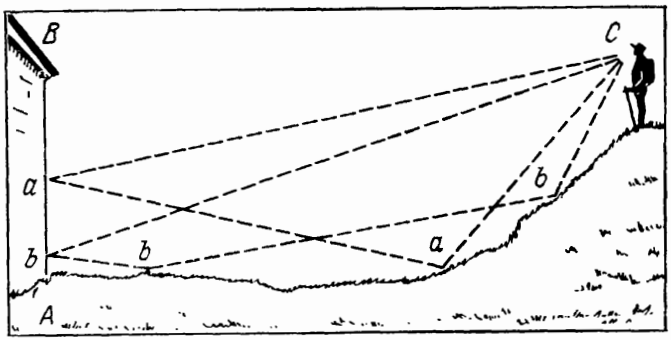
پیدا کردن جائی که پژواک در آن حتی یک بار بطور وضوح شنیده شود، چندان کار ساده‌ای نیست. اما در اتحاد شوروی یافتن اینگونه جاها نسبتاً آسان است. دشت‌های زیادی وجود دارد که از هر سو جنگل آنها را احاطه کرده است، چمنزارهای بی‌درخت در داخل جنگل‌ها نیز فراوان است. کافی است در اینگونه چمنزارها بصدای بلند فریاد بزنیم تا پژواکی کم و بیش واضح به گوشمان برسد.

پژواک در کوهستان از پژواک در دشت گوناگون‌تر است، اما امکان برخورد با آن نیز بمراتب کمتر است. شنیدن پژواک در کوهستان از شنیدن آن در دشتی که دور تا دورش را جنگل فرا گرفته، دشوارتر است.

هم اکنون خواهید فهمید چرا چنین است. پژواک چیزی نیست جز برگشت امواج صوتی که به مانعی خورده و منعکس شده باشد. همانطور که در نور زاویهٔ تابش اشعه با زاویهٔ انعکاس مساوی است، در صوت نیز زاویهٔ برخورد امواج صوتی با زاویهٔ انعکاس مساوی میباشد.

---

* پژواک، شرایط بوجود آوردن و موارد استفاده از آن از قدیم‌الایام بر معماران ایرانی نیز معلوم بوده است. در بسیاری از مساجد ایران پژواک‌های کم و بیش واضح شنیده میشود. بهترین نمونهٔ آن مسجد شاه اصفهان است. در زیر گنبد بزرگ این بنای تاریخی (مسجد شاه دو گنبد دارد) کلمات و اصوات چند بار با وضوح تمام تکرار میشوند. در میان ابنیهٔ تاریخی اصفهان، که هر یک در نوع خود شاهکار صنعت معماری است، «عالی قاپو» از نظر پژواک و استفاده از آن در جهان بیمانند و یا لااقل کم‌نظیر است. در سر تا سر دیوارهای برخی از تالارهای این قصر حفره‌هائی به اشکال هندسی مختلف تعبیه و با ظرافت گچ‌کاری شده است. به قولی که جملگی برآنند و در برخی از کتب تاریخ نیز آمده است، خنیاگران در این تالارها خنیاگری میکرده و میرفته‌اند. پس از آن آواز خوانندگان و آهنگ موسیقی آنان تا مدت مدیدی چندین بار با وضوح تمام تکرار میشده است. این تالارها با همان حفره‌ها اکنون نیز هستند، اما گچ‌کاری حفره‌ها ریخته است و دیگر پژواک بوجود نمی‌آورند. (مترجم)



شکل ۱۰۰ — پژواک کاملا واضح است.

حالا در نظرتان مجسم کنید که در دامنهٔ کوهی ایستاده‌اید (شکل ۱۴۹) و مانعی که باید صوت را منعکس کند، بالاتر از شما، مثلا در AB، واقع است. به آسانی میتوان دید که امواج صوتی که در امتداد خطوط Ca و Cb و Cc پخش میشوند، پس از انعکاس به گوش شما نمیرسند، بلکه در فضا در جهت خطوط aa، bb و cc پراکنده میشوند. اما اگر در سطح مانع یا حتی کمی بالاتر از آن ایستاده باشید (شکل ۱۰۰) مسأله بکلی عوض میشود. صدائی که در جهت Ca و Cb پائین میرود، پس از یک یا دو بار منعکس شدن در سطح زمین، در جهت خطوط CaaC یا CbbC به سوی شما برمیگردد. مقعر بودن زمین در فاصلهٔ میان دو نقطه، تأثیری همانند تأثیر آئینهٔ مقعر دارد و سبب میشود که پژواک واضح تر به گوش برسد. اما اگر، برعکس، زمین میان دو نقطه C و B محدب باشد، پژواک ضعیف خواهد بود و حتی ممکن است اصلا به گوش نرسد. چنین زمینی امواج صوتی را پراکنده میکند، همانطور که آئینه محدب اشعهٔ نور را پراکنده میکند.

جستجوی پژواک در زمین ناهموار مستلزم ورزیدگی و کارآزمودگی معینی است. حتی پس از پیدا کردن جای مناسب باید بلد بود پژواک را بوجود آورد. قبل از هر چیز نباید زیاد نزدیک به مانع ایستاد. صوت باید راهی بحد کافی طولانی بپیماید، در غیر اینصورت پژواک خیلی زود برمیگردد و با خود صوت در می‌آمیزد. میدانیم که صوت در هر ثانیه ۳۴۰ متر می‌پیماید، بنا بر این به آسانی میتوان حساب کرد که اگر در فاصلهٔ ۸۰ متر از مانع بایستیم، درست نیم ثانیه پس از پیدایش صوت باید پژواک را بشنویم.

گرچه هر صوتی در فضای خالی پژواکی پدید می‌آورد، اما پژواک همهٔ اصوات به یک اندازه واضح و مشخص نیست.

گر ز کرناها برون آید صدا
یا ددی غرش کند در بیشه‌ای،
گر بغرد رعد اندر آسمان
یا بخواند مهوشی در گوشه‌ای،
جمله را پژواک یکسان نیست، نیست.

هر چه صوت زیرتر و مقطع تر باشد، پژواک آن واضح‌تر و مشخص‌تر خواهد بود. با کف زدن بهتر از هر صدائی میتوان پژواک بوجود آورد. صدای آدم، بویژهٔ صدای مردها، برای این منظور چندان مناسب نیست. پژواک آوای زیر زنان و کودکان از پژواک صوت بم مردان واضح‌تر و مشخص‌تر به گوش میرسد.

صوت بجای ریسمان اندازه‌گیری

با دانستن سرعت پخش صوت در هوا گاهی میتوان از آن برای اندازه‌گیری فاصله تا نقطه‌ای که قابل دسترسی نیست، استفاده کرد. ژول ورن در رمان «مسافرت به مرکز زمین» چنین موردی را توصیف کرده است. دو نفر مسافر — پروفسور و برادرزاده‌اش — ضمن سیاحت در زیر زمین یکدیگر را گم کردند. وقتی بالاخره موفق شدند از دور باهم صحبت کنند، مذاکرات زیر میان آنها رد و بدل شد:

«من داد زدم، عموجان! (برادرزاده نقل میکند).

پس از مدتی شنیدم:

— چی، پسرجان؟

— قبل از هر چیز بگوئید، چقدر از هم دور هستیم.

— دانستن این مطلب کار دشواری نیست.

— ثانیه‌شمارتان سالم است؟

— آره.

— ثانیه‌شمار را بردارید. نام مرا صدا کنید و بمحض اینکه شروع به صحبت کردید، بدقت ببینید چه ثانیه‌ای است. همینکه صدای شما به من رسید، من نام خودم را تکرار میکنم. وقتی صدای من به شما رسید باز هم ببینید چه ثانیه‌ای است.

— خوب. آنوقت نصف مدت میان صدا و جواب مساوی مدتی است که برای رسیدن صدای من به تو لازم است. حاضری؟

— بله.

— دقت کن! اسمت را صدا میکنم.

من گوشم را به دیوار چسباندم. همینکه کلمهٔ «آکسل» (نام حکایت‌کننده است) به گوشم رسید، فوراً آن را تکرار کردم و منتظر شدم.

عمویم گفت:

— چهل ثانیه، بنا بر این صدای تو در ۲۰ ثانیه به من رسیده است. چون صوت در هر ثانیه یک سوم کیلومتر را می‌پیماید، پس معلوم میشود که مسافت تقریباً هفت کیلومتر است».

اگر آنچه‌را در این قسمت گفته شد خوب فهمیده باشید، خودتان به آسانی میتوانید مسأله زیر را حل کنید:

لکوموتیوی از دور سوت زد. من بخار سفید رنگی دیدم و یک ثانیه و نیم بعد صدائی را که در اثر خروج این بخار بوجود آمده بود شنیدم. فاصلهٔ میان من و لکوموتیو چقدر بوده است؟

آئینه‌های صوتی

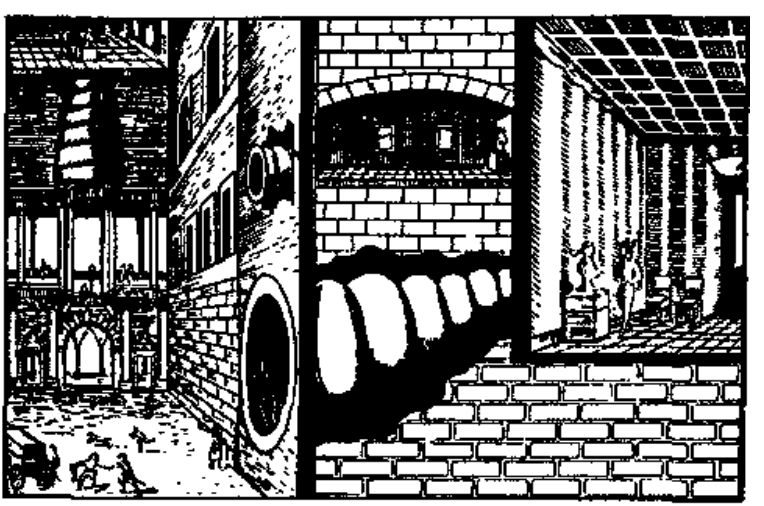
کناره جنگل، دیوار بلند، عمارت، کوه و بطور کلی هر مانعی که صوت در آن منعکس شود و پژواک بوجود آورد، چیزی نیست جز آئینه برای صوت. این موانع صوت را درست همانطور منعکس میکنند که آئینه مسطح نور را منعکس میکند.

شکل ۱۵۱ — آئینه‌های صوتی مقعر.

آئینه‌های صوتی نه فقط مسطح، بلکه غیر مسطح نیز هستند. آئینهٔ صوتی مقعر مانند بازتابنده عمل میکند، یعنی «اشعهٔ صوتی» را در کانون خود متمرکز میسازد.

با دو بشقاب توگود میتوان آزمایش جالبی از این نوع کرد. یک بشقاب توگود را روی میز بگذارید و ساعت جیبی را در چند سانتیمتری کف آن نگاه دارید. یک بشقاب دیگر را، بطوری که در شکل ۱۵۱ نشان داده شده، جلو گوشتان بگیرید. اگر محل و وضع قرار گرفتن ساعت و گوش و بشقاب‌ها درست انتخاب شده باشد (برای این کار باید چند بار آزمایش کرد) شما صدای ساعت را طوری میشنوید که گوئی صدا از بشقابی برمیخیزد که جلو گوشتان گرفته‌اید. اگر چشمتان را ببندید، خطای حس سامعه شدیدتر میشود، آنوقت از روی صدائی که میشنوید اصلاً نمیتوانید تعیین کنید که ساعت در کدام دستتان است، در دست راست یا چپ.

معماران قصرهای قرون وسطائی اغلب چنین عجایب صوتی میساختند، مثلا مجسمهٔ نیم‌تنه‌ای را در کانون آئینه صوتی مقعر یا در انتهای لوله مکالمه‌ای قرار میدادند که با مهارت در دیوار پنهان



شکل ۱۵۲ — عجایب صوتی در یک قصر قدیمی — مجسمه‌هائی که حرف میزنند. (از کتاب آفاناسی کرخر، سال ۱۶۵۰)

شده بود از شکل ۱۰۲ که از روی یک کتاب قدیمی قرن ۱۶ میلادی چاپ شده است، میتوانید نمونه‌ای از این وسائل زیرکانه را مشاهده کنید. اصواتی که از راه لولهٔ مکالمه از خارج داخل عمارت میشوند، از سقف گنبدی شکل تالار منعکس میگردند و به لب‌های مجسمه میرسند. یا لوله‌های مکالمهٔ عظیمی که در دیوارها کار گذاشته شده‌اند، صداها و اصوات مختلف را از حیاط به مجسمه‌هائی که کنار دیوار یکی از تالارها قرار دارند، میرسانند، و امثال آن. کسانی که به چنین تالاری می‌آیند، تصور میکنند مجسمه‌های مرمر آهسته حرف میزنند یا آواز میخوانند یا صداهای دیگری از دهانشان بیرون می‌آید.

اصوات در تالار تآتر

کسانی که زیاد به تآتر یا تالارهای کنسرت میروند، بخوبی میدانند که تالارها از نقطه نظر شنیده شدن اصوات باهم تفاوت دارند، بعضی از تالارها اصوات را خوب پخش میکنند و برخی دیگر بد پخش میکنند. در بعضی از تالارها صدای هنرپیشگان و آهنگ وسائل موسیقی از دور هم کاملا واضح به گوش میرسد و در برخی دیگر از نزدیک هم بد و غیر واضح شنیده میشود. علت این پدیده در کتاب «امواج صوتی و به کار بردن آنها *» تألیف وود فیزیسین امریکائی بسیار خوب تشریح شده است.

«هر صوتی که در داخل بنائی بوجود آید، پس از قطع صوت در منبع صدا، باز هم مدت نسبتاً زیادی طنین می‌اندازد. این صوت در نتیجهٔ چند بار انعکاس چند بار به دور بنا می‌گردد، در این ضمن اصوات دیگر بلند میشوند و شنونده اغلب قادر نیست آنها را به ترتیب لازم بشنود و درک کند. مثلا اگر صوت ۳ ثانیه به طول بیانجامد و گوینده با سرعت سه هجا در ثانیه حرف بزند، امواج صوتی مربوط به ۹ هجا، همه باهم در داخل بنا حرکت خواهند کرد و چنان سروصدا و همهمهٔ در هم برهمی بوجود خواهند آورد که شنونده نخواهد توانست حرف سخنران را بفهمد.

سخنرانانی که در چنین شرایطی سخنرانی میکنند، باید بسیار شمرده صحبت کنند و زیاد داد نکشند. اما سخنرانان معمولا، درست برعکس، میکوشند بلند حرف بزنند و در نتیجه فقط سروصدا و همهمه را زیادتر میکنند».

تا چندی پیش بنای تآتری که اصوات در آن خوب پخش شود، هنوز یک سعادت تصادفی به شمار می‌رفت. اکنون راههای مبارزهٔ موفقانه با این به طول انجامیدن نا مطلوب اصوات را (در اصطلاح «انعکاس صوت» نام دارد) که مانع خوب شنیدن میشود، یافته‌اند. این کتاب جای آن نیست که داخل جزئیاتی بشویم که فقط برای معماران جالب است. فقط یاد آور میشویم که راه اصلی مبارزه با بد پخش شدن صوت ساختن سقف و دیوارهائی است که اصوات اضافی را جذب کنند. بهترین جاذب اصوات پنجرهٔ باز است (همانطور که بهترین جاذب نور سوراخ میباشد). حتی یک متر مربع پنجره باز را بعنوان واحد اندازه‌گیری جذب صوت پذیرفته‌اند. خود تماشاچیان تآتر نیز اصوات را بسیار خوب جذب میکنند، گرچه میزان جذب صوت بوسیلهٔ تماشاچیان دو بار کمتر از پنجره باز است. هر تماشاچی،

---

* ترجمه روسی این کتاب کم‌نظیر در سال ۱۹۳٤ منتشر شده است.

از این نقطه نظر، تقریباً با نیم متر مربع پنجرهٔ باز برابر است. اگر تذکر یک فیزیسین که میگوید: «شنوندگان سخن سخنران را به معنای حقیقی کلمه جذب میکنند»، درست است، به همان اندازه نیز درست است که: تالار خالی برای سخنران به معنای غیر مجازی کلمه نامطبوع است.

اگر جذب صوت بیش از حد زیاد باشد، باز هم سبب بد شنیده شدن میشود. اولا — جذب بیش از حد اصوات را خفه میکند، ثانیاً — انعکاس صوت بحدی کم میشود که اصوات بریده به گوش میرسند و تا حدی تأثیر خشک و بی روحی می‌بخشند. به این دلیل، اگر باید از انعکاس بیش از حد طولانی اصوات اجتناب ورزید، انعکاس بیش از حد کوتاه‌مدت اصوات نیز مطلوب نیست. بهترین میزان انعکاس اصوات برای همهٔ تالارها یکسان نیست و باید هنگام طرح نقشهٔ هر تالار بطور جداگانه تعیین شود.

در تأتر چیز دیگری هم هست که از نقطه نظر فیزیک جالب است. و آن چیز جایگاه سوفلور میباشد. آیا توجه کرده‌اید که شکل جایگاه سوفلور در همهٔ تأترها یکسان است؟ علت این امر آنستکه جایگاه سوفلور نوعی اسباب فیزیکی است. سقف آن، در واقع، یک آئینه صوتی مقعر است که دو وظیفه دارد: ۱ — جلوگیری از امواج صوتی که از دهان سوفلور به سوی تماشاچیان حرکت میکنند، بعلاوه، ۲ — منعکس ساختن این امواج به طرف صحنه.

پژواک از کف دریا

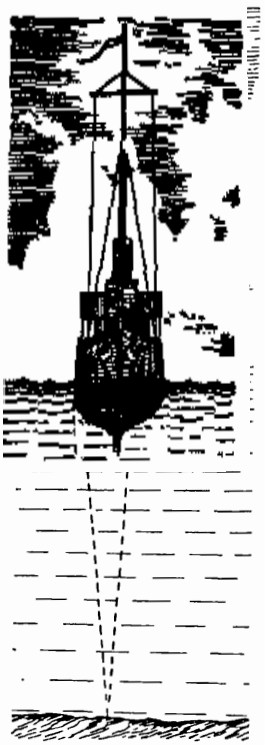
مدت‌های مدیدی انسان از پژواک هیچ سودی به دست نمی‌آورد، تا آنکه بالاخره اسبابی اختراع کردند که بوسیلهٔ آن عمق دریاها و اقیانوس ها را اندازه بگیرند. اختراع این اسباب امری تصادفی بود. در سال ۱۹۱۲ یک کشتی عظیم اقیانوس‌پیما به نام «تیتانیک» در نتیجهٔ تصادم با یک کوه یخ تقریباً با تمام سرنشینانش غرق شد. برای جلوگیری از اینگونه سانحه‌ها به فکر افتادند در هوای مه‌آلود یا شب از پژواک استفاده کنند و از وجود سد یخی در جلو کشتی مطلع شوند. این وسیله در عمل به نتیجه نرسید، اما موجب پیدایش فکر دیگری شد و آن اینکه با استفاده از انعکاس صوت در کف دریا عمق دریاها را اندازه بگیرند. معلوم شد این فکر را بخوبی میتوان در عمل به کار برد.

در شکل ۱۵۳ طرح این اسباب را ملاحظه میکنید. در کناره کشتی، نزدیک ته کشتی فشنگی قرار میدهند که وقتی آن را منفجر کنند صدای شدید و مقطعی تولید شود. امواج صوتی در آب پخش میشوند، از قشر کلفت آب میگذرند و به کف دریا میرسند، در کف دریا منعکس میشوند و بصورت پژواک برمیگردند. اسباب بسیار حساسی که آنهم در ته کشتی کار گذاشته شده است، پژواک را میگیرد. مدت زمان میان پیدایش صوت و رسیدن پژواک بوسیله ساعت دقیقی اندازه گرفته میشود. وقتی سرعت صوت در آب را بدانیم به آسانی میتوانیم فاصلهٔ تا سد منعکس کننده، یعنی تا کف دریا یا اقیانوس را حساب کنیم.

این اسباب که آن را ژرفایاب صوتی مینامند، در امر اندازه‌گیری عمق دریاها و اقیانوس ها یک انقلاب واقعی بوجود آورد. استفاده از ژرفاسنج‌های قدیمی فقط از روی کشتی بیحرکت ممکن بود و وقت زیادی می‌برد. ژرفاسنج را باید از چرخی که به دور آن پیچیده شده است خیلی آهسته (۱۰۰ متر در دقیقه) پائین داد و تقریباً با همین سرعت بالا آورد. برای اندازه گرفتن یک عمق سه کیلومتری با این طریق ۴۰ دقیقه وقت لازم است. اما با ژرفایاب صوتی همین عمق را میتوان در چند ثانیه از روی

کشتی‌ای که با سرعت تمام حرکت میکند، اندازه گرفت و نتایجی بمراتب مطمئن تر و دقیق تر به دست آورد. در اینگونه اندازه‌گیری ها اشتباه به بیش از یک چهارم متر نمیرسد (برای نیل به این منظور وقت را با دقت یک سه هزارم ثانیه حساب میکنند). اندازه‌گیری دقیق اعماق زیاد برای علم اقیانوس‌نگاری اهمیت فراوانی دارد، اما امکان اندازه‌گیری سریع و مطمئن و دقیق عمق دریا در نقاط کم‌عمق برای دریانوردی اهمیت حیاتی دارد و به تأمین بی‌خطر بودن دریانوردی کمک‌های بزرگی میکند. کشتی میتواند با استفاده از ژرفایاب صوتی بسرعت و بدون ترس به ساحل نزدیک شود.

در ژرفایاب‌های معاصر اصوات معمولی بکار نمیبرند، بلکه اصوات با فرکانس فوق‌العاده زیاد، چند میلیون در ثانیه، که ماورا صوت نام دارد و گوش آدم نمیشنود، بکار میبرند. این اصوات را از طریق ارتعاش صفحات کوارتز (در کوهی) که پیزوکوارتز نام دارد و در میدان الکتریکی با تناوب زیاد کار گذاشته شده است، بوجود می‌آورند.



شکل ۱۰۳ — طرح کار ژرفایاب صوتی.

وزوز حشرات

چرا حشرات اغلب وزوز میکنند؟ حشرات در اکثر موارد هیچ عضو مخصوصی برای این کار ندارند. وزوزی که تنها هنگام پرواز حشرات به گوش میرسد، فقط در نتیجهٔ آنستکه حشرات هنگام پرواز بال‌هایشان را در هر ثانیه صدها بار تکان میدهند. بال حشرات صفحهٔ مرتعش است، و میدانیم که هر صفحه با ارتعاش بحد کافی زیاد (بیش از ۱۶ بار در ثانیه) صوتی با ارتفاع معین بوجود می‌آورد.

حالا می‌فهمید که چطور توانسته‌اند حساب کنند که هر یک از حشرات در هر ثانیه چند بار بال میزند. برای این کار کافی است از راه گوش ارتفاع آهنگی را که در اثر بال زدن هر حشره بوجود می‌آید، تعیین کنیم، زیرا هر آهنگی فرکانس مخصوص به خود دارد. با استفاده از «ذره‌بین زمان» (فصل اول همین کتاب) توانسته‌اند معین کنند که فرکانس بال زدن هر یک از حشرات تقریباً ثابت است. حشرات ضمن تنظیم پرواز فقط طول هر یک از حرکات («دامنه» نوسان) بال‌ها و تمایل آنها را تغییر میدهند. تعداد بال زدن‌ها در ثانیه فقط تحت تأثیر سرما زیاد میشود. به این دلیل است که آهنگ صوتی که هنگام پرواز هر یک از حشرات بوجود می‌آید، ثابت میماند و تغییر نمیکند. مثلا معین شده است که مگس (که هنگام پرواز آن آهنگ F بوجود می‌آید) در هر ثانیه ۳۵۲ و زنبور سیاه در هر ثانیه ۲۲۰ بار بال میزند. زنبور عسل که هنگام پرواز بدون بار آن آهنگ A بوجود می‌آید، در هر ثانیه ۴۴۰ بار و هنگامی که با خود عسل می‌برد (آهنگ B) در هر ثانیه ۳۳۰ بار بال میزند. سوسک‌هائی که در اثر بال زدن آنها آهنگ‌های بم‌تری بوجود می‌آید، تعداد بال زدنشان در هر ثانیه نیز کمتر است. پشه، برعکس، در هر ثانیه ۵۰۰ تا ۶۰۰ بار بال میزند. برای مقایسه یادآور میشویم که ملخ هواپیما در هر ثانیه بطور متوسط فقط ۲۵ بار دور میزند.

خطاهای حس سامعه

اگر تصور کنیم که منبع صدای خفیفی به ما نزدیک نبوده، بلکه بمراتب دورتر است، صدا نیز بمراتب بلندتر به نظر خواهد آمد. اینگونه خطاهای حس سامعه برای ما نسبتاً زیاد روی میدهد، چیزی که هست ما همیشه به آن توجه نمیکنیم.

ویلیام جیمس دانشمند امریکائی در کتاب «روانشناسی» خود مورد جالبی از خطای حس سامعه را توصیف کرده است:

«شبی تا دیروقت نشسته بودم و کتاب میخواندم. ناگهان از قسمت بالای عمارت صدای وحشتناکی به گوشم رسید، صدا قطع شد و پس از یک دقیقه از نو تکرار شد. من به سالن رفتم تا به صدا گوش بدهم، اما در سالن صدا تکرار نشد. همینکه به اطاق خودم برگشتم و شروع به خواندن کتاب کردم، باز هم همان صدای شدید وحشت‌آور بلند شد، درست مانند صدائی که قبل از طوفان شنیده میشود. این صدا از هر سو به گوش میرسید. من که فوق‌العاده نگران شده بودم، دو باره به سالن رفتم، اما باز هم صدا قطع شد.

وقتی برای بار دوم به اطاق خودم برگشتم، ناگهان متوجه شدم که سگ کوچکی که روی کف اطاق خوابیده بود، با خرخر خود این صدارا بوجود می‌آورد!..

ضمناً جالب است که پس از کشف علت واقعی صدا، هر چه کوشیدم تا آن خطای حس سامعه را از نو تجدید کنم، موفق نشدم».

لابد خوانندگان گرامی میتوانند نظایر اینگونه موارد را که برای خودشان روی داده، به یاد بیاورند. برای من بارها چنین پیش‌آمدهائی کرده است.

ملخ کجا جیرجیر میکند؟

بسیار زیاد اتفاق می‌افتد که ما نه در تخمین فاصله تا چیزی که از آن صدا بلند میشود، بلکه در تعیین سمتی که آن چیز قرار دارد، اشتباه میکنیم.

گوش‌های ما بخوبی تمیز میدهند که صدای تیراندازی از سمت راست یا از سمت چپ ما بلند شده است (شکل ۱۰۴). اما اگر منبع صوت درست روبرو یا درست پشت سر ما باشد، اکثر اوقات گوش‌های ما قادر به تشخیص محل منبع صوت نیستند (شکل ۱۰۵). اغلب اتفاق می‌افتد که صدای تیراندازی را که در جلو ما صورت گرفته است، طوری میشنویم که گوئی از پشت سرمان به گوش رسیده است.

در این موارد ما فقط میتوانیم — از روی شدت صوت — تیراندازی دور را از تیراندازی نزدیک تشخیص بدهیم.

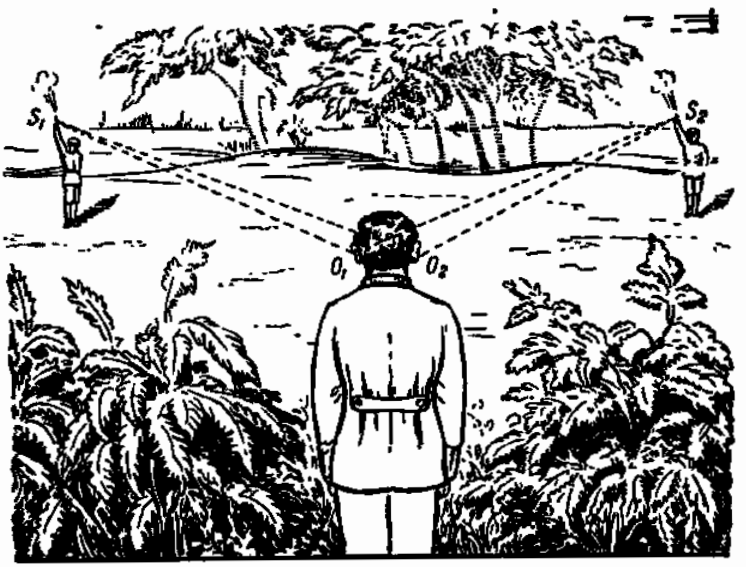
آزمایش زیر به ما چیزهای زیادی می‌آموزد:

چشم‌های یک نفر را ببندید و او را در وسط اطاق بنشانید و خواهش کنید آرام بنشیند و سرش را برنگرداند. بعد دو سکه بردارید و در امتداد سطح قائمی که سر آشنای شما را از وسط دو چشم به دو قسمت میکند، بایستید و سکه‌ها را به یکدیگر بزنید. از کسی که مورد آزمایش قرار گرفته است

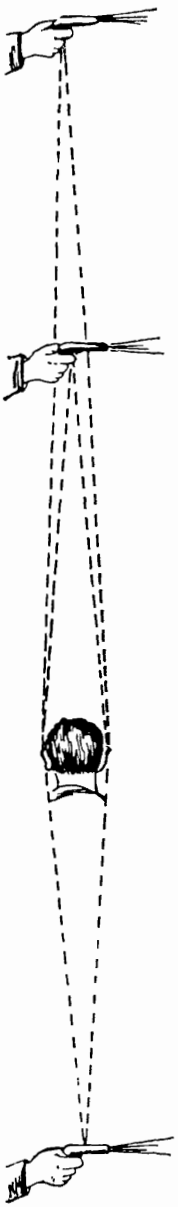
بخواهید تا بگوید صدای برخورد سکه‌ها از کجا به گوشش میرسد. جوابی که او میدهد واقعاً حیرت‌انگیز است. صدا از یک گوشهٔ اطاق برمیخیزد، اما او درست نقطهٔ مقابل آن را نشان میدهد!

اگر از امتداد سطح قائمی که سر را به دو قسمت مساوی تقسیم میکند کنار بروید، آنوقت اشتباه دیگر چندان بزرگ نخواهد بود. علت این امر معلوم است: در اینصورت صدا به آن گوش آشنای شما که نزدیک‌تر است کمی زودتر و بلندتر میرسد و در نتیجه او میتواند بگوید صدا از کجا می‌آید.

این آزمایش ضمناً نشان میدهد که چرا جای ملخی را که در میان علف‌ها جیرجیر میکند به سختی میتوان تمیز داد. صدای جیرجیر در طرف راست راه در دو قدمی شما بلند میشود. شما به آن طرف نگاه میکنید، اما چیزی نمی‌بینید. حالا صدا از طرف چپ می‌آید. سرتان را به آن طرف برمیگردانید، اما باز هم صدا از جای دیگر می‌آید. هر چه شما تندتر سرتان را به طرف ملخی که جیرجیر میکند برگردانید، پرش‌های این موزیسین نامرئی هم سریع‌تر میشود. اما در واقع ملخ از جای خود تکان نمیخورد. پرش‌های حیرت‌آور او در نتیجهٔ تصور شما و به علت خطای حس سامعه است. اشتباه شما از آنجا ناشی میشود که وقتی سرتان را برمیگردانید، سرتان



شکل ۱۰۴ — کجا تیراندازی کردند، در سمت راست یا سمت چپ؟



شکل ۱۰۵ — کجا تیراندازی کردند؟

درست طوری قرار میگیرد که سطح قائمی که سر را به دو قسمت متقارن تقسیم میکند، از نقطه‌ای که ملخ نشسته است می‌گذرد. بطوریکه میدانیم در این شرایط به آسانی میتوان در تعیین سمت صوت اشتباه کرد. ملخ در جلو شما جیر جیر میکند، اما شما در اثر خطای حس سامعه تصور میکنید که صدا از عقب می‌آید.

از اینجا یک نتیجهٔ عملی میتوان گرفت و آن اینکه: وقتی میخواهید بفهمید صدای جیر جیر ملخ و آواز فاخته و سایر اصوات دور دست از کجا به گوش میرسد، سرتان را به طرف صدا برنگردانید، بلکه به طرف عمود به آن برگردانید. ضمناً وقتی ما به قول معروف «گوش تیز میکنیم»، همین عمل را انجام میدهیم.

شگفتی‌های حس سامعه

وقتی سوخاری سفت میخوریم، صدای گوشخراشی میشنویم، در صورتیکه کسانی که پهلوی ما نشسته‌اند نیز از همان سوخاری‌ها میخورند، اما صدای آن تقریباً به گوش نمیرسد. آنها با چه حقه ای یخه خود را از شر این صدای گوشخراش خلاص میکنند؟

مطلب در آنستکه این سر و صدای شدید فقط در گوش‌های ما وجود دارد، اما گوش‌های کسانی را که پهلوی ما نشسته‌اند چندان ناراحت نمیکند. استخوان‌های جمجمه، و بطور کلی همه اجسام سفت، صوت را خیلی خوب انتقال میدهند، ضمناً صوت در محیط متراکم گاهی فوق‌العاده شدت می‌یابد. وقتی صدای شکسته شدن سوخاری از راه هوا به گوش میرسد، بسیار خفیف شنیده میشود. اما همین صدا وقتی از راه استخوان‌های سفت جمجمه به عصب سامعه میرسد، به صدای گوشخراشی تبدیل میشود.

یک آزمایش دیگر در همین رشته: دسته ساعت جیبی را میان دندان‌هایتان بگذارید و محکم بفشارید و با دو انگشت سوراخ گوش‌هایتان را سفت بگیرید. صدای تک تک ساعت بقدری شدت می‌یابد که مانند صدای ضربه‌های شدید به گوشتان میرسد.

میگویند وقتی بتهوون کر شد، یک سر عصایش را به دندان میگرفت و سر دیگر آن را روی پیانو میگذاشت و به این طریق به صدای پیانو گوش میداد. اشخاص کری که گوش داخلی آنها سالم مانده است، نیز میتوانند با موزیک برقصند، زیرا آهنگ موزیک از راه کف سالن و استخوان‌های خودشان به اعصاب سامعهٔ آنها میرسد.

«معجزات وانتریلوکی»*

«معجزات» حیرت‌انگیزی که وانتریلوک‌ها می‌کنند، برهمان خصوصیات حس سامعه که در صفحات ۱۸۹ تا ۱۹۱ از آن سخن رفت، مبتنی میباشد. پروفسور هامپسون مینویسد:

---

* Ventriloquie به طرز حرف زدنی گفته میشود که تصور میرود صدا از شکم گوینده بیرون می‌آید، و به کسی که بتواند این جور حرف بزند Ventriloque (وانتریلوک) می‌گویند. (مترجم).

«اگر کسی در وسط بام خانه‌ای راه برود و حرف بزند، صدای او در داخل خانه مانند پچ پچ آهسته‌ای به گوش میرسد. هر چه آن شخص به لب بام نزدیک‌تر شود، پچ‌پچ او هم آهسته‌تر میگردد، وقتی ما در یکی از اطاق‌های خانه نشسته‌ایم، گوش ما در بارهٔ سمت صدا و فاصلهٔ کسی که حرف میزند، هیچ اطلاعی نمیتواند به ما بدهد. اما عقل ما از روی تغییر صدا نتیجه می‌گیرد که گوینده از ما دور میشود. اگر خود صدا حاکی از آن باشد که صاحب صدا روی بام حرکت میکند، ما به آسانی این ادعا را قبول میکنیم. بالاخره، اگر کسی با این شخص که گویا روی بام است، حرف بزند و جواب‌های بامعنی بشنود، آنوقت خطای حس سامعه کامل میشود.

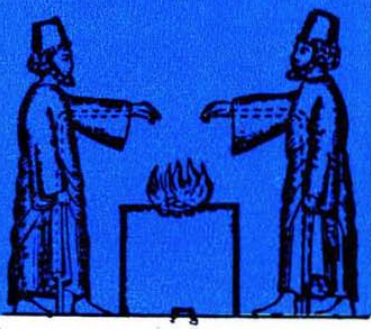
شرایطی که وانتریلوک‌ها عمل میکنند، عیناً همینطور است. وقتی نوبت صحبت به کسی میرسد که گویا روی بام است، وانتریلوک زیر لب آهسته حرف میزند، اما وقتی نوبت به خودش میرسد با صدای بلند و صاف و شمرده صحبت میکند، تا تفاوت دو صدا را بیشتر نمایان سازد. مضمون صحبت او و جواب‌های هم‌صحبت واهی‌اش خطای حس سامعه را شدیدتر میکند. تنها نقطهٔ ضعف این فریب آنستکه صدای شخصی که گویا در خارج عمارت است، عملا از شخصی به گوش میرسد که در صحنه ایستاده است، یعنی سمت موهوم صوت با حقیقت وفق ندارد.

باید یادآور شد که اصطلاح ventriloque (کسی که گوئی صدایش از شکمش بیرون می‌آید) اصطلاح مناسبی نیست. وانتریلوک باید این حقیقت را از شنوندگان پنهان سازد که وقتی نوبت صحبت به مصاحب واهی او میرسد، در واقع خود او حرف میزند. او برای نیل به این منظور به تردستی‌های گوناگون متوسل میشود. سعی میکند با ادا و اطوارهای مختلف توجه شنوندگان را از خود منحرف سازد. به یک پهلو خم میشود و چنانکه گوئی میخواهد به دقت گوش دهد، دستش را جلو گوشش میگیرد و میکوشد به این وسیله حتی‌المقدور لب‌های خود را پنهان کند. وقتی هم که نمیتواند صورتش را پنهان کند، میکوشد هر چه ممکن است کمتر لبانش را تکان بدهد. ضمناً در اکثر موارد فقط پچ‌پچ آهسته و مبهمی لازم است و این امر برای کمتر تکان دادن لب‌ها شرایط مناسب فراهم می‌آورد. حرکت لب‌ها بقدری خوب پنهان میماند که برخی گمان میکنند صدا از شکم هنرپیشه بیرون می‌آید، اصطلاح وانتریلوک نیز از همین جا پیدا شده است.»

بدین ترتیب معجزات واهی وانتریلوکی از سر تا ته فقط مبتنی بر آنستکه ما نه قادریم بطور دقیق سمت صوت را معین کنیم و نه فاصلهٔ تا منبع صوت را تخمین بزنیم. در شرایط عادی فقط میتوانیم بطور تقریبی تخمین بزنیم. اما کافی است ما را در شرایط غیر عادی قرار دهند تا در تعیین تقریبی منبع صوت هم مرتکب بزرگترین اشتباهات بشویم. خود من وقتی شیرینکاریهای وانتریلوک‌ها را تماشا میکردم، با اینکه بخوبی میفهمیدم مطلب از چه قرار است، بهیچوجه نمیتوانستم از خطای حس سامعه جلوگیری کنم.

پرلمان

فیزیک برای سرگرمی



بنگاه نشریات «میر»
مسکو

پرلمان

فیزیک برای سرگرمی

کتاب دوّم

بنگاه نشریات «میر»
مسکو

فهرست

ص

از پیشگفتار مؤلف برای چاپ سیزدهم ۱۱

فصل اول. قوانین اصلی مکانیک ۱۲

ارزانترین طرز مسافرت ۱۲
«زمین بایست!» ۱۳
نامه از هواپیما ۱۵
بمباران ۱۷
راه آهن بدون توقف ۱۷
پیاده‌روهای متحرک ۱۹
قانون مشکل ۲۰
چرا اسویاتوگور پهلوان کشته شد؟ ۲۲
آیا میتوان بدون تکیه‌گاه حرکت کرد؟ ۲۳
چرا موشک پرواز میکند؟ ۲۳
ماهی مرکب چگونه حرکت میکند؟ ۲۶
مسافرت با موشک به ستاره‌ها ۲۷

فصل دوم. نیرو. کار. اصطکاک ۲۹

مسألهٔ قو، خرچنگ و ماهی ۲۹
علیرغم کریلوف ۳۱
آیا شکستن تخم مرغ آسان است؟ ۳۳
با بادبان در خلاف جهت باد ۳۴
آیا ارشمیدس میتوانست زمین را بلند کند؟ ۳۶
پهلوان ژول ورن و فرمول اولر ۳۸
سفتی گره به چه چیز بستگی دارد؟ ۴۱
اگر اصطکاک وجود نداشت ۴۱

علت فیزیکی سانحه کشتی «چلوسکین» ۴۳
چوبی که خود بخود به حالت تعادل درمی‌آید ۴۵

فصل سوم. حرکت دورانی ۴۷
چرا فرفرهٔ در حال چرخش نمی‌افتد؟ ۴۷
هنر ژنگلورها ۴۸
حل جدید مسأله کریستف کلمب ۵۰
ثقل «نابودشده» ۵۱
شما در نقش گالیله ۵۳
بحث من با شما ۵۵
پایان بحث ما ۵۵
در کرهٔ «جادوشده» ۵۶
تلسکوپ مایع ۶۰
«حلقهٔ شیطان» ۶۱
ریاضیات در سیرک ۶۲
کمبود وزن ۶۴

فصل چهارم. نیروی جاذبهٔ عمومی ۶۶
آیا نیروی جاذبه زیاد است ؟ ۶۶
طناب فولادی از زمین به خورشید ۶۸
آیا میتوان از نیروی جاذبه رهائی یافت ۶۸
قهرمانان ولس چگونه به ماه پرواز کردند ۷۰
نیم ساعت در ماه ۷۰
تیراندازی در ماه ۷۲
در چاه بی ته ۷۳
راه افسانوی ۷۶
تونل‌ها را چگونه حفر میکنند؟ ۷۷

فصل پنجم. مسافرت در داخل گلوله توپ ۷۹
کوه نیوتن ۷۹
توپ تخیلی ۸۰
کلاه سنگین ۸۱
چگونه باید ضربه‌را ضعیف کرد؟ ۷۲
برای دوستداران ریاضیات ۸۳

فصل ششم. خصوصیات مایعات و گازها ۸۵

دریائی که در آن نمیتوان غرق شد ۸۵
کشتی یخ‌شکن چگونه کار میکند؟ ۸۷
کشتی‌هائی که غرق شده‌اند در کجا قرار دارند؟ ۸۹
چگونه آرزوهای ژول ورن و ولس جامهٔ عمل پوشیدند ۹۱
یخ‌شکن «سادکو» را چگونه بالا آوردند؟ ۹۳
محرک «دائمی» آبی ۹۴
مسأله بظاهر ساده ۹۶
مسأله حوض آب ۹۷
ظرف عجیب ۹۹
بار هوا ۱۰۰
فواره‌های تازه هرون ۱۰۲
ظرف‌های فریبنده ۱۰۴
آب در استکانی که وارونه باشد، چقدر وزن دارد؟ ۱۰۵
به چه علت کشتی‌ها یکدیگر را جذب میکنند؟ ۱۰۶
اصل برنولی و نتایج آن ۱۰۸
نقش بادکنک ماهی ۱۱۱
موج‌ها و گردبادها ۱۱۳
مسافرت به اعماق زمین ۱۱۷
تخیل و ریاضیات ۱۱۸
در چاه عمیق ۱۲۱
در استراتوسفر ۱۲۲

فصل هفتم. پدیده‌های حرارتی ۱۲۴

بادبزن ۱۲۴
چرا وقتی باد میوزد، هوا خنک‌تر است؟ ۱۲۴
نفس سوزان کویر ۱۲۵
آیا تور صورت گرم میکند؟ ۱۲۶
کوزه‌های سردکننده ۱۲۶
یخچال بی‌یخ ۱۲۷
ما چه حرارتی را میتوانیم تحمل کنیم؟ ۱۲۸
گرماسنج یا فشارسنج؟ ۱۲۹
لولهٔ چراغ چه خدمتی میکند؟ ۱۲۹
چرا شعله خود بخود خاموش نمیشود؟ ۱۳۰

فصلی که رمان ژول ورن کم دارد ۱۳۱
صبحانه در آشپزخانهٔ بی‌وزن ۱۳۱
چرا آب آتش را خاموش میکند؟ ۱۳۵
چگونه آتش را به کمک آتش خاموش میکنند؟ ۱۳۶
آیا میشود با آب جوش آب را جوش آورد؟ ۱۳۸
آیا میشود آب را با برف جوش آورد؟ ۱۳۹
«سوپ فشارسنج» ۱۴۰
آیا همیشه آب جوش داغ است؟ ۱۴۲
یخ داغ ۱۴۳
سرما از زغال ۱۴۴

فصل هشتم. مغناطیس. برق ۱۴۵
«سنگ عاشق» ۱۴۵
مسألهٔ قطب‌نما ۱۴۶
خطوط نیروهای مغناطیسی ۱۴۶
فولاد چگونه مغناطیسی میشود؟ ۱۴۸
آهن‌رباهای الکتریکی عظیم ۱۴۹
شعبده‌بازی های مغناطیسی ۱۵۱
آهن‌ربا در کشاورزی ۱۵۲
ماشین پرنده مغناطیسی ۱۵۲
آهن‌ربا جذب و دفع میکند ۱۵۴
وسیله نقلیه با آهن‌ربای الکتریکی ۱۵۵
رزم مریخی ها با ساکنان زمین ۱۵۶
ساعت و مغناطیس ۱۵۸
محرک «دائمی» مغناطیسی ۱۵۹
مسأله موزه ۱۶۰
باز هم یک محرک دائمی خیالی ۱۶۰
تقریباً محرک دائمی ۱۶۱
مرغ «سیرآب‌نشونده» ۱۶۳
چند سال است که زمین وجود دارد ۱۶۴
پرندگان روی سیم‌ها ۱۶۵
در روشنائی برق ۱۶۷
برق چند می‌ارزد ؟ ۱۶۷
رگبار صاعقه‌ای در اطاق ۱۶۸

فصل نهم. انعکاس و انکسار نور. بینائی ۱۷۰

عکس از پنج طرف ۱۷۰
موتورها و گرم‌کننده‌های آفتابی ۱۷۱
آرزوی کلاه نامرئی‌کننده ۱۷۳
آدم نامرئی ۱۷۵
نیرومندی آدم نامرئی ۱۷۷
کالبدهای شفاف ۱۷۷
آیا آدم نامرئی میتواند ببیند؟ ۱۷۸
رنگ محافظت‌کننده ۱۷۹
رنگ استتار ۱۸۰
چشم آدم در زیر آب ۱۸۱
غواصان چگونه می‌بینند؟ ۱۸۲
عدسی‌های شیشه‌ای در زیر آب ۱۸۳
آبتنی‌کنندگان بی‌تجربه ۱۸۴
سنجاق نامرئی ۱۸۶
جهان از زیر آب ۱۸۸
رنگ‌ها در اعماق آب ۱۹۱
لکهٔ کور در چشم آدم ۱۹۲
ماه به چه اندازه به نظر می‌آید؟ ۱۹۴
اندازه‌های ظاهری ستاره‌ها ۱۹۷
ابوالهول. داستان ادگار پو ۱۹۹
چرا میکروسکوپ بزرگ میکند؟ ۲۰۲
خودفریبی‌های بصری ۲۰۴
خطای باصرهٔ سودمند برای خیاط‌ها ۲۰۵
کدام یک بزرگتر است؟ ۲۰۶
نیروی تصور ۲۰۶
باز هم چند خطای باصره ۲۰۸
این چیست؟ ۲۱۰
چرخ‌های غیر عادی ۲۱۱
«میکروسکوپ زبان» در تکنیک ۲۱۴
صفحهٔ نیپکوف ۲۱۶
چرا خرگوش چپ چشم است؟ ۲۱۷
چرا در تاریکی همهٔ گربه‌ها خاکستری هستند؟ ۲۱۸
آیا اشعهٔ سرما وجود دارد؟ ۲۱۹

فصل دهم. صوت. حرکت موجی ۲۲۱
صوت و امواج رادیوئی ۲۲۱
صوت و گلوله ۲۲۱
انفجار موهوم ۲۲۲
اگر سرعت صوت کم بشود ۲۲۳
طویل‌المدت‌ترین گفتگو ۲۲۴
از سریع‌ترین راه ۲۲۴
تلگراف طبلی ۲۲۵
ابرهای صوتی و پژواک هوائی ۲۲۶
اصوات بی صدا ۲۲۷
فراصوت‌ها در خدمت تکنیک ۲۲۸
صدای کوتوله‌ها و صدای هالیور ۲۲۹
برای چه کسی روزنامه در یک روز دو بار منتشر میشود؟ ۲۳۰
مسأله سوت لکوموتیو ۲۳۱
پدیده دوپلر ۲۳۳
تاریخچه یک جریمه ۲۳۳
با سرعت صوت ۲۳۵

از پیشگفتار مؤلف برای چاپ سیزدهم

این کتاب مجموعهٔ مستقلی است و ادامه مستقیم کتاب اول «فیزیک برای سرگرمی» بشمار نمی‌آید. استقبال شایان از کتاب اول، مؤلف را بر آن داشت تا سایر یادداشت‌هائی را که گرد آمده بود، دستکاری و مرتب کند، و بدین ترتیب این کتاب دوم، یا صحیحتر کتاب دیگری که همان رشته‌های فیزیک را در بردارد، تدوین شد.

مؤلف در این کتاب نیز، مانند کتاب اول، کمتر به شرح و بیان مطالب تازه پرداخته، بلکه بیشتر کوشیده است به معلومات ساده‌ای که خوانندگان گرامی در رشته فیزیک دارند، جان تازه بخشد. منظور از تدوین کتاب برانگیختن فعالیت تصور علمی خوانندگان، آموخته کردن آنان به شیوه تفکر با روح فیزیک و توسعه و تحکیم عادت به کار بردن همه‌جانبهٔ معلومات خویش میباشد. به این دلیل در «فیزیک برای سرگرمی» به شرح و توصیف آزمایش‌هائی که تأثیرات شدید می‌بخشند، جای کمتری داده شده و توجه اصلی به مسأله‌های بغرنج و پیچیده و حالات فیزیکی، پارادکس‌ها و تناقضات آموزنده، مطالب مرکب و دشوار، مقایسه غیر منتظرهٔ پدیده‌های فیزیکی و امثال آن معطوف گردیده است. مؤلف برای یافتن و گرد آوردن اینگونه مطالب به پدیده‌های زندگی روزمره، به رشته‌های تکنیک، به طبیعت و به صفحات رمان‌های علمی و تخیلی مراجعه کرده است.

بطور کلی، کتاب دوم «فیزیک برای سرگرمی» از لحاظ مطالب گرد آورده شده در آن، نسبت به کتاب اول، برای خوانندگانی در نظر گرفته شده است که آمادگی بیشتری دارند، اما تفاوت میان این دو کتاب از این نقطه نظر بقدری کم است که میتوان آنها را به هر ترتیبی خواند.

یاکوف پرلمان

سال ۱۹۳۶

فصل اول

قوانین اصلی مکانیک

ارزانترین طرز مسافرت

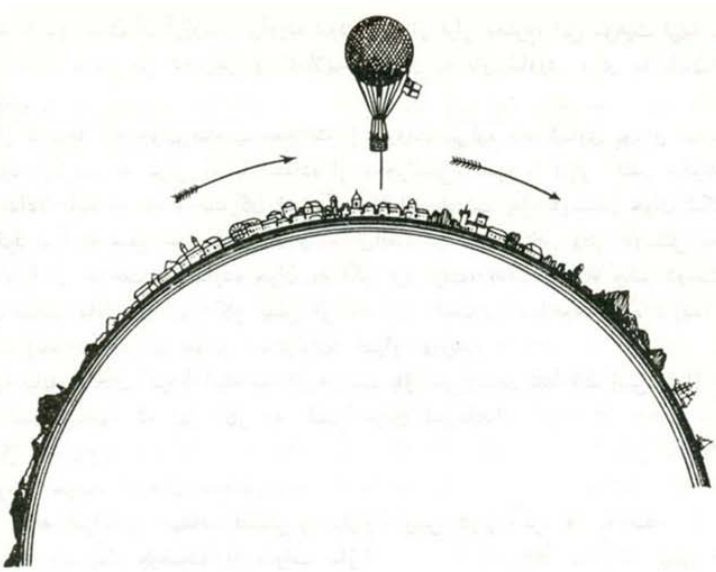
سیرانو دو برژراک نویسنده باقریحه و بذله‌گوی فرانسوی قرن ۱۷ در کتاب هجوآمیز خود «تاریخ دول در ماه» (سال ۱۶۵۲) ضمن سایر مطالب، حادثه عجیبی را که گویا برایش روی داده بود، نقل میکند. یک بار هنگامیکه سرگرم آزمایش‌های فیزیکی بود، به دلیل غیر قابل درکی با ظرف‌های شیشه‌ای خود به هوا بلند شد. وقتی پس از چند ساعت بالاخره توانست به زمین فرود آید، با نهایت تعجب مشاهده کرد که نه در میهن خویش فرانسه، حتی نه در قاره اروپا، بلکه در امریکای شمالی در کانادا فرود آمده است! اما نویسندهٔ فرانسوی پرواز ناگهانی خود را بر فراز اقیانوس اطلس امری کاملاً طبیعی میداند. او این حادثه را چنین توضیح میدهد که در مدتی که او از سطح زمین جدا شده و بی‌اختیار در هوا معلق بوده، کره ما مانند پیش چرخش به سوی خاور را ادامه میداده است و به این دلیل وقتی او فرود آمد، زیر پایش بجای فرانسه قارهٔ امریکا قرار داشت.

ظاهراً این طرز مسافرت بسیار ساده و ارزانی است! کافی است فقط از زمین بلند شویم و چند دقیقه در هوا بمانیم تا در نقطهٔ کاملاً دور دیگری در باختر فرود آئیم. هر مسافری بجای آنکه به مسافرت‌های خسته‌کننده در قاره‌ها و اقیانوس ها بپردازد، میتواند چند دقیقه بی حرکت بر فراز زمین بماند تا خود زمین مقصد مسافر را زیر پایش قرار دهد.

متأسفانه، این طرز حیرت انگیز مسافرت چیزی جز خیال خام نیست. زیرا:

اولا — وقتی ما به هوا بلند میشویم، در واقع هنوز از کره زمین جدا نشده‌ایم، بلکه با پوشش گازی شکل آن مربوط هستیم، یعنی در درون جو زمین که در چرخش زمین به دور محورش شرکت دارد، معلق باقی میمانیم. هوا (یا صحیحتر ، قشرهای پائینی متراکم آن) همراه زمین میچرخد و هر چه را در آن واقع است — ابرها، هواپیماها، تمام پرندگان و حشرات در حال پرواز و غیره‌را — با خود میبرد. اگر هوا همراه کره زمین نمی‌چرخید، وقتی ما روی زمین ایستاده بودیم، در معرض شدیدترین بادها که وحشتناک‌ترین طوفان‌ها در مقایسه با آن نسیم ملایمی است، قرار میگرفتیم*.

* سرعت طوفان ۴۰ متر در ثانیه یا ۱۴۴ کیلومتر در ساعت است. کرهٔ زمین، مثلاً در عرض جغرافیائی لنینگراد، ما را در درون هوا با سرعت ۲۳۰ متر در ثانیه یا ۸۲۸ کیلومتر در ساعت حرکت میداد.



شکل ۱ — آیا میتوان از بالون دید که زمین چگونه میچرخد؟ (در شکل مقیاس مراعات نشده است).

زیرا هیچ تفاوتی ندارد که ما در جای خود ایستاده باشیم و هوا در اطراف ما حرکت کند، یا برعکس، هوا ساکن باشد و ما در درون آن تغییر مکان بدهیم. در هر دو مورد بطور یکسانی در معرض باد شدید قرار میگیریم. موتورسیکلت سواری که با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت میکند، حتی در هوای کاملاً آرام، در معرض باد بسیار شدیدی قرار میگیرد.

ثانیاً — حتی اگر ما میتوانستیم به طبقات بالائی جو برویم، یا اگر زمین اصلا از قشر هوا پوشیده نبود، در آنصورت نیز نمیتوانستیم از طرز ارزان مسافرتی که نویسنده هجونویس فرانسوی در عالم خیال توصیف کرده است، استفاده کنیم. در واقع، وقتی ما از سطح زمین در حال چرخش جدا میشویم، تحت تأثیر اینرسی با همان سرعت قبلی، یعنی با همان سرعتی که زمین زیر ما تغییر مکان میدهد، به حرکت خود ادامه میدهیم. وقتی دوباره فرود می‌آئیم در همان نقطه‌ای واقع میشویم که قبلاً جدا شده بودیم، همانطور که وقتی در واگن قطار در حال حرکت می‌پریم، در همان نقطهٔ اولیه پائین می‌آئیم. البته، ما تحت تأثیر اینرسی روی خط مستقیم (خط مماس) حرکت میکنیم، در صورتیکه زمین زیر پای ما روی خط منحنی حرکت میکند، اما برای زمان‌های کم این امر در ماهیت مسأله تغییر نمیدهد.

«زمین بایست!»

هربرت ولس نویسنده معروف انگلیسی حکایتی خیالی در باره کارمند اداره‌ای که معجزه میکرد، نوشته است. دست قضا و قدر به جوانی فوق‌العاده کم‌عقل موهبتی عجیب داد. کافی بود آن جوان

آرزوئی بکند تا در همان آن آرزویش برآورده شود. اما، از قرار معلوم، این موهبت فریبا برای صاحب آن و برای سایر مردم جز درد سر و ناسلایمت چیزی به بار نیاورد. برای ما پایان این داستان آموزنده است.

شبی از شب‌ها که جوان صاحب معجزات تا دیروقت سرگرم باده‌گساری بود و میترسید سپیده‌دم به خانه خود برگردد، به سرش زد با استفاده از معجزنمائی، شب را دراز کند. چگونه این کاررا باید انجام داد؟ باید به ماه و ستارگان امر کرد تا از حرکت باز بایستند. جوان شک داشت و جسارت نکرد فوراً به چنین عمل دلاورانه و خارق‌العاده‌ای دست بزند. وقتی دوستش به وی اندرز داد که ماه را از حرکت باز دارد، جوان به فکر فرو رفت، بدقت به ماه چشم دوخت و گفت:

«گمان میکنم ماه برای این کار بیش از حد دور است... شما چه عقیده دارید؟

میدیگ (نام دوست آن جوان. — پرلمان) اصرار ورزید:

— چرا نباید امتحان کرد؟ البته ماه از حرکت باز نمی‌ایستد. شما فقط زمین را از چرخش باز می‌دارید. گمان میکنم که این کار به کسی ضرری نمیرساند!

فوترینگی گفت:

— هوم! خوب، امتحان میکنم...

او با قیافه آمرانه‌ای ایستاد، دستش را برفراز زمین دراز کرد و به صدای رسائی گفت:

— زمین، بایست! چرخشت را متوقف ساز!

هنوز سخنش به پایان نرسیده بود که هر دو دوست با سرعت دهها میل در ثانیه در فضا به پرواز درآمدند.

باوجود این، فکر جوان کار میکرد. در مدت کمتر از یک ثانیه او توانست در دل آرزو کند:

— بگذار هر پیشامدی بکند، من زنده و صحیح و سالم بمانم.

باید اعتراف کرد که این آرزو درست بموقع به وقوع پیوست. پس از چند ثانیه جوان روی زمین نرمی که تازه کنده بودند، افتاد و تعداد زیادی سنگ، تکه‌های بناهای ویران، انواع و اقسام اجسام فلزی، بی آنکه کوچکترین صدمه‌ای به وی برسانند، با سرعت زیادی از اطرافش میگذشتند. گاو بدبختی که زمین خورده و خرد و خمیر شده بود، نیز در پرواز بود. باد شدید و وحشتناکی میوزید. جوان نمیتوانست حتی سرش را بلند کند و به اطراف بنگرد. او با صدای لرزانی ندا برآورد:

— هیچ چیز نمی‌فهمم! چه اتفاق افتاده است؟ طوفان برخاسته است؟ لابد من حرف بی‌جائی زده‌ام.

تا حدی که باد و دامن‌های در حال اهتزاز نیم‌تنه‌اش به او امکان میدادند، به اطراف نگریست و به سخنان خود ادامه داد:

— مثل اینکه در آسمان همه چیز در جای خود و مرتب است. ماه هم آنجاست. پس بقیهٔ چیزها... پس شهر کو؟ خانه‌ها و کوچه‌ها و خیابان‌ها چه شدند؟ این باد از کجا آمد؟ من امر نکردم که باد بیاید.

فوترینگی کوشید برخیزد، اما این کار اصلاً مقدور نبود. به این دلیل چهاردست‌وپا به پیش میخزید و به سنگ‌ها و برآمدگی‌های زمین می‌چسبید. اما در واقع جائی نبود که او برود. باد دامن‌های نیم‌تنه جوان معجزنمای خزنده را به روی سرش انداخته بود و تا آنجا که میشد از زیر دامن‌ها چیزی دید، در هر سو جز ویرانی منظرهٔ دیگری وجود نداشت.

جوان فکر کرد:

— یک چیزی در دنیا بطور خیلی جدی خراب شده است.

واقعاً هم خراب شده بود. هیچ چیز دیده نمیشد — نه خانه‌ای، نه درختی و نه موجود زنده‌ای. فقط ویرانه‌های بی‌شکل و تکه پاره‌های اجسام گوناگون در میان توده انبوه گرد و خاک بزحمت دیده میشد.

البته مسئول تمام این ویرانی‌ها نمیفهمید قضیه از چه قرار است. در حالیکه توضیح آن بسیار ساده و آسان بود. فوترینگی که زمین‌را در یک آن از چرخش باز داشت، به اینرسی نیاندیشید، در صورتیکه وقتی حرکت دورانی ناگهان متوقف شد، اینرسی ناگزیر میبایست همه چیز را از روی زمین پرتاب کند. به این دلیل بود که خانه‌ها و آدم‌ها، درختان و جانوران، خلاصه تمام چیزهائی که با جرم اصلی زمین مستقیماً مربوط نبودند، در امتداد خط مماس به سطح زمین با سرعت گلوله به پرواز درآمدند. بعد همه این چیزها دو باره روی زمین می‌افتادند و خرد و خاکشیر میشدند.

فوترینگی پی برد که معجزهٔ او چندان مناسب نبوده است. بعد در دل نفرت عمیقی از هر گونه معجزه‌ای احساس کرد و به خود قول داد که دیگر معجزه نکند. اما قبلاً می‌بایست فلاکتی را که بوجود آورده بود، برطرف سازد، این فلاکت هم فلاکت کوچکی نبود: طوفان بیداد میکرد، تودهٔ انبوه گرد و خاک جلو ماه را گرفته بود، از دور غرش رعدآسای سیل که نزدیک میشد، به گوش میرسید. برقی زد و فوترینگی کوهی از آب دید که با سرعت سرسام‌آوری به جائی که او دراز کشیده بود، پیش می‌آمد. جوان با قاطعیت خطاب به آب فریاد زد:

— بایست! یک گام دیگر به پیش نیا!

سپس همین فرمان را به رعد و برق و باد نیز داد. همه چیز آرام و خاموش شد. جوان چمباتمه نشست و به فکر فرو رفت و با خود گفت:

— باید مواظب باشم که از نو دسته‌گلی به آب ندهم. — بعد افزود: — اولا — بگذار پس از آنکه تمام فرامینی که اکنون میدهم، اجرا شد، دیگر نتوانم معجزه بکنم و آدمی مثل آدمهای معمولی باشم. معجزه لازم نیست. چیز بسیار خطرناکی است. ثانیاً — بگذار همه چیز به حال سابق خود برگردد: همان شهر و همان مردم و همان خانه‌ها باشند، خودم هم همان باشم که سابق بر این بوده‌ام.

نامه از هواپیما

تصور کنید که در هواپیمائی هستید که به سرعت بر فراز زمین در پرواز است و از روی جاهای آشنا میگذرید. حالا از بالای خانه‌ای که دوست شما در آن زندگی میکند، خواهید گذشت. ناگهان به سرتان میزند که برای دوستتان نامه‌ای بفرستید. فوراً چند کلمه روی یک برگ دفترچه یادداشت می‌نویسید و آن‌را به جسم سنگینی، که پس از این ما آن‌را «بار» خواهیم نامید، می‌بندید و منتظر میشوید تا درست به روی خانهٔ دوستتان برسید و آنوقت بار را رها میکنید.

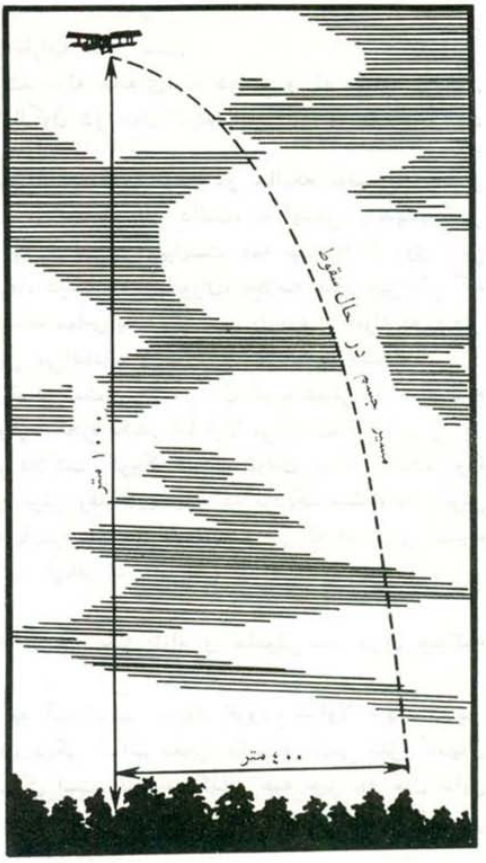
البته یقین دارید که بار در باغ خانهٔ او خواهد افتاد. اما با اینکه باغ و خانه درست زیر هواپیمای شما واقع است، بار بهیچوجه در آنجا نخواهد افتاد.

چنانچه از هواپیما سقوط بار را مشاهده کنید، پدیدهٔ عجیبی خواهید دید: بار سقوط میکند و در عین حال همانطور زیر هواپیما میماند، گوئی روی رشته‌ای نامرئی که به هواپیما بسته است،

به پائین میخزد. وقتی بار به زمین برسد، در مسافت زیادی جلوتر از جائی خواهد بود که شما نشانه‌گیری کرده بودید.

در اینجا نیز همان قانون اینرسی که مانع میشد از اندرز فریبای مسافرت به طرز برژراک استفاده کنیم، بروز میکند. تا زمانیکه بار در هواپیما بود، همراه هواپیما حرکت میکرد. سپس شما آن را رها کردید. اما وقتی بار از هواپیما جدا شد و شروع به سقوط کرد، سرعت اولیه خود را از دست نمیدهد، بلکه ضمن سقوط نیز در هوا به حرکت در سمت اولیه ادامه میدهد. هر دو حرکت — حرکت قائم و حرکت افقی — با یکدیگر ترکیب میشوند و در نتیجه بار روی خط منحنی سقوط میکند و همیشه زیر هواپیما میماند (البته اگر خود هواپیما سمت و سرعت پروازش را تغییر ندهد). بار، در واقع مانند جسمی که بطور افقی پرتاب شده باشد، پرواز میکند، مثلاً مانند گلوله‌ای که با تفنگی که بطور افقی نشانه‌گیری شده است، تیراندازی شود. در کلیهٔ این موارد جسم راه قوسی شکلی را که بالاخره به سطح زمین منتهی میشود، می‌پیماید.

باید یادآور شد که آنچه گفته شد، فقط در صورتی کاملاً صحیح است که مقاومت هوا وجود نداشته باشد. ولی در واقع مقاومت هوا هم تغییر مکان عمودی و هم تغییر مکان افقی بار را ترمز میکند و در نتیجه بار همیشه زیر هواپیما نمی‌ماند، بلکه قدری از آن عقب می‌ماند.



شکل ۲ — جسمی که از هواپیمای در حال پرواز انداخته شود، بطور قائم سقوط نمیکند، بلکه روی خط منحنی سقوط میکند.

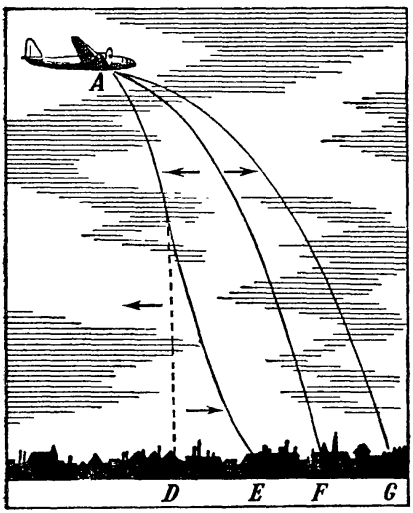
چنانچه هواپیما در ارتفاع زیاد و با سرعت زیاد پرواز کند، انحراف از خط عمودی ممکن است بسیار زیاد باشد. باری که در هوای بی‌باد از هواپیمائی که در ارتفاع ۱۰۰۰ متر با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت پرواز میکند، رها شود، در حدود ۴۰۰ متر جلوتر از آن نقطه‌ای خواهد افتاد که بطور عمودی زیر هواپیما واقع بوده است (شکل ۲).

اگر مقاومت هوا را در نظر نگیریم، حساب کردن آن ساده است. از فرمول حرکت با شتاب دکنواخت یعنی $S=\frac{gt^2}{2}$ نتیجه میشود که $t=\sqrt{\frac{2S}{g}}$. دنا بر این سنگ باید از ارتفاع هزار

متر در مدت $\sqrt{\frac{۲\times ۱۰۰۰}{۹/۸}}$ یعنی ۱۴ ثانیه سقوط کند. در این مدت سنگ در جهت افقی $۱۴\times\frac{۱۰۰۰۰۰}{۳۶۰۰}$ یعنی ۳۹۰ متر تغییر مکان خواهد داد.

بمباران

پس از آنچه گفتیم، روشن میشود که وظیفه خلبان نظامی که به وی مأموریت داده‌اند، بمب را در نقطهٔ معینی بیاندازد، چقدر دشوار است. او باید هم سرعت هواپیما، هم تأثیر هوا بر جسم در حال سقوط، و بعلاوه، سرعت باد را نیز به حساب بیاورد. در شکل ۳ راهی که بمب پرتاب‌شده در شرایط گوناگون می‌پیماید، بطور شماتیک نشان داده شده است. اگر باد نباشد، بمب پرتاب شده قوس AF را می‌پیماید (طبق آنچه در بالا توضیح دادیم). اگر باد در سمت حرکت هواپیما بوزد، بمب را به جلو میبرد و بمب قوس AG را می‌پیماید. اگر باد معتدلی از روبرو بوزد و سمت آن در بالا و پائین یکی باشد، بمب قوس AD را می‌پیماید. اما اگر، بطوری که اغلب اتفاق می‌افتد، سمت باد در بالا و در پائین مخالف یکدیگر باشد (در پائین در سمت حرکت و در بالا عکس آن)، منحنی سقوط تغییر شکل میدهد و به شکل خط AE درمی‌آید.

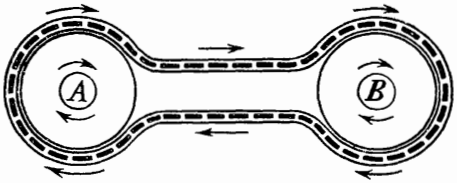


شکل ۳ — مسیر بمب‌هائی که از هواپیما پرتاب میشود: AF — در هوای بی‌باد، AG — وقتی باد در سمت حرکت هواپیما می‌وزد، AD — وقتی باد از روبرو می‌وزد، AE — وقتی باد در بالا از روبرو و در پائین در سمت حرکت هواپیما می‌وزد.

راه آهن بدون توقف

وقتی شما روی سکوی بیحرکت ایستگاه راه‌آهن ایستاده‌اید و قطار سریع‌السیر از کنارتان میگذرد، البته پریدن توی واگن در حال حرکت کار بسیار دشواری است. اما تصور کنید که سکوئی که روی آن ایستاده‌اید، نیز در سمت حرکت قطار و با سرعتی مساوی سرعت قطار، حرکت میکند. آیا در اینصورت نیز رفتن به واگن برای شما دشوار خواهد بود؟ بهیچوجه.

شما بهمان آسانی وارد واگن میشوید که اگر واگن ایستاده بود، وارد میشدید. وقتی هم شما و هم قطار در یک سمت و با سرعت یکسانی حرکت میکنید، نسبت به یکدیگر در حالت سکون



شکل ٤ — شمای ساختمان راه آهن بدون توقف، میان ایستگاه‌های A و B. ساختمان ایستگاه در شکل ٥ نشان داده شده است.

کامل هستید. البته چرخ های قطار می‌چرخند، اما به نظر شما می‌آید که چرخ ها در جا می‌چرخند. اگر بخواهیم دقیق بگوئیم، کلیه چیزهائی که ما معمولاً بی‌حرکت میشماریم — مثلاً قطاری که در ایستگاه ایستاده است — همراه ما به دور محور زمین و به دور خورشید حرکت میکنند. اما در عمل میتوانیم این حرکت را به حساب نیاوریم، زیرا برای ما هیچ مانعی به وجود نمی‌آورد.

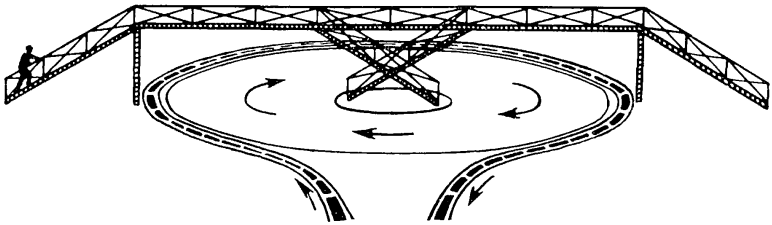
بنابر این، کاملاً امکان‌پذیر است که شرایطی فراهم بیاوریم که وقتی قطار از ایستگاه میگذرد، بی‌آنکه بایستد یا از سرعت خود بکاهد، مسافرین پیاده و سوار شوند.

اینگونه مکانیسم‌ها اغلب در نمایشگاهها ساخته میشود تا به تماشاچیان امکان داده شود چیزهای دیدنی نمایشگاه را که در منطقهٔ وسیعی قرار دارد، سریع و راحت تماشا کنند. نقاط دور محوطهٔ نمایشگاه بوسیلهٔ راه‌آهنی که به شکل نوار بی‌انتهائی ساخته شده، به یکدیگر وصل میشوند. مسافرین میتوانند در هر لحظه و هر جا که دلشان بخواهد، به واگن‌های قطار در حال حرکت سریع سوار یا از آن پیاده شوند.

این مکانیسم جالب در شکل‌های ٤ و ٥ نشان داده شده است. در شکل ٤ ایستگاههای انتهائی با حرف‌های A و B نشان داده شده است. در هر ایستگاه میدانچهٔ گرد بی‌حرکتی قرار دارد که در مرکز صفحهٔ حلقه‌مانند گردنده بزرگی واقع است. کابلی که واگن‌ها به آن بسته شده‌اند، به دور صفحه‌های گردندهٔ هر دو ایستگاه دور میزند. حالا توجه کنید که وقتی صفحه میگردد چه روی میدهد. واگن‌ها با سرعتی مساوی سرعت گردش لبهٔ خارجی صفحه‌ها به دور آنها حرکت میکنند. بنا بر این مسافران میتوانند بدون کوچکترین خطری از روی صفحه به واگن بروند، یا برعکس، از واگن پیاده شوند. وقتی مسافر از واگن پیاده شد، روی صفحه گردنده به طرف مرکز دایره میرود تا به میدانچهٔ بی‌حرکت برسد. رفتن از روی صفحه گردنده به میدانچهٔ بی حرکت کار دشواری نیست، زیرا در اینجا که شعاع دایره کوچک است، سرعت محیطی نیز بسیار کم است.* وقتی به میدانچهٔ بی‌حرکت رسید، میتواند از روی پلی که در شکل ٥ ملاحظه میکنید، به محوطهٔ خارج از راه‌آهن برود.

---

* به آسانی میتوان فهمید که نقاط لبه داخلی بمراتب کندتر از نقاط خارجی حرکت میکنند، زیرا در زمان واحد مسافت محیطی بمراتب کمتری‌را می‌پیمایند.



شکل ۵ — ایستگاه راه آهن بدون توقف.

عدم لزوم توقف‌های پی‌درپی موجب صرفه‌جوئی زیاد در وقت و صرف انرژی میشود. مثلاً در تراموای داخل شهر قسمت بیشتر وقت و تقریباً دو سوم انرژی صرف افزایش تدریجی سرعت هنگام حرکت از ایستگاهها و کاستن سرعت هنگام توقف‌ها میشود.*

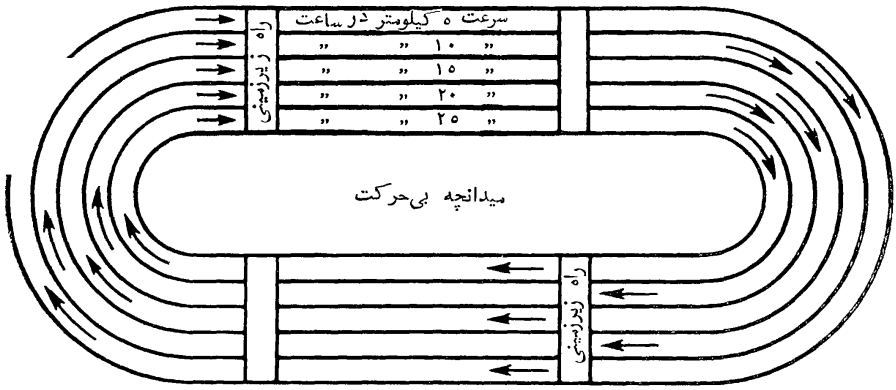
در ایستگاههای راه آهن میتوان حتی بدون سکوهای متحرک مخصوص نیز، مسافران را ضمن حرکت سریع قطار از واگن پیاده و به واگن سوار کرد. تصور کنید که قطار سریع‌السیری از کنار ایستگاه معمولی ساکن میگذرد و ما میخواهیم که بدون توقف قطار، عده‌ای مسافر سوار آن بشوند. فرض کنید که این مسافران فعلاً در قطار دیگری جای دارند که در خط فرعی موازی با خط اصلی ایستاده است، و فرض کنید که این قطار شروع به حرکت کند و بتدریج سرعتش افزایش بیابد و بالاخره مساوی سرعت قطار سریع‌السیر بشود. وقتی دو قطار در کنار هم قرار گرفتند، آنوقت نسبت به یکدیگر بی‌حرکت هستند. حالا کافی است که واگن‌های این دو قطار را بوسیله پل‌های کوچکی به یکدیگر وصل کنیم تا مسافران قطار کمکی بتوانند براحتی وارد قطار سریع‌السیر بشوند. بطوری که ملاحظه میکنید، دیگر توقف در ایستگاهها لزومی ندارد.

پیاده‌روهای متحرک

مکانیسم دیگری که «پیاده‌روهای متحرک» نام دارد و تا کنون فقط در نمایشگاهها مورد استفاده قرار میگیرد، نیز بر اساس نسبی بودن حرکت ساخته شده است. این مکانیسم برای نخستین بار در سال ۱۸۹۳ در نمایشگاه شیکاگو، و سپس در سال ۱۹۰۰ در نمایشگاه جهانی پاریس به کار برده شد.

---

* چنانچه هنگام ترمز کردن ارتباط موتورهای الکتریکی واگن را با شبکهٔ برق طوری تغییر بدهیم که مانند دینام کار کنند و برق تولیدشده را به شبکه برق برگردانند، میتوان از تلف شدن انرژی جلوگیری کرد. در شارلوتنبورگ (حومه برلین) توانسته‌اند به این طریق صرف نیروی برق برای حرکت تراموای را به میزان ۳۰ درصد تقلیل بدهند. (این طریقه در الکتریکی کردن راه آهن سرتاسری ولادیوستوک — مسکو به میزان وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است (هیأت تحریریه).



شکل ۶ — پیاده‌روهای متحرک

در شکل ۶ نقشهٔ این مکانیسم نشان داده شده است. پنج پیاده‌رو به شکل نوارهای بسته ملاحظه میکنید که بوسیلهٔ دستگاه ویژه‌ای یکی در درون دیگری و با سرعت‌های مختلف حرکت میکنند.

نوار خارجی آهسته با سرعت ۵ کیلومتر در ساعت حرکت میکند. این سرعت سرعت معمولی شخصی است که پیاده راه میرود و گام گذاشتن روی نواری که چنین آهسته حرکت میکند، کار دشواری نیست. در پهلوی این نوار، در داخل آن، نوار دوم با سرعت ۱۰ کیلومتر در ساعت حرکت میکند. اگر بخواهیم از خیابان بی‌حرکت مستقیماً روی این نوار بپریم، خالی از خطر نیست، اما گام گذاشتن روی آن از روی نوار اول هیچ اشکالی ندارد. در واقع، سرعت نوار دوم که با سرعت ۱۰ کیلومتر در ساعت حرکت میکند، نسبت به نوار اول که با سرعت ۵ کیلومتر در ساعت حرکت میکند، فقط ۵ کیلومتر در ساعت است. بنابر این، عبور از روی نوار اول به روی نوار دوم بهمان اندازه آسان است که عبور از روی زمین به روی نوار اول. نوار سوم با سرعت ۱۵ کیلومتر در ساعت حرکت میکند و البته، عبور از روی نوار دوم به روی نوار سوم دشوار نیست. همینطور به آسانی میتوان از روی نوار سوم به روی نوار چهارم که با سرعت ۲۰ کیلومتر در ساعت حرکت میکند، و از آنجا به روی نوار پنجم که با سرعت ۲۵ کیلومتر در ساعت حرکت میکند، گام گذاشت. نوار پنجم مسافر را به جائی که برایش لازم است میرساند. در آنجا مسافر برعکس از روی یک نوار به روی نوار دیگر و بالاخره به روی زمین بی حرکت میرود.

قانون مشکل

یقیناً هیچ یک از سه قانون اصلی مکانیک به اندازه قانون معروف به «سومین قانون نیوتن» — قانون کنش و واکنش موجب حیرت و تعجب نمیشود. همه این قانون را میدانند و حتی میتوانند در مواردی، درست بکار ببرند، اما کمتر کسی است که در درک آن با برخی ناروشنی‌ها روبرو نباشد. خواننده گرامی، شاید شما سعادت آن را داشته‌اید که این قانون را فوراً بفهمید، اما من اعترف میکنم

که فقط ده سال پس از نخستین آشنائی با این قانون، آن‌را بطور باید و شاید درک کردم.

من بارها ضمن صحبت با اشخاص مختلف یقین حاصل کردم که اکثریت اشخاص حاضرند صحت این قانون را بپذیرند، اما با قید و شرط‌های جدی. با کمال میل صحت این قانون‌را برای اجسام ساکن ممکن میشمارند، اما نمیفهمند که چگونه میتوان آن‌را در مورد تأثیر متقابل اجسام در حال حرکت بکار برد... طبق این قانون، همیشه واکنش مساوی و معکوس کنش است. بنا بر این وقتی اسب ارابه را میکشد، ارابه نیز اسب‌را با همان مقدار نیرو به عقب میکشد. در اینصورت ارابه باید در جای خود بماند، پس چرا، با وجود این، حرکت میکند؟ اگر این دو نیرو مساوی هستند، پس چرا میان آنها تعادل برقرار نمیشود؟

چنین است شک و تردیدهای معمولی در باره این قانون. پس قانون درست نیست؟ نه، قانون بدون شک درست است، فقط ما آن را نادرست درک میکنیم. میان نیروها تعادل برقرار نمیشود فقط به این دلیل که به اجسام مختلف وارد می‌آیند — یکی به ارابه و دیگری به اسب. بلی، نیروها مساوی هستند، اما مگر نیروهای مساوی همیشه کنش‌های یکسانی بوجود می‌آورند؟ مگر نیروهای مساوی در همهٔ اجسام تولید شتاب‌های مساوی میکنند؟ مگر کنش نیرو بر جسم به آن جسم و مقدار مقاومتی که خود جسم در برابر نیرو بوجود میاورد، وابسته نیست؟

اگر به این مطالب بیاندیشیم، آنوقت برایمان روشن میشود که چرا با وجود اینکه ارابه اسب را با نیروئی مساوی اسب میکشد، باز هم اسب ارابه را به دنبال خود حرکت میدهد و میبرد. نیروئی که بر ارابه وارد می‌آید، با نیروئی که بر اسب وارد می‌آید، در هر لحظه مساوی است، اما چون ارابه بطور آزاد روی چرخهایش تغییر مکان میدهد و اسب به زمین تکیه دارد، روشن است که چرا ارابه به طرف اسب میغلتد. فکر کنید که اگر ارابه در برابر نیروی محرکهٔ اسب واکنش نمیکرد، در آنصورت احتیاجی به اسب نبود، کوچکترین نیرو میبایست ارابه را به حرکت درآورد. اسب فقط برای آن لازم است که واکنش ارابه‌را خنثی کند.

اگر این قانون به شکل کوتاه معمولی یعنی «کنش مساوی واکنش است» بیان نمیشد، بلکه مثلاً به این شکل بیان میشد «نیروی به وجود آورنده واکنش مساوی است با نیروی به وجود آورنده کنش»، آنوقت همهٔ مطالب بالا بهتر فهمیده میشد و کمتر شک و تردید به میان می‌آورد. زیرا در اینجا فقط نیروها مساوی هستند، اما کنش‌ها (اگر طبق معمول از «کنش نیرو» تغییر مکان جسم‌را بفهمیم) معمولاً نا مساوی هستند، چونکه بر اجسام مختلف وارد آمده‌اند.

درست همینطور، وقتی یخ‌های قطب شمال بر بدنه کشتی «چلوسکین» فشار می‌آوردند، بدنه کشتی نیز با نیروئی به همان اندازه بر یخ فشار می‌آورد. علت وقوع سانحه این بود که یخ عظیم توانست در برابر چنین نیروئی مقاومت کند و خرد نشود، اما بدنهٔ فولادی کشتی چون جسم یکپارچه‌ای نبود، در برابر این نیرو تاب نیاورد و خرد و له شد. (علل فیزیکی انهدام کشتی «چلوسکین» در صفحه ۴۳ در قسمت جداگانه‌ای بطور مفصل شرح داده شده است).

حتی سقوط اجسام نیز کاملاً تابع قانون واکنش است. سیب به زمین می‌افتد، زیرا زمین آن‌را به سوی خود میکشد، اما سیب نیز درست با همان نیرو تمام کره زمین‌را به سوی خود میکشد. اگر بخواهیم دقیق بیان کنیم، باید گفت که سیب و کره زمین روی یکدیگر می‌افتند، اما سرعت این

سقوط برای سیب و برای زمین یکسان نیست. دو نیروی مساوی کشش متقابل، یکی به سیب شتابی مساوی ۱۰ متر در ثانیه۲ میدهد، اما شتابی که دیگری به کره زمین میدهد، به همان اندازه که جرم کره زمین از جرم سیب بیشتر است، از شتاب سیب کمتر میباشد. البته جرم کره زمین به میزان غیر قابل تصوری بیش از جرم سیب است، به این دلیل زمین بقدری کم تغییر مکان میدهد که عملاً میتوان آن‌را مساوی با صفر شمرد. به همین دلیل است که بجای آنکه بگوئیم «سیب و زمین روی یکدیگر می‌افتند»، میگوئیم: «سیب روی زمین می‌افتد» *.

چرا اسویاتوگور پهلوان کشته شد؟

در میان داستان‌های حماسی ملت روس داستانی در باره پهلوانی به نام اسویاتوگور هست. این پهلوان به فکر افتاد که زمین‌را از جا بلند کند. اگر روایتی‌را که شایع است باور کنیم، ارشمیدس نیز حاضر بود این عمل قهرمانانه‌را انجام دهد و نقطه اتکائی برای اهرم خود میخواست. اما اسویاتوگور بدون اهرم هم نیرومند بود. او فقط پی چیزی میگشت که بتواند با دستان نیرومندش آن‌را بگیرد و زور خود را به کار بیاندازد و میگفت: «اگر دستگیره‌ای می‌یافتم، تمام زمین‌را از جا بلند میکردم». چنین امکانی برایش پیش آمد، پهلوان روی زمین «خورجینی یافت که نه تکان میخورد و نه میشد آن را بلند کرد».

اسویاتاگور به زیر آمد زاسب پیل‌تن
با دو دست آهنین بگرفت خورجین وزین
زور زد بالا ببردش تا سر زانو، ولیک
هر دو پایش تا به زانو رفت در توی زمین.
بر رخ سیمین بجای اشک خون جاری بشد
ماند آنجا در زمین و داد جان او اینچنین.

اگر اسویاتوگور قانون کنش و واکنش را میدانست، می‌فهمید که نیروی بهادرانه او که بر زمین وارد می‌آید سبب واکنش با نیروئی به همان عظمت میشود که قادر است خود اورا به زمین فرو کند.

در هر صورت از این داستان حماسی معلوم میشود که مردم از مدتها پیش توجه کرده و میدیده‌اند که وقتی فشاری بر زمین وارد می‌آید، زمین واکنش میکند. مردم هزاران سال پیش از آنکه نیوتن در کتاب جاویدان خویش «اصول ریاضی فلسفه طبیعی» (فلسفه طبیعی یعنی فیزیک) برای نخستین بار قانون کنش و واکنش را بیان کند، این قانون‌را بطور ناآگاه به کار میبرده‌اند.

---

* در باره قانون واکنش به «مکانیک برای سرگرمی» تالیف اینجانب فصل ۱، نیز مراجعه شود.

آیا میتوان بدون تکیه‌گاه حرکت کرد؟

ما هنگام راه رفتن پا را به زمین تکیه داده حرکت میکنیم. روی کف اطاق بسیار صاف یا روی یخ که پا نمیتواند به آن تکیه کند، نمیتوان راه رفت. وقتی لکوموتیو حرکت میکند، چرخ های گرداننده آن به ریل تکیه میکنند. اگر به ریل‌ها روغن بمالیم، لکوموتیو در جای خود میماند. گاهی (در مواقع یخبندان) حتی برای اینکه لکوموتیو را از جا حرکت دهند، با دستگاه مخصوصی جلو چرخ های گرداننده لکوموتیو روی ریل‌ها شن میپاشند. در ابتدای پیدایش راه آهن که چرخ‌ها و ریل‌ها را دندانه‌دار میساختند، همانا به این دلیل بود که چرخ‌ها میبایست به ریل‌ها تکیه داشته باشند. کشتی بوسیله پره‌های چرخ پهلوئی یا پروانه که به آب تکیه دارد، حرکت میکند. هواپیما نیز بوسیله ملخ که به هوا تکیه دارد، حرکت میکند. خلاصه، جسم در هر محیطی که تغییر مکان بدهد، ضمن حرکت به آن محیط تکیه میکند. ولی آیا جسم میتواند بدون آنکه در خارج از خود هیچ تکیه‌گاهی داشته باشد، شروع به حرکت کند؟

ظاهراً، کوشش برای عملی کردن چنین حرکتی درست مثل آنستکه آدم بخواهد موهای خودرا بگیرد و خودرا از زمین بلند کند. بطوریکه میدانیم، تا کنون فقط در افسانه‌ها توانسته‌اند چنین کاری را انجام بدهند. اما اینگونه حرکت ظاهراً غیر ممکن اغلب اوقات جلو چشم ما صورت میگیرد. البته جسم نمیتواند تنها با نیروهای درونی خود، مجموعه خود را به حرکت درآورد، اما میتواند قسمتی از ماده خودرا به یک سو و قسمت دیگررا به سوی عکس آن به حرکت درآورد. بارها موشک در حال پرواز را دیده‌اید، ولی آیا هیچ به این سؤال اندیشیده‌اید که چرا موشک پرواز میکند؟ پرواز موشک درست نمونهٔ آن نوع حرکتی است که مورد توجه ما میباشد.

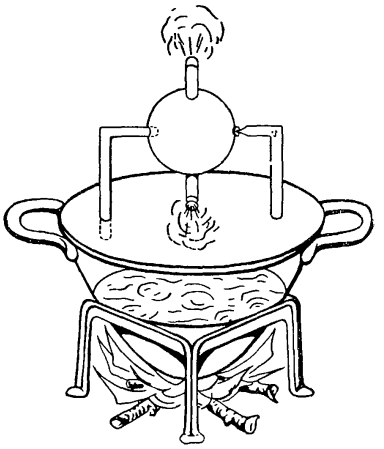
چرا موشک پرواز میکند؟

اغلب اتفاق می‌افتد که حتی برخی از کسانی که فیزیک آموخته‌اند، علت پرواز موشک را نادرست توضیح میدهند و میگویند: علت پرواز موشک اینستکه گویا گازهای تولیدشده در نتیجه احتراق باروت درون موشک به هوا تکیه میکنند. در قدیم چنین تصور میکردند (موشک اختراعی است بسیار قدیمی). اما اگر موشک را در فضای بدون هوا رها کنیم، بدتر از درون هوا پرواز نخواهد کرد، بلکه بهتر پرواز خواهد کرد. علت واقعی پرواز موشک بکلی غیر از آنستکه برخی تصور میکنند. کیبالچیچ انقلابی روسی در یادداشت پیش از مرگش در باره ماشین پرنده‌ای که اختراع کرده بود، علت پرواز موشک را بسیار ساده و قابل فهم بیان کرده است. او ضمن توضیح ساختمان موشک‌های جنگی می‌نویسد: «در استوانهٔ حلبی که یک قاعدهٔ آن باز و قاعدهٔ دیگرش بسته است، استوانه‌ای از باروت فشردهشده بطور کیپ قرار میدهند. در طول محور استوانهٔ باروتی فضای خالی به شکل مجرائی[1] تعبیه شده است. احتراق باروت از سطح درونی این مجرا شروع میشود و در طی مدت معینی تا سطح خارجی باروت فشردهشده پخش میگردد. گازهائی که ضمن احتراق تولید میشود، به همه طرف فشار می‌آورد. میان فشارهای پهلوئی تعادل برقرار میشود، اما میان فشاری که بر ته استوانه فلزی وارد می‌آید، با فشار جهت عکس آن تعادل برقرار نمیشود (زیرا در آن جهت

گازها راه خروج آزاد دارند). این فشار استوانه را به سوئی که پیش از شروع احتراق، در دستگاه گذاشته شده بود، به پیش میراند».

در این مورد همان عملی صورت میگیرد که هنگام تیراندازی با توپ روی میدهد، یعنی گلوله به جلو می‌پرد و خود توپ به عقب میرود. به اصطلاح نظامی «عقب زدن» توپ و «لگد زدن» تفنگ و امثال آن‌را به یاد بیاورید. اگر توپ بدون هیچگونه تکیه‌گاهی! در هوا معلق میبود، پس از تیراندازی با سرعت معینی به عقب حرکت میکرد، و این سرعت به همان اندازه که وزن توپ از وزن گلوله بیشتر است،از سرعت گلوله کمتر می‌بود. در رمان تخیلی ژول ورن «وارونه» چند نفر امریکائی به فکر افتادند از نیروی عقب زدن توپ عظیمی حتی برای انجام یک وظیفه بسیار بزرگ، یعنی «راست کردن محور زمین» استفاده کنند.

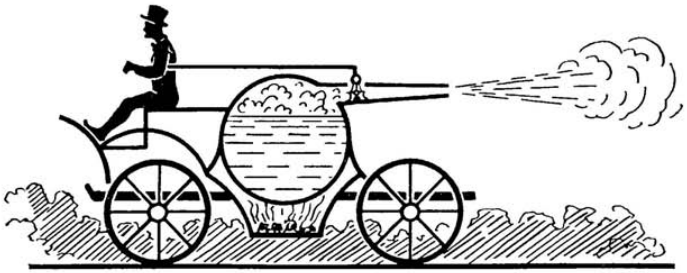
در واقع امر، موشک توپی استکه به جای گلوله گاز از آن خارج میشود. فشفشه‌های دوار که لابد در شب‌های آتش‌بازی دیده‌اید، نیز روی همین اصل میچرخند: چند لوله روی چرخی کار گذاشته شده است، باروت داخل لوله‌ها میسوزد و از یک طرف لوله‌ها با فشار بیرون می‌آید، خود لوله‌ها (و همراه آنها چرخ) به سوی دیگر به حرکت درمی‌آیند و میچرخند. این در واقع، نوع تغییر شکل یافته ابزاری است که در فیزیک به چرخ سگنر معروف است.



شکل ۷ — قدیم‌ترین ماشین (توربین) بخاری که هرون اسکندرونی در قرن ۲ قبل از میلاد اختراع کرده بود.

جالب استکه هنوز پیش از اختراع کشتی بخاری، نقشه کشتی مکانیکی وجود داشته است که بر اساس همین اصل طرح شده بود. طبق این طرح میبایست ذخیره آب درون کشتی به کمک تلمبه‌ای که در قسمت عقب کشتی کار گذاشته میشده است، با فشار زیاد به خارج ریخته شود و در نتیجه کشتی میبایست، مانند قوطی‌های حلبی شناوری که برای اثبات اصل مورد بحث در اطاق آزمایش‌های فیزیکی دبیرستان‌ها وجود دارد، به جلو حرکت کند. این طرح که از طرف «رمزی» پیشنهاد شده بود، بمورد اجرا درنیامد، اما در اختراع کشتی بخاری نقش معینی بازی کرد، زیرا فولتون‌را به فکر این ایده انداخت.

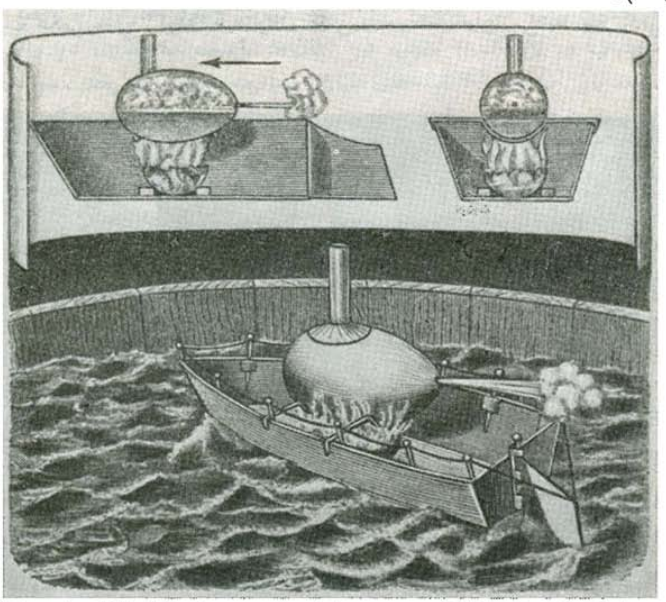
میدانیم که قدیم‌ترین ماشین بخار که در قرن دوم قبل از میلاد به وسیلهٔ هرون اسکندرونی اختراع شده بود، بر اساس همین اصل ساخته شده بود. بخار بوسیلهٔ لوله‌ای از دیگ (شکل ۷) به درون کرهٔ مجوفی که روی یک محور افقی نصب شده بود، میرفت و سپس از دو لولهٔ کوچک زانوئی خارج میشد و این دو لوله را در جهت عکس خمیدگی لوله‌ها به حرکت درمی‌آورد وکره می‌چرخید. متأسفانه توربین بخاری هرون در دوران باستان فقط به صورت یک اسباب‌بازی جالب باقی



شکل ۸ — اتومبیل بخاری که نیوتن را مخترع آن میدانند.

ماند، زیرا ارزان بودن کار بردگان هیچ کس‌را به استفادهٔ عملی از ماشین تشویق نمی‌کرد. اما خود این اصل در تکنیک فراموش نشده است و در دوران ما در ساختمان توربین‌های راکتیو بکار میرود.

طرح یکی از نخستین اتومبیل‌های بخاری‌را که بر اساس همین اصل ساخته شده است به نیوتن کاشف قانون کنش و واکنش نسبت میدهند. بخار از دیگی که روی چهار چرخ کار گذاشته شده، با فشار به یک سو خارج میشود و خود دیگ در اثر نیروی عقب زدن به سوی دیگر به حرکت درمی‌آید (شکل ۸).

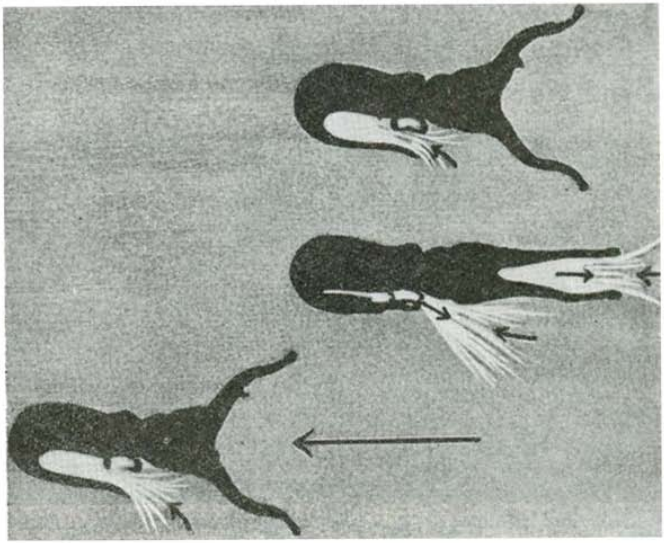


شکل ۹ — کشتی اسباب‌بازی از کاغذ و پوست تخم مرغ. سوخت آن الکلی است که در انکشتانه ریخته شده است. بخاری که از سوراخ «دیگ بخار» (تخم مرغ خالی) با فشار خارج میشود، کشتی‌را در عکس جهت خروج بخار به حرکت در می‌آورد.

اتومبیل‌های موشکی، نوع معاصر و تغییر شکل یافته همان کالسکه نیوتن میباشد.
برای کسانی که به ساختن دستگاههای مختلف علاقه دارند، شکل بک کشتی کاغذی که به کالسکه نیوتن بسیار شبیه است، در اینجا کشیده شده است (شکل ۹). در دیگ بخاری که از یک تحم مرغ خالی عبارت است و بوسیله شعلهٔ پنبهٔ آغشته به الکل در یک انگشتانه گرم میشود، بخار بوجود می‌آید. این بخار با فشار از یک سو خارج میشود و تمام کشتی کاغذی را به سوی دیگر به حرکت درمی‌آورد. اما برای ساختن این اسباب‌بازی آموزنده، باید دستان بسیار ورزیده و ماهر داشت.

ماهی مرکب چگونه حرکت میکند؟

اگر بشنوید که «موهای خودرا گرفتن و خود را از زمین بلند کردن» خیالی برای بسیاری از موجودات زنده طریقهٔ معمولی حرکت در آب است، تعجب خواهید کرد.
ماهی مرکب و، بطور کلی، بسیاری از پابرسران نرم‌تن در آب به این طریق حرکت میکنند: آب‌را از راه سوراخ‌های پهلوئی و قیف مخصوصی که در قسمت جلوی بدنشان قرار دارد، به حفرهٔ جهاز تنفس میکشند و سپس آب‌را با فشار از راه همین قیف خارج میکنند. ضمن این عمل، طبق قانون واکنش، در جهت عکس خارج کردن آب چنان تکانی به بدنشان وارد می‌آید که کافی است تا بتوانند



شکل ۱۰ — حرکت ماهی مرکب هنگام شنا.

با سرعت نسبتاً زیاد به عقب شنا کنند. ضمناً ماهی مرکب میتواند لولهٔ قیفرا به پهلو یا به عقب متوجه سازد و آب را با فشار از آن بیرون بدهد و به هر سمتی که بخواهد حرکت کند.

حرکت مدوز نیز بر اساس همین اصل صورت میگیرد. مدوز با منقبض کردن عضلاتش آب را از زیر بدن جرس‌مانند خود خارج میکند و در نتیجه در جهت عکس خروج آب تکانی به بدنش وارد می‌آید. بسیاری از حیوانات دریائی دیگر نیز از این طریقه برای حرکت در آب استفاده میکنند. حالا دیگر برای ما جای هیچگونه شک باقی نمیماند که این نوع حرکت ممکن است.

مسافرت با موشک به ستاره‌ها*

چه چیز جالبتر و دلفریبتر از آنستکه کرهٔ زمین را ترک کنیم و در جهان بی‌پایان به سیر و سیاحت بپردازیم، از زمین به ماه و از ستاره‌ای به ستارهٔ دیگر پرواز کنیم؟

چه بسیار رمان‌های تخیلی که در این موضوع نوشته شده، چه بسا اشخاصی که ما را شیفتهٔ مسافرت خیالی به ستارگان کرده‌اند! ولتر در «میکرومگاس»، ژول ورن در «مسافرت به ماه» و «هکتور سروادا ک»، «نخستین آدمها در ماه» و بسیاری از پیروان آنان مسافرت‌های جالب و دلفریب به ستارگان آسمان کرده‌اند، البته در عالم خیال. اما عملا ما تا کنون هنوز اسیر و بندی کره زمین هستیم.

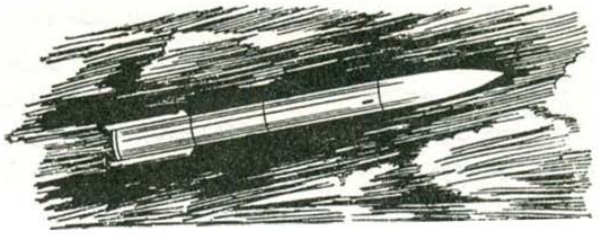
آیا واقعاً هیچ امکانی برای عملی ساختن این آرزوی دیرین وجود ندارد؟ آیا واقعاً اینهمه نقشه‌های جالب که چنان دلچسب و نزدیک به حقیقت در رمان‌ها توصیف شده است، در واقع غیر قابل اجرا است؟ در صفحات بعد باز هم در بارهٔ نقشه‌های خیالی مسافرت به ستاره‌ها بحث خواهیم کرد. اکنون با طرح عملی اینگونه پروازها که برای نخستین بار از طرف دانشمند بزرگ روسی کنستانتین تسیولکوفسکی پیشنهاد شده است، آشنا میشویم.

آیا میشود با هواپیما به ماه پرواز کرد؟ البته نمیشود. هواپیماها و دیریژابل‌ها فقط زمانی میتوانند حرکت کنند که به هوا تکیه داشته باشند، اما بین زمین و ماه هوا نیست. در فضای کیهانی اصولا هوا یا گاز بحد کافی غلیظ و متراکم وجود ندارد که «دیریژابل ستاره‌پیما» بتواند به آن تکیه کند. بنا بر این باید دستگاهی اختراع کرد که بتواند بدون تکیه به چیزی، به حرکت درآید و در مورد لزوم سمت حرکت آن تغییر کند.

موشک که ما آن را به شکل اسباب‌بازی مورد بررسی قرار دادیم، چنین دستگاهی است. پس چرا موشک عظیمی که در آن جای مخصوصی برای آدم‌ها، مواد خوراک، چند مخزن هوا و جا برای سایر چیزها وجود داشته باشد، نسازیم؟ در نظر مجسم کنید که سرنشینان یک موشک عظیم ذخیرهٔ

---

* اکنون که دستگاههای خودکار فضائی به نزدیکترین سیارات پرواز میکنند و نمونه خاک ماه را به زمین می‌آورند، اکنون که تقریباً هر روز ماه‌های مصنوعی به فضا پرتاب میشود و انسان به سطح ماه گام نهاده، شاید خوانندگان جوانی که تمام دوران زندگی آگاهانه و یا حتی تمام عمرشان پس از آغاز عصر فضائی در سال ۱۹۵۷، سپری شده است، تبلیغ پرواز به ستاره‌ها از طرف پرلمان را کاری ساده‌لوحانه تصور کنند. باوجود این ما این قسمت را، بعنوان قسمتی که اهمیت تاریخی دارد، در کتاب باقی میگذاریم. پرلمان یکی از خستگی‌ناپذیرترین مبلغین پروازهای فضائی بود (هیأت تحریریه).



شکل ۱۱ — طرح دیریژابل ستاره‌پیما که شبیه به موشک ساخته شده است.

کافی سوخت همراه دارند و میتوانند جریان انفجار گازها را به هر سو که بخواهند، متوجه سازند. آنوقت یک سفینهٔ فضائی هدایت شونده واقعی خواهید داشت، که در آن میتوان در اقیانوس فضای کیهانی شناور شد و به ماه و ستاره‌ها پرواز کرد. سرنشینان میتوانند با تنظیم احتراق، سرعت این دیریژابل ستاره‌پیمارا بتدریج زیاد کنند، بطوریکه افزایش سرعت به آنها صدمه‌ای نرساند. وقتی بخواهند در ستاره‌ای فرود آیند، میتوانند سفینهٔ خودرا برگردانند و بتدریج سرعت آن‌را کم کنند و بدین طریق از شدت سقوط بکاهند. بالاخره سرنشینان میتوانند به همین طریق به زمین برگردند.

به یاد بیاوریم که هواپیمائی تا همین چندی پیش نخستین گام‌های نااستوار خود را در راه پیشرفت و ترقی برمیداشت. اما اکنون هواپیماها در ارتفاعات بسیار زیاد پرواز میکنند و از فراز کوهها، دشت‌ها، قاره‌ها و اقیانوس‌ها میگذرند.

شاید «ستاره‌پیمائی» نیز پس از بیست سی سال به چنین موفقیت‌های عظیمی نائل آید. آنوقت انسان زنجیرهای نامرئی‌را که طی قرون متمادی اورا به زمین زادگاهش میخکوب کرده بود، میدرد و در پهنهٔ بی‌پایان جهان به پرواز درمی‌آید.

فصل دوم

نیرو. کار. اصطکاک

مسأله قو ، خرچنگ و ماهی

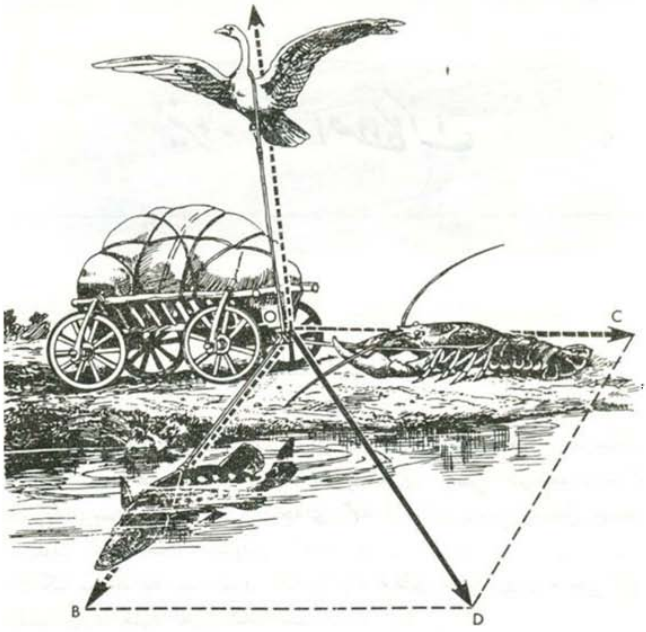
داستان کریلوف داستان‌سرای معروف روسی را در باره اینکه چگونه قو و خرچنگ و ماهی تصمیم گرفتند ارابه پربار را بکشند ، همه میدانند . اما تصور نمیرود کسی کوشیده باشد این داستان را از نقطه نظر مکانیک مورد بررسی قرار دهد . نتیجه‌ای که از این بررسی حاصل میشود ، هیچ شباهتی به نتیجه‌ای که کریلوف گرفته است ، ندارد .

یک مسأله مکانیک مربوط به چند نیرو که با زاویه‌های معین روی جسمی اثر میکنند ، به ما داده شده است . جهت نیروها چنین تعیین شده است :

قو به سوی آسمان ، ماهی کشد آن را به آب
زین میان خرچنگ بهر خویش پس‌پس میرود ...

این بدان معنی استکه (شکل ۱۲) یکی از نیروها ، نیروی کشش قو ، به بالا متوجه است ، نیروی دیگر ، کشش ماهی (OB) به پهلو و نیروی سوم ، کشش خرچنگ (OC) به عقب متوجه است . نباید از یاد برد که نیروی دیگری یعنی وزن ارابه نیز وجود دارد که بطور عمودی به پائین متوجه است . در داستان گفته میشود که «ارابه تا کنون در همان جا» است ، بعبارت دیگر ، منتجهٔ کلیه نیروهائی که بر ارابه وارد می‌آید ، مساوی صفر است .

حالا ببینیم آیا واقعاً چنین است . قو که به سوی آسمان میکشد ، مانع کار خرچنگ و ماهی نمیشود ، بلکه برعکس به آنها کمک میکند . نیروی کشش قو در جهت عکس نیروی وزن اثر میکند و سبب کاهش اصطکاک چرخ‌ها با زمین و با محور ارابه میشود و در نتیجه از وزن ارابه میکاهد و شاید حتی میان این دو نیرو تعادل برقرار میشود ، زیرا بار چندان سنگین نیست و در داستان گفته میشود : «بار بهر آن سه تن سنگین نبود» . برای آسان شدن مسأله فرض میکنیم میان نیروی قو و نیروی وزن تعادل برقرار شده باشد ، پس فقط دو نیرو باقی میماند : کشش خرچنگ و کشش ماهی . در باره جهت این دو نیرو در داستان گفته شده است : «ماهی به سوی آب میکشد و خرچنگ پس‌پس میرود» . مسلم است که آب جلو ارابه نبوده ، بلکه در پهلوی ارابه بوده است ، زیرا قهرمانان زحمتکش داستان کریلوف خیال نداشته‌اند بار را در آب غرق کنند . پس جهت نیروی خرچنگ و ماهی

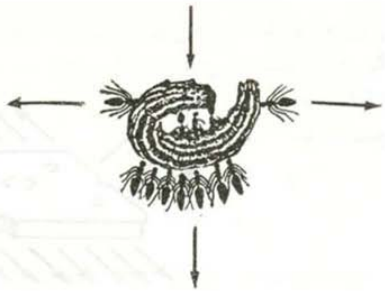


شکل ۱۲ — حل مسأله قو ، خرچنگ و ماهی داستان کریلوف طبق قوانین مکانیک. نیروی منتجهٔ (OD) باید ارابه را به رودخانه بکشد.

نسبت به یکدیگر زاویه معینی دارند . وقتی جهت دو نیرو که بر جسمی وارد می‌آید روی یک خط مستقیم نباشد ، منتجه آن دو نیرو بهیچوجه مساوی صفر نخواهد بود .

حالا طبق قوانین مکانیک متوازی‌الاضلاع نیروهای OB و OC را رسم میکنیم . قطر OD این متوازی الاضلاع جهت و مقدار منتجهٔ دو نیرو را به ما میدهد . واضح است که این نیروی منتجه باید ارابه را حرکت بدهد ، بخصوص که مقداری از وزن آن یا تمام وزنش در نتیجه نیروی کشش قو از بین رفته است . اینکه ارابه به کدام جهت — به جلو ، به عقب یا به پهلو — حرکت خواهد کرد ، مطلب دیگری است . این مطلب به تناسب نیروها و زاویه میان آنها بستگی دارد .

خوانندگانی که در ترکیب و تجزیهٔ نیروها تجربه‌ای دارند ، به آسانی میتوانند پی‌ببرند و یقین حاصل کنند که حتی وقتی میان نیروی قو و وزن ارابه تعادل برقرار نشود ، باز هم ارابه نمیتواند بی‌حرکت بماند . فقط در یک صورت ممکن است ارابه تحت تأثیر این سه نیرو حرکت نکند ، و آن وقتی استکه اصطکاک چرخ های ارابه با محورهای آن و با سطح راه از نیروهائی که بر آن وارد می‌آید ، بیشتر باشد . اما این با گفته کریلوف که : « بار بهر آن سه تن سنگین نبود » ، مغایر است .



شکل ۱۳ — مورچه‌ها کرم‌را اینطور میبرند.

شکل ۱٤ — مورچه‌ها شکار را اینطور میکشند. بردارها جهت صرف نیروی هر یک از مورچه‌ها را بطور جداگانه نشان میدهد.

در هر حال کریلوف نمیتوانست با اطمینان کامل بگوید که «ارابه هیچ از جای خود حرکت نمیکند»، «ارابه حالا هم همان جا است». اما همه این حقایق در نتیجه اخلاقی داستان تغییری نمیدهد.

علیرغم کریلوف

ما هم‌اکنون دیدیم که نتیجهٔ اخلاقی کریلوف، یعنی «توافق گر نباشد بین یاران — نچرخد چرخ کار آن سان که باید» گر چه در زندگی روزمره صادق است، اما در مکانیک همیشه صدق نمیکند. ممکن است نیروها در جهات مختلف بکار روند، اما با وجود این، نتیجهٔ معینی بدهند.

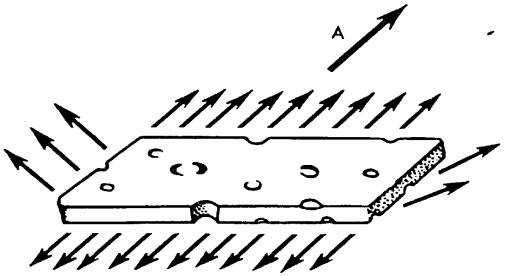
کمتر کسی میداند که مورچه‌ها، این زحمتکشان خستگی‌ناپذیر که همان کریلوف آنها را بعنوان کارکنان نمونه، مورد مدح و ستایش قرار میدهد، هنگام کار دستجمعی درست همانطور عمل میکنند، که در داستان قو و خرچنگ و ماهی مورد تمسخر داستان‌نویس قرار گرفته است. و چرخ کار مورچه‌ها هم، بطور کلی، بد نمیچرخد. در اینجا نیز قانون ترکیب نیروها است که به کار سر و سامان میدهد، اگر مورچه‌ها را هنگام کار بدقت مورد توجه قرار دهید، بزودی یقین حاصل میکنید که همکاری عاقلانهٔ آنها فقط ظاهری است، اما در واقع هر مورچه خودش برای خودش کار میکند، بی‌آنکه اصلاً به فکر کمک به دیگران باشد.

یک جانورشناس* کار مورچه‌ها را چنین توصیف میکند:

«اگر ده مورچه شکار سنگینی را در جای همواری بکشند، همه یکسان عمل میکنند، ظاهراً بنظر می‌آید که همکاری میکنند. اما همینکه شکار — مثلاً کرم — به مانعی از قبیل ساقهٔ علف یا سنگ کوچکی گیر کند و دیگر کشیدن آن به جلو ممکن نباشد و لازم باشد که مانع را دور بزنند، آنوقت است که با وضوح تمام معلوم میشود که هر مورچه بی‌آنکه با هیچ یک از رفقایش راه چاره‌ای پیدا کند، میکوشد مستقلاً مانع‌را برطرف سازد (شکل ۱۳ و شکل ۱٤). یکی به راست میکشد و

---

* یلاچیچ — غریزه.



شکل ۱۰ — مورچه‌ها اینطور میکوشند یک تکه پنیر را به طرف لانهٔ خود که در جهت بردار A واقع است، ببرند.

دیگری به چپ، یکی به جلو هل میدهد و دیگری به عقب. از یک جا به جای دیگر میروند، جای دیگر کرم را میگیرند و هر یک به نحوی هل میدهد یا میکشد. وقتی بالاخره حالتی پیش بیاید که نیروی مورچه‌ها طوری باهم ترکیب شود که چهار مورچه کرم را به یک سو و شش مورچه به سوی دیگر بکشند، آنوقت کرم به طرف آن شش مورچه حرکت خواهد کرد، با اینکه نیروی چهار مورچه دیگر در جهت عکس تأثیر میکند».

یک مثال آموزنده دیگر که از محقق دیگری اقتباس شده و همکاری تصوری و کاذب مورچه‌ها را بطور وضوح نشان میدهد، می‌آوریم. در شکل ۱۰ یک تکه پنیر به شکل مربع مستطیل تصویر شده است که ۲۰ مورچه به آن چسبیده‌اند. تکهٔ پنیر به طرفی که بوسیله بردار A نشان داده شده، به آهستگی حرکت میکند، و میتوان خیال کرد که صف جلوی مورچه‌ها بار را به طرف خود میکشند و صف عقبی آن را به جلو هل میدهند و مورچه‌های پهلوئی به هر دو صف کمک میکنند. اما به آسانی میتوان یقین حاصل کرد که در واقع چنین نیست. با تیغه چاقو تمام صف عقبی‌را از تکه پنیر جدا کنید، آنوقت خواهید دید که بار خیلی سریعتر حرکت میکند. روشن استکه این یازده مورچه بار را به عقب میکشیده‌اند نه به جلو، هر یک از آنها میکوشیده است بار را طوری برگرداند که وقتی پس پس میرود آن را به طرف لانهٔ مورچه ببرد. بنا بر این، مورچه‌های صف عقب نه اینکه به مورچه‌های صف جلو کمک نمیکرده‌اند، بلکه با جد و جهد تمام مقداری از نیروی آنها را خنثی کرده مانع کار آنها میشده‌اند. برای بردن این تکه پنیر نیروی فقط چهار مورچه کافی است، اما عدم هم‌آهنگی در عمل سبب میشود که ۲۰ مورچه آن‌را ببرند.

این خصوصیت کار دستجمعی مورچه‌ها مدتها پیش مورد توجه مارک تواین قرار گرفته بود. او ضمن بحث از ملاقات دو مورچه که یکی از آنها پای ملخی یافته بود، میگوید: «پای ملخ را از دو طرف گرفته بودند و با تمام نیرو در دو جهت مخالف میکشیدند. هر دو میدیدند که نقصی در کار هست، اما نمیتوانستند بفهمند چه نقصی. بحث و مناقشه میانشان درگرفت و کار از مناقشه به مجادله کشید... سپس آشتی کردند و از نو به کار مشترک و احمقانه خود پرداختند، ضمناً مورچه‌ای که در زد و خورد زخمی شده بود، فقط کار رفیقش را دشوار میکرد. مورچه سالم با تمام

نیرو بار و همراه بار رفیق زخمی خود را میکشید و مورچه زخمی بجای آنکه شکار را به رفیقش واگذارد، محکم به آن چسبیده بود». مارک تواین به شوخی یادآوری بسیار درستی میکند و میگوید: «مورچه فقط زمانی خوب کار میکند، که یک طبیعت‌شناس بی‌تجربه مراقب کار او باشد و نتیجه‌گیری‌های نادرست بکند».

آیا شکستن تخم مرغ آسان است؟

در میان مسائل فلسفی که کیفا موکی‌یویچ قهرمان رمان گوگول نویسنده بزرگ روسی «ارواح مرده» عمیقاً به آن می‌اندیشید، این مسأله بود که: «اگر فیل تخم میگذاشت و بچهٔ فیل از تخم بیرون می‌آمد، پوست آن تخم بقدری کلفت میبود که با توپ هم نمیشد آن را شکست و میبایست اسلحه گرم خاصی اختراع کرد».

اگر قهرمان رمان گوگول میدانست که پوست تخم مرغ معمولی نیز، باوجود نازکی آن چندان چیز ظریف و شکننده‌ای نیست، لابد بسیار تعجب میکرد. اگر از دو سر تخم مرغ با کف دو دست به آن فشار بیاوریم، شکستن تخم مرغ کار چندان آسانی نیست. در این حالت برای شکستن تخم نیروی زیادی لازم است*.

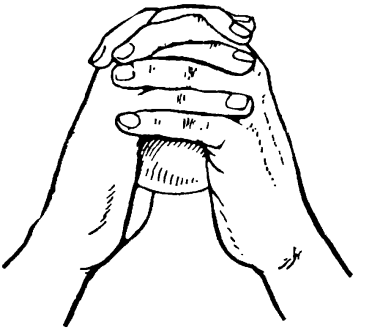
علت استحکام فوق‌العاده پوست تخم مرغ فقط و فقط در شکل محدب آن است و علت استحکام کلیهٔ انواع گنبدها و طاق ها نیز در همین محدب بودن آنها است.

در شکل ۱۷ طاق سنگی کوچک بالای پنجره‌ای تصویر شده است. بار S (یعنی تمام قسمت‌های دیوار که بالای طاق قرار دارد) بر روی سنگ گوه‌ای شکل وسط طاق فشار می‌آورد و با نیروئی که در شکل با بردار A نمایش داده شده است، آن را به پائین می‌فشارد. اما چون سنگ گوه‌ای شکل است، پائین نمیرود و فقط به سنگ‌های اطراف خود فشار می‌آورد. در نتیجه نیروی A طبق قانون متوازی‌الاضلاع به دو نیرو که با بردارهای C و B نمایش داده شده، تجزیه میشود. میان این دو نیرو و واکنش سنگ‌های اطراف که بنوبه خود تحت فشار سنگ‌های مجاور قرار میگیرند، تعادل برقرار میشود. بدین ترتیب نیروئی که از خارج بر طاق وارد می‌آید، نمیتواند آن را خراب کند. اما طاق را با نیروئی که از داخل بر آن وارد آید، به آسانی میتوان خراب کرد. علت این امر روشن است، زیرا شکل گوه‌ای سنگ‌ها که مانع پائین آمدن آنها میشود، بهیچوجه مانع بالا رفتنشان نمیشود.

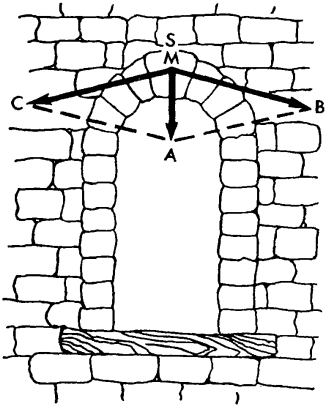
پوست تخم مرغ نیز طاقی است، اما یکپارچه. وقتی از خارج به آن فشاری وارد آید، به آن آسانی‌ها که از چنین جسم ظریف و شکننده‌ای انتظار میرود، نخواهد شکست. میتوان پایه‌های میز نسبتاً سنگینی را روی چهار تخم مرغ نپخته گذاشت و تخم مرغ ها نخواهند شکست (برای اینکه میز استوار بماند باید سر و ته تخم مرغ ها را با مقداری گچ پهن کرد. گچ به پوست آهکی تخم مرغ خوب می‌چسبد).

---

* این آزمایش کمی خطرناک است (ممکن است پوست تخم مرغ به دست فرو رود) و باید با احتیاط عمل کرد.



شکل ۱۶ — برای شکستن تخم مرغ در این حالت صرف نیروی زیادی لازم است.



شکل ۱۷ — علت استحکام طاق.

حالا شما میفهمید که چرا وقتی مرغ کرچ روی تخم می خوابد ، بیم آن را ندارد که با وزن خود تخم را بشکند . در عین حال وقتی جوجهٔ ضعیف میخواهد از زندان طبیعی خود بیرون بیاید ، با منقار کوچکش پوست تخم را از داخل به آسانی میشکند .

ما که با یک ضربت قاشق چایخوری به پهلوی تخم مرغ پوست آن را میشکنیم ، حتی تصور آن را هم نمیکنیم که وقتی فشار در شرایط طبیعی وارد می‌آید ، پوست تخم مرغ چه استحکامی دارد و طبیعت موجود جاندار رشدیابندهٔ داخل آن‌را با چه زره مستحکمی حفظ کرده است .

علت استحکام اسرارآمیز لامپ‌های چراغ برق که ظاهراً فوق‌العاده نازک و شکننده هستند ، نیز همان علت استحکام پوست تخم مرغ است . اگر به یاد بیاوریم که داخل بسیاری از لامپ‌های چراغ برق (لامپ‌های توخالی ، نه لامپ‌هائی که از گاز پر شده‌اند) تقریباً خلا است و در برابر فشار هوای خارج هیچ چیز از داخل واکنش نمیکند ، آنوقت استحکام آنها باز هم حیرت‌آورتر به نظر خواهد آمد . ضمناً مقدار فشار هوا بر لامپ چراغ برق کم نیست . لامپی که قطر عرضی آن ۱۰ سانتیمتر باشد ، فشاری معادل ۷۰ کیلوگرم (وزن یک نفر آدم) بر دو طرف آن وارد می‌آید . تجربه نشان داده است که لامپ چراغ برق توخالی میتواند در برابر فشار دو برابر و نیم این فشار نیز مقاومت کند .

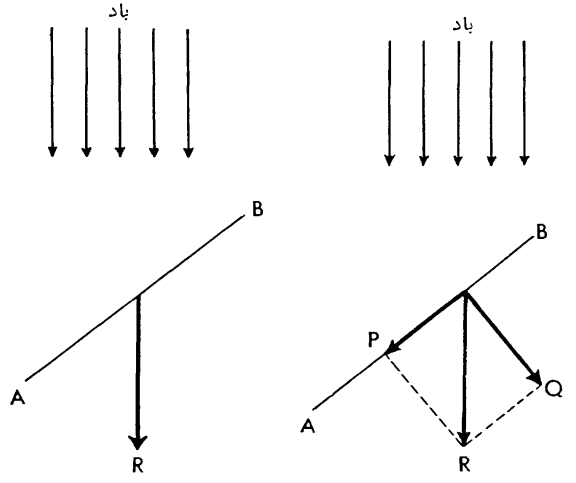
با بادبان در خلاف جهت باد

به دشواری میتوان تصور کرد که چگونه کشتی‌های بادی در خلاف جهت باد ، یا به اصطلاح دریانوردان « بیدویند » حرکت میکنند . البته دریانورد به شما خواهد گفت که درست در خلاف جهت باد نمیتوان رفت ، بلکه فقط میتوان با زاویهٔ حاده در خلاف جهت باد رفت . اما این زاویه کوچک و

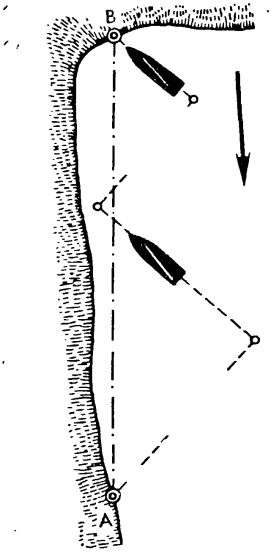
در حدود یک چهارم زاویهٔ قائمه است ، و حرکت کردن درست در خلاف جهت ا د یا با زاویهٔ ۲۲ درجه نسبت به آن — هردو به یک اندازه غیر قابل فهم است .

اما در عمل این دو حالت بی‌تفاوت نیستند و ما هم‌اکنون توضیح میدهیم که چگونه میتوان با استفاده از نیروی باد با زاویه کوچکی در خلاف جهت باد رفت . ابتدا بررسی میکنیم که اصولاً باد چگونه روی بادبان تأثیر میکند ، یعنی وقتی باد به بادبان میوزد آن را به کجا میراند . لابد شما خیال میکنید که باد همیشه بادبان را به سمتی که خود باد میوزد ، میراند . اما چنین نیست ، باد به هر سوئی که بوزد ، همیشه بادبان را در سمت عمود به سطح بادبان میراند . حالا فرض میکنیم که باد در جهت بردارهائی که در شکل ۱۸ تصویر شده است ، میوزد و خط AB سطح بادبان است . چون باد بر تمام سطح بادبان یکنواخت فشار وارد می‌آورد ، پس بجای فشار باد فشاری مساوی نیروی R که بر مرکز بادبان وارد می‌آید ، در نظر میگیریم . این نیرورا به دو نیرو تجزیه میکنیم : نیروی Q عمود بر سطح بادبان و نیروی P در امتداد سطح بادبان (شکل ۱۸ سمت راست) . نیروی P بادبان را به هیچ جا نمیراند ، زیرا اصطکاک باد با کرباس بسیار کم است . پس فقط نیروی Q باقی میماند که بادبان را در جهت عمود بر سطح آن میراند .

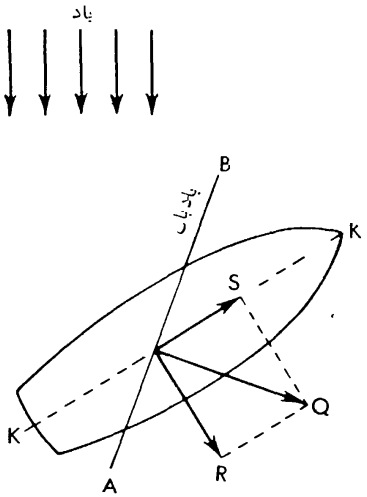
وقتی این مطلب را دانستیم می‌فهمیم که چگونه کشتی بادی میتواند با زاویه کوچکی در خلاف جهت باد حرکت کند . فرض میکنیم که خط KK خط طولی کشتی است (شکل ۱۹) . باد در سمتی که بوسیلهٔ چند بردار نشان داده شده ، تحت زاویهٔ حاده بر این خط میوزد . خط AB نمایش دهندهٔ بادبان است . بادبان را طوری نگه میدارند که سطح آن زاویهٔ میان سمت باد و خط طولی را به دو قسمت مساوی تقسیم کند . در شکل ۱۹ به تجزیهٔ نیروها توجه کنید . فشار باد بر بادبان را با نیروی Q نشان میدهیم . میدانیم که این نیرو باید عمود بر سطح بادبان باشد . این نیرو را به



شکل ۱۸ — باد همیشه بادبان را در جهت عمود بر سطح بادبان میراند.



شکل ۱۹ — چگونه میتوان با بادبان در خلاف جهت باد حرکت کرد.



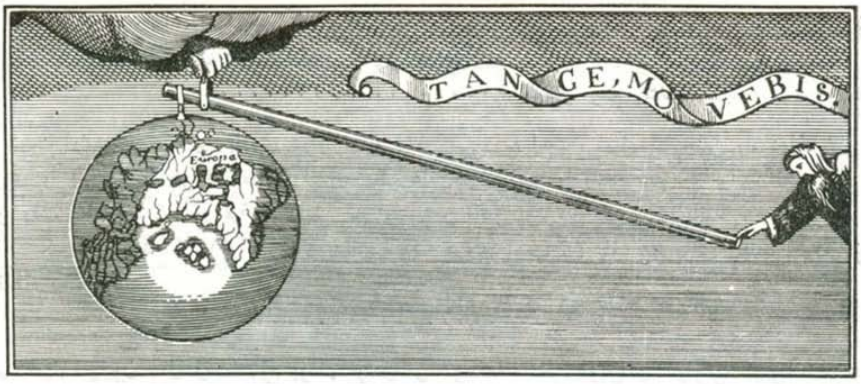
شکل ۲۰ — حرکت کشتی بادی روی خط منکسر .

دو نیرو تجزیه میکنیم : نیروی R عمود بر خط طولی کشتی ، و نیروی S در سمت خط طولی کشتی به طرف جلو. از آنجا که حرکت کشتی در جهت R با مقاومت شدید آب رو برو میشود (در کشتی‌های بادی تیر حمال طولی در عمق زیادی قرار دارد) میان نیروی R و مقاومت آب تقریباً تعادل بر قرار میشود. فقط نیروی S باقی میماند ، و این نیرو ، بطوریکه مشاهده میکنید ، به جلو متوجه است و در نتیجه کشتی را تحت زاویهٔ معینی گوئی در خلاف جهت باد میراند* . معمولاً این حرکت به صورت خط منکسری که در شکل ۲۰ نشان داده شده است ، انجام میگیرد .

آیا ارشمیدس میتوانست زمین را بلند کند ؟

در افسانه‌ها به ارشمیدس مکانیسین نابغه دوران باستان و کاشف قانون اهرم چنین ادعائی را نسبت میدهند : « به من نقطهٔ اتکائی بدهید ، من زمین را بلند میکنم ! » پلوتارک نوشته است : « یک بار ارشمیدس به هیرون پادشاه سیراکوس که خویشاوند و دوست وی بود ، نوشت که با

* میتوان ثابت کرد که وقتی سطح بادبان زاویهٔ میان سمت باد و خط طولی کشتی را به دو قسمت مساوی تقسیم میکند ، مقدار نیروی S به حد اکثر میرسد .



شکل ۲۱ — «ارشمیدس زمین را با اهرم بلند میکند». تصویر از کتاب وارنیون (۱۷۸۷) در باره مکانیک.

این نیروی معین هر باری را میتوان حرکت داد. و چنان فریفتهٔ نیروی استدلال شده بود که افزود، اگر زمین دیگری میبود، او به روی آن زمین میرفت و زمین ما را از جا تکان میداد».

ارشمیدس میدانست که باری وجود ندارد که نتوان با استفاده از اهرم آن را حتی با کمترین نیرو بلند کرد. کافی است که این نیرو را بر بازوی بسیار دراز اهرم وارد بیاوریم و با بازوی کوتاه اهرم بار را حرکت بدهیم. به این دلیل او فکر میکرد که اگر برٌ بازوی فوق‌العاده دراز اهرمی فشار بیاوریم، میتوانیم با نیروی دست باری را بلند کنیم که جرم آن مساوی جرم کره زمین باشد *.

اما اگر مکانیسین بزرگ دوران باستان میدانست که جرم کرهٔ زمین چقدر زیاد است، لابد از این ادعای غرورآمیز خودداری میکرد. برای یک لحظه فرض میکنیم که به ارشمیدس آن «زمین دیگر» یعنی آن نقطهٔ اتکائی را که میخواست، داده‌اند. و نیز فرض میکنیم که ارشمیدس اهرمی درست کرده است که بازوی آن بقدر لزوم بلند باشد. آیا میدانید چقدر وقت لازم بود تا او موفق شود باری را که جرم آن مساوی جرم کره زمین است، اقلاً به اندازه یک سانتیمتر بلند کند؟ بیش از سی هزار بیلیون سال!

منجمین جرم کره زمین را میدانند **. وزن جسمی که جرم آن مساوی جرم کره زمین باشد، روی زمین معادل است با

..... ۶ تن

اگر انسان بتواند مستقیماً ۶۰ کیلوگرم بلند کند، برای «بلند کردن زمین» باید با دست بر اهرمی فشار بیاورد که بازوی دراز آن ..... ۱۰۰ برابر بازوی کوتاه باشد!

---

* برای اینکه مسأله واضح باشد، عبارت «بلند کردن زمین» را به معنای بلند کردن باری در روی زمین به کار میبریم که جرم آن مساوی جرم کره زمین باشد.

** در باره اینکه چگونه جرم کره زمین را تعیین کرده‌اند به «ستاره‌شناسی برای سرگرمی» مراجعه کنید.

با یک محاسبه ساده می‌فهمیم که برای اینکه انتهای بازوی کوتاه اهرم یک سانتیمتر بلند شود، باید انتهای بازوی دیگر آن در فضا قوس عظیمی به طول

۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ کیلومتر رسم کند

دست ارشمیدس که بر بازوی دراز اهرم فشار می‌آورده است، میبایست چنین راه دراز غیر قابل تصوری را بپیماید تا بتواند فقط به اندازه یک سانتیمتر «زمین را بلند کند»! برای انجام این کار چقدر وقت لازم بود؟ اگر فرض کنیم که ارشمیدس قادر بود در طی یک ثانیه ۶۰ کیلوگرم را به ارتفاع یک متر بلند کند (توانائی کار تقریباً یک نیروی اسب!) باز هم برای «بلند کردن زمین» به اندازه یک سانتیمتر

۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ ثانیه

یا سی هزار بیلیون سال وقت لازم بود. ارشمیدس در تمام عمر طویل و درازش نمیتوانست حتی به اندازه کلفتی باریک‌ترین مو «کره زمین را بلند کند»...

ارشمیدس، این مخترع نابغه با هیچ نیرو و تدبیری قادر نبود این زمان را بمیزان قابل ملاحظه‌ای کاهش بدهد. «قانون زرین مکانیک» حاکی از آنستکه در هر ماشینی کاهش صرف نیرو اجباراً با افزایش متناسب طول تغییر مکان، یعنی زمان، همراه است. حتی اگر ارشمیدس سرعت دست خود را تا بزرگ‌ترین سرعت ممکن در طبیعت، یعنی تا ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه (سرعت نور) افزایش میداد، باز هم با این فرض محال، فقط پس از ده میلیون سال کار متوالی میتوانست به اندازه یک سانتیمتر «زمین را بلند کند».

پهلوان ژول ورن و فرمول اولر

ژول ورن در رمان «ماتیاس ساندورف» ماتیفو پهلوان نیرومند را چنین توصیف میکند: «سر باشکوهش با اندام عظیمش متناسب است، سینهٔ ستبرش مانند دم آهنگران، پاهایش چون دو تنهٔ درخت بسیار خوب، دست‌هایش بسان دو جرثقیل واقعی و مشت‌هایش همچون دو پتک است...» از جمله دلاوری های این پهلوان که در رمان توصیف شده است، یکی حادثهٔ حیرت‌آور کشتی «ترابوکلو» میباشد که پهلوان کوه‌پیکر ما با نیروی دست‌های توانایش به آب افتادن کشتی را متوقف ساخت.

ژول ورن این دلاوری را چنین توصیف میکند:

«تکیه‌گاههای زیر کشتی را که از دو طرف آن را نگه میداشت، برداشته بودند و کشتی آماده به آب افتادن بود. کافی بود که فقط طناب های مهار را باز کنند تا کشتی به پائین سر بخورد. شش هفت نفر نجار زیر صفحه پائین کشتی مشغول کند و کاو بودند. تماشاچیان با کنجکاوی زیاد تماشا میکردند که چگونه کشتی‌را به آب می‌اندازند. در همین لحظه یک کشتی کوچک ویژهٔ گردش های دریائی از پشت برآمدگی ساحل نمایان شد. این کشتی کوچک برای آنکه وارد بندر بشود، میبایست از جلو محلی که کشتی «ترابوکلو» را آماده به آب انداختن میکردند، بگذرد. همینکه کشتی کوچک علامت داد مجبور شدند برای اجتناب از هر پیشامدی کارهای به آب انداختن را

متوقف سازند تا پس از رفتن کشتی کوچک به ترعه، از نو شروع به کار کنند. اگر این دو کشتی که یکی ایستاده بود و دیگری با سرعت زیادی حرکت میکرد، به یکدیگر میخوردند، کشتی کوچک نابود میشد.

کارگران دست از کار کشیدند. همهٔ چشمها به کشتی کوچک زیبا دوخته شده بود که بادبان‌های سفید آن در زیر اشعهٔ مایل خورشید، زرین به نظر می‌آمد. بزودی کشتی کوچک درست به جلو محلی رسید که تودهٔ انبوه هزارنفری مردمان کنجکاو خشکشان زده بود. ناگهان فریاد وحشتناکی برخاست. درست در همان لحظه‌ای که کشتی کوچک پیچید و پهلوی راستش در برابر «ترابوکلو» قرار گرفت، «ترابوکلو» تکانی خورد و به حرکت درآمد. کشتی ها داشتند تصادم میکردند. برای جلوگیری از این تصادم نه وقت بود و نه امکان. «ترابوکلو» در سرازیری به سرعت به پائین میلغزید... دود رقیق سفیدرنگی که در نتیجهٔ اصطکاک بوجود آمده بود، در جلو دماغهٔ کشتی تنوره میکشید و پاشنه کشتی به درون آب‌های بندرگاه فرو میرفت. (کشتی را طوری به آب می‌انداختند که پاشنهٔ آن به جلو بود. — پرلمان).

ناگهان شخصی نمایان شد، طناب مهار را که در قسمت جلو «ترابوکلو» آویزان بود، به سرعت گرفت، به طرف زمین خم شد و کوشید تا کشتی را نگه دارد. در یک آن طناب مهار را به دور لولهٔ آهنی که به زمین کوبیده شده بود، پیچید و با اینکه خطر آن میرفت که له و لورده شود، با نیروئی مافوق بشری طی ۱۰ ثانیه طناب را گرفت و نگه داشت. بالاخره طناب مهار پاره شد. اما همین ۱۰ ثانیه کافی بود: «ترابوکلو» ضمن به آب افتادن با کشتی کوچک تماس مختصری پیدا کرد و به سرعت جلو رفت.

کشتی کوچک نجات یافت. اما آن شخص که هیچ کس فرصت نکرد به یاریش بشتابد — زیرا حادثه فوق‌العاده ناگهانی و سریع رخ داد — ماتیفو بود».

اگر به نویسنده رمان میگفتند که برای انجام چنین عمل دلاورانه‌ای بهیچوجه لزومی ندارد مانند «ماتیفو» نیروئی چون «نیروی ببر» داشت، چقدر تعجب می‌کرد! هر آدم سریع‌الادراک و چاره‌یابی میتوانست عین این دلاوری را انجام بدهد.

علم مکانیک می‌آموزد که ضمن لغزش طنابی که به دور لولهٔ فلزی پیچیده شده است، نیروی اصطکاک فوق‌العاده زیاد است. هر چه تعداد دورهای طناب بیشتر باشد، مقدار اصطکاک بیشتر میشود. قاعدهٔ افزایش اصطکاک چنین است که با افزایش تعداد دورها با تصاعد عددی، میزان اصطکاک با تصاعد هندسی افزایش می‌یابد. به این دلیل حتی اگر کودک کم‌زوری سر آزاد طنابی را که ۳ — ٤ دور به دور میلهٔ ثابتی پیچیده شده، بگیرد، میتواند در برابر نیروی عظیمی مقاومت کرده آن را خنثی کند.

در اسکله‌های رودخانه‌ها جوانان خردسال با استفاده از این اسلوب کشتی‌هائی را که با صدها سرنشین به اسکله نزدیک میشوند، نگه میدارند. و در این کار نه نیروی خارق‌العاده دست‌هایشان، بلکه اصطکاک طناب به تیری که در زمین فرو رفته است، به آنان کمک میکند.

اولر ریاضی‌دان شهیر قرن ۱۸ میلادی رابطهٔ میان نیروی اصطکاک و تعداد دورهای طناب به دور میله را تعیین کرد. برای کسانی که از عبارات فشرده جبری هراسی ندارند، این فرمول آموزنده را نقل میکنیم:

$$F = fe^{k\alpha}$$

در این فرمول f نیروی ما و F نیروئی است که در جهت عکس آن عمل میکند . e پایه لگاریتم‌های طبیعی یعنی عدد ... ۲/۷۱۸ و k ضریب اصطکاک طناب با ستون میباشد . α « زاویهٔ پیچش » یعنی نسبت قوس محاطشده بوسیله طناب به شعاع آن قوس است .

حالا این فرمول را در موردی که ژول ورن توصیف کرده است ، به کار میبریم . نتیجه‌ای که حاصل میشود ، حیرت‌آور است . در این مورد نیروی F نیروی کشش کشتی است که در سطح شیب‌دار تعمیرگاه به پائین میلغزد . از رمان میدانیم که وزن کشتی ۵۰ تن است . فرض میکنیم که شیب سطح تعمیرگاه $\frac{۱}{۱۰}$ باشد . دراینصورت نه تمام وزن کشتی ، بلکه $\frac{۱}{۱۰}$ آن ، یعنی ۵ تن یا ۵۰۰۰ کیلوگرم تأثیر می‌بخشیده است . فرض میکنیم مقدار k ، یعنی ضریب اصطکاک طناب به لولهٔ آهنی $\frac{۱}{۳}$ باشد . اگر فرض کنیم که ماتیفو طناب را فقط ۳ دور به دور لوله پیچیده باشد ، به آسانی میتوان مقدار α را تعیین کرد . در اینصورت

$$\alpha = \frac{۳ \times ۲\pi r}{r} = ۶\pi$$

اگر کلیهٔ این مقادیر را در فرمول اولر ، که در بالا آورده شد ، قرار بدهیم معادلهٔ زیر به دست می‌آید :

$$۵۰۰۰ = f \times ۲/۷۲^{۶\pi \times \frac{۱}{۳}} = f \times ۲/۷۲^{۲\pi}$$

با استفاده از لگاریتم میتوان مجهول f (یعنی مقدار نیروی لازم) را از روی این معادله تعیین کرد :

$$\lg ۵۰۰۰ = \lg f + ۲\pi \times \lg ۲/۷۲ \quad \text{یعنی}$$
$$f = ۹/۳ \quad \text{کیلوگرم}$$

بدین ترتیب کافی بود که طناب را با نیروی ۱۰ کیلوگرم بکشند تا عمل دلاورانهٔ پهلوان تنومندرا انجام دهند .

تصور نکنید که این رقم ، یعنی ۱۰ کیلوگرم ، فقط در تئوری است و در عمل نیروی بمراتب بیشتری لازم می‌آید . برعکس ، نتیجه‌ای که ما به دست آورده‌ایم ، حتی مبالغه‌آمیز است . با طناب کنفی و تیرچوبی که ضریب اصطکاک k افزایش می‌یابد ، نیروی لازم بقدری ناچیز است که خنده‌دار می‌باشد. فقط باید طناب بحد کافی محکم باشد و در برابر کشش تاب بیاورد و پاره نشود . در اینصورت حتی کودک ضعیفی نیز میتواند نه فقط عمل دلاورانهٔ پهلوان رمان ژول ورن را تکرار کند ، بلکه قادر است روی دست او هم بزند .

سفتی گره به چه چیز بستگی دارد ؟

ما در زندگی روزمره ، بی‌آنکه خود متوجه باشیم ، اغلب از سودی که فرمول اولر می‌آموزد ، استفاده میکنیم . گره چیزی نیست جز ریسمانی که به دور میله‌ای پیچیده باشند ، و البته در این مورد قسمت دیگر همان ریسمان نقش میله را بازی میکند . سفتی هر نوع گرهی فقط و فقط به میزان اصطکاک بستگی دارد ، و میزان اصطکاک در گره بعلت اینکه ریسمان ، مانند طنابی که به دور ستونی پیچیده‌شده باشد ، به دور خود پیچیده شده است ، بسیار افزایش می‌یابد . اگر پیچ های ریسمان‌را در گره مورد توجه قرار دهیم ، به صحت این مدعا یقین حاصل میکنیم . هر چه پیچ ها زیادتر باشد ، هر چه ریسمان تعداد بیشتری به دور خود پیچیده شده باشد ، « زاویه پیچش » بزرگتر و در نتیجه گره سفت تر خواهد بود .

خیاط نیز ضمن دوختن دکمه بطور ناآگاه از این شرایط استفاده میکند . او نخ را به محلی که دکمه را میدوزد ، کوک میزند و سپس به دور آن می‌پیچد . اگر فقط نخ محکم باشد دکمه کنده نخواهد شد . در اینجا خیاط قاعده‌ای را که ما میدانیم به کار میبرد و آن قاعده این است : با افزایش تعداد دورهای نخ با تصاعد عددی ، سفتی دوخت دکمه با تصاعد هندسی افزایش می‌یابد .

اگر اصطکاک وجود نمیداشت ما نمیتوانستیم از دکمه استفاده کنیم ، نخ در نتیجهٔ وزن دکمه باز میشد و دکمه می‌افتاد .

اگر اصطکاک وجود نداشت

ملاحظه میکنید که چگونه اصطکاک در محیطی که ما را احاطه کرده است ، به اشکال گوناگون و گاه غیرمنتظره پدیدار میشود . اصطکاک در جائی که ما اصلاً فکرش را هم نمیکنیم ، شرکت ، ضمناً شرکت اساسی می‌ورزد . اگر ناگهان اصطکاک در جهان نابود میشد ، بسیاری از پدیده‌های معمولی به اشکالی کاملاً دگرگون جریان می‌یافت .

گیوم فیزیسین فرانسوی نقش اصطکاک را به نحو بسیار شیوا و روشنی توصیف میکند :

« برای همهٔ ما پیشامد کرده است که هنگام یخبندان از خانه بیرون برویم . میبایست کوشش های زیادی به کار ببریم تا از افتادن جلوگیری کنیم ، میبایست حرکات خنده‌دار فراوانی بکنیم تا بتوانیم سر پا بایستیم . این امر مارا وامیدارد تا اعتراف کنیم که معمولاً زمینی که روی آن حرکت میکنیم ، ویژگی بسیار پرارزشی دارد که در نتیجهٔ آن ما بدون کوشش های خاصی تعادل خویش را حفظ میکنیم . هنگامی که با دوچرخه در جاده لیز میرویم یا وقتیکه اسب روی آسفالت خیابان سر میخورد و می‌افتد ، نیز همین فکر در ما پیدا میشود . ما ضمن بررسی و آموزش این پدیده‌ها به کشف نتایجی که در اثر اصطکاک حاصل میشود ، نائل می‌آئیم . مهندسین میکوشند اصطکاک را حتی‌الامکان در ماشین‌ها از بین ببرند ، و کار خوبی هم میکنند . در مکانیک عملی از اصطکاک چون از پدیدهٔ فوق‌العاده ناخوش‌آیندی سخن میگویند ، این سخن درست است ، اما فقط در رشتهٔ ویژه و محدودی . در کلیه موارد دیگر ما باید از اصطکاک سپاسگزار باشیم . اصطکاک به ما امکان میدهد راه برویم ،

بنشینیم و کار کنیم، بی‌آنکه بترسیم که کتاب و دوات روی کف اطاق بیافتد و میز سر بخورد تا به گوشه‌ای گیر کند و قلم از لای انگشتانمان در برود.

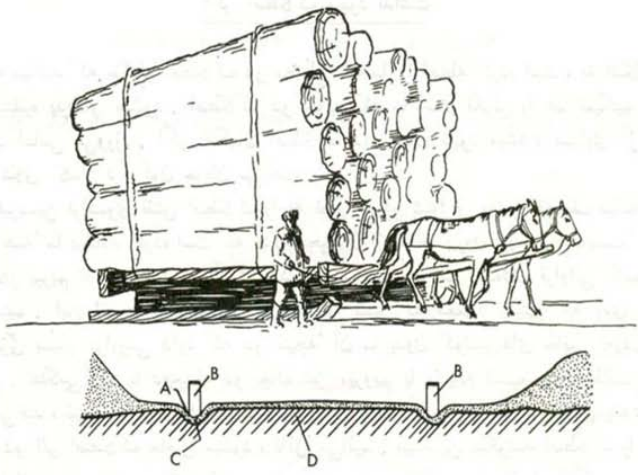
اصطکاک پدیده‌ای است بقدری معمول و متداول که جز موارد فوق‌العاده استثنائی نیازی نیست که آن را به یاری بخواهیم، خودش به یاری ما میشتابد.

اصطکاک موجب استحکام میشود. نجاران کف اطاق را طوری صاف میکنند که میز و صندلی در همان جائی که آنها را قرار داده‌اند، میمانند. استکان ها، بشقاب‌ها و سایر ظرف‌هائی که روی میز چیده شده، بدون توجه ویژه‌ای از طرف ما، بی حرکت میمانند، البته در صورتیکه در کشتی و هنگام تلاطم دریا نباشد.

فرض کنیم که ممکن است اصطکاک بکلی از میان برود. آنوقت هیچ یک از اجسام، اعم از اینکه مانند صخره بزرگ یا چون دانهٔ شن کوچک باشند، هرگز روی یکدیگر نخواهند ماند، همه میلغزند و پائین می‌آیند تا در یک سطح قرار گیرند. اگر اصطکاک وجود نمیداشت کره زمین، مانند کره مایعی، بدون پستی و بلندی بود.»

به این سخنان میتوان افزود که اگر اصطکاک وجود نمیداشت، هیچ میخ و پیچی در دیوار بند نمیشد، هیچ چیز را نمیشد در دست نگاه داشت، هیچ گردبادی هرگز آرام نمیگرفت، هیچ صوتی هرگز خاموش نمیشد، مثلاً به دیوارهای اطاق میخورد و بی‌آنکه کاهش یابد، منعکس میشد و چون پژواکی پایان‌ناپذیر ادامه می‌یافت.

هر بار که یخبندان میشود، ما میتوانیم به چشم خود ببینیم و یقین حاصل کنیم که اصطکاک چه اهمیت بزرگی دارد. وقتی هنگام یخبندان به خیابان میرویم، بیچاره و ناتوان میشویم و همیشه



شکل ۲۲ — در بالا: سورتمه با بار در راه یخی. دو اسب ۷۰ تن بار را میبرند. در پائین: راه یخی. A — رد سورتمه، B — اسکی سورتمه، C — برف فشرده شده، D — خاک‌ریز زیر راه یخی.

خطر زمین خوردن مارا تهدید میکند. چند جمله آموزنده از روزنامه ماه دسامبر سال ۱۹۲۷ نقل میکنیم:

«لندن، ۲۱ — به علت یخبندان شدید، عبور و مرور در خیابان‌ها و حرکت ترامواى ها در لندن به میزان قابل ملاحظه‌ای دشوار شده است. در حدود ۱۲۰۰ نفر با دست و پای شکسته و جراحات دیگر به بیمارستان فرستاده شده‌اند».

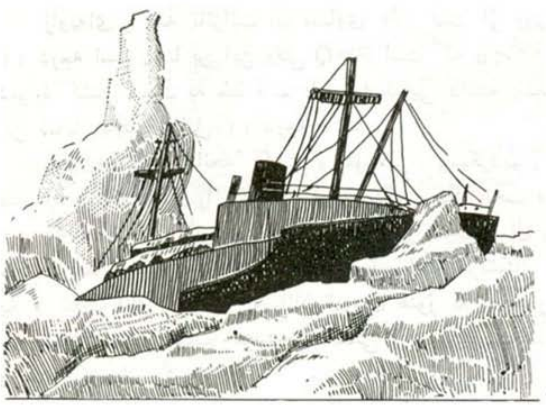
«ضمن تصادم سه اتوبیل و دو واگن ترامواى در نزدیک هایدپارک، ماشین ها به علت انفجار بنزین بکلی نابود شدند ...»

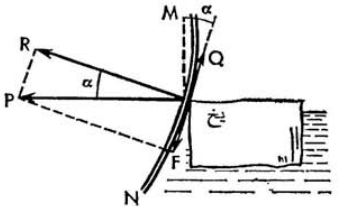
«پاریس، ۲۱ — یخبندان در پاریس و حومه آن باعث حوادث فلاکت‌بار فراوانی شده است ...»

اما اصطکاک ناچیز روی یخ را میتوان از لحاظ تکنیکی مورد استفاده قرار داد. سورتمه‌های معمولی نمونه‌ای از این نوع استفاده است. راههای به نام راه‌یخی که برای حمل تنه‌های درخت‌ها از جنگل به ایستگاه راه‌آهن یا به کنار رودخانه میساختند، گواه بارزتری بر امکان این گونه استفاده است. در این راهها که دارای ریل‌های یخی صاف میباشند (شکل ۲۲)، دو اسب سورتمه‌ای را که ۷۰ تن تنهٔ درخت بار آنست، میکشند.

علت فیزیکی سانحهٔ کشتی «چلوسکین»

نباید شتابزدگی کرد و از آنچه گفته شد نتیجه گرفت که اصطکاک با یخ در هر شرایطی ناچیز است. حتی در درجهٔ حرارت نزدیک به صفر در بسیاری از موارد اصطکاک با یخ بحد کافی زیاد است. بمناسبت کار کشتی‌های یخ‌شکن، اصطکاک یخ های دریاهای قطبی با روکش فولادی کشتی ها به دقت مورد بررسی قرار گرفته است. معلوم شد که این اصطکاک به مقدار غیر منتظره‌ای





شکل ۲۳ — کشتی «چلوسکین» در محاصره و تحت فشار یخ ها. در سمت راست: نیروهائی که ضمن فشار یخ بر پهلوی MN کشتی تأثیر میکنند.

زیاده است و کمتر از اصطکاک آهن به آهن نیست. ضریب اصطکاک روکش فولادی نو کشتی با یخ برابر ۰/۲ است.

برای آنکه بفهمیم این رقم برای کشتی‌ها هنگام حرکت در میان یخ دارای چه اهمیتی است، شکل ۲۳ را مورد بررسی قرار میدهیم. در این شکل نیروهائی که هنگام فشار آوردن یخ بر پهلوی کشتی (قوس MN) تأثیر میکنند، نشان داده شده است. نیروی P فشار یخ به دو نیرو تجزیه میشود: نیروی R عمود بر پهلوی کشتی و نیروی F در امتداد خط مماس بر قوس. زاویه میان P و R مساوی است با زاویه α تمایل پهلوی کشتی نسبت به خط قائم. نیروی Q اصطکاک یخ با پهلوی کشتی مساوی است با نیروی R ضرب در ضریب اصطکاک، یعنی ضرب در ۰/۲ و از اینجا خواهیم داشت:

$$Q = ۰/۲ R$$

اگر نیروی اصطکاک Q کمتر از F باشد، نیروی F یخی را که بر کشتی فشار می‌آورد، به زیر آب میبرد و یخ در طول بدنهٔ کشتی میلغزد و به کشتی صدمه‌ای نمیرساند. اگر نیروی Q بیشتر از F باشد اصطکاک مانع لغزیدن یخ میشود و هر گاه یخ مدت زیادی فشار بیاورد ممکن است بدنه کشتی را له کند و بشکند.

چه وقت $F>Q$ است؟ به آسانی میتوان فهمید که:

$$F=R\times tg\alpha$$

بنا بر این بایست نامساوی $Q<R\times tg\alpha$ وجود داشته باشد. از آنجا که $Q=۰/۲\times R$ است پس از نامساوی $F>Q$ نامساوی دیگری حاصل میشود: $۰/۲R<Rtg\alpha$ یا $tg\alpha>۰/۲$

زاویه‌ای را که تانژانت آن مساوی ۰/۲ است از روی جدول پیدا میکنیم. این زاویه مساوی ۱۱ درجه است. بنا بر این وقتی $F>Q$ است که $\alpha > ۱۱^\circ$ باشد. بدین ترتیب معین میشود که دیوارهٔ کشتی نسبت به خط قائم باید چه تمایلی داشته باشد تا حرکت در داخل یخ بی‌خطر باشد، این تمایل باید حد اقل ۱۱ درجه باشد.

حالا به مسألهٔ سانحهٔ کشتی «چلوسکین» برمیگردیم. این کشتی که یخ‌شکن نبود، با موفقیت تمام راه دریائی شمال را پیمود، اما در تنگه برینگ تحت فشار یخ‌ها قرار گرفت.

یخ‌ها کشتی «چلوسکین» را به نقاط دور دست شمال بردند و در ماه فوریهٔ سال ۱۹۳٤ له و خرد کردند. بسیاری از اشخاص اقامت قهرمانانه سرنشینان کشتی را در مدت دو ماه روی یک تکه یخ و نجات آنان را بوسیلهٔ خلبانان قهرمان هنوز به یاد دارند.

شمیدت رئیس هیأت اعزامی با کشتی برای مأموریت علمی جریان سانحه را با رادیو گزارش داد و چنین توصیف کرد:

«فلز محکم بدنه کشتی مدتی مقاومت کرد. دیده میشد که چگونه کوه یخ بر بدنه کشتی فشار می‌آورد و فرو میرفت و چگونه ورقه‌های روکش بدنه به خارج کج میشدند و باد میکردند. یخ به حملهٔ آرام، اما غیر قابل دفع ادامه میداد. ورقه‌های فلزی ستورم شدهٔ بدنهٔ کشتی در محل اتصال

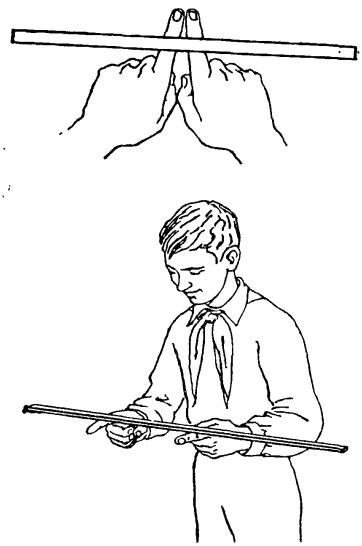
میترکیدند. میخ های پرچ با صدای شدیدی به اطراف میپریدند. در یک چشم به‌هم زدن کنارهٔ چپ کشتی از ته دماغهٔ کشتی تا انتهای پاشنهٔ عرشه کنده شد ...»

پس از مطالعهٔ آنچه در اینجا گفته شد، لابد علت فیزیکی این سانحه برای خوانندگان روشن است.

از این مطالب یک نتیجه عملی نیز به دست می‌آید، و آن اینکه: هنگام ساختن کشتی هائی که برای دریانوردی در میان یخ در نظر گرفته شده‌اند، باید به کناره‌های آنها تمایل لازم را داد و این تمایل نباید کمتر از ۱۱ درجه باشد.

چوبی که خود بخود به حالت تعادل درمی‌آید

دست‌هایتان را دور از هم نگاه دارید و بطوریکه در شکل ۲۴ نشان داده شده، یک چوب راست و صاف را روی انگشت‌های سبابه بگذارید. بعد انگشت‌ها را به یکدیگر نزدیک کنید تا به هم بچسبند. چیز عجیبی است! معلوم میشود که چوب در این آخرین حالت، نمی‌افتد، بلکه تعادل خودرا حفظ میکند. چندین بار این آزمایش را تکرار میکنید و هر بار محل اولیهٔ انگشت‌ها را تغییر میدهید، اما نتیجه همان است که بار اول بوده است؛ یعنی چوب به حال تعادل درمی‌آید. همین عمل را، بجای چوب، با خط‌کش و عصا و چوب بیلیارد و برس دسته‌بلند تکرار میکنید، باز هم می‌بینید که آش همان آش است و کاسه همان کاسه.

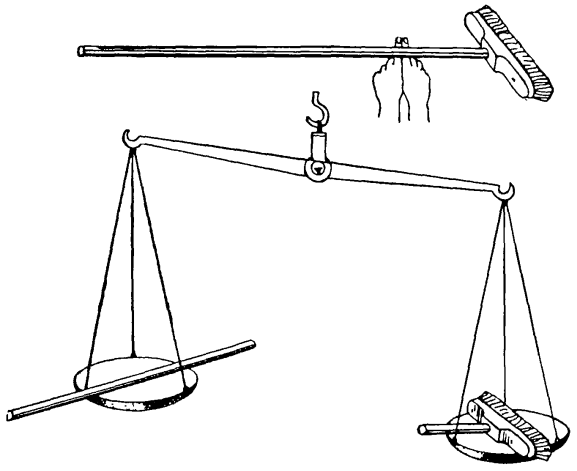


شکل ۲۴ — آزمایش با خط‌کش. در بالا: پایان آزمایش.

کلید حل این معمای غیر منتظره در چیست؟

قبل از هر چیز یک مطلب روشن است و آن اینکه چون چوب روی انگشت‌های به‌هم‌چسبیده به حالت تعادل درمی‌آید، پس انگشت ها زیر مرکز ثقل چوب به‌هم چسبیده‌اند (جسم وقتی به حالت تعادل باقی میماند که خط قائم از مرکز ثقل آن از داخل سطح اتکاء جسم بگذرد).

وقتی انگشت‌ها از یکدیگر دورند، بر روی انگشتی که به مرکز ثقل نزدیک تر است، بار بیشتر و در نتیجه فشار بیشتری می‌آید. با افزایش فشار اصطکاک نیز افزایش می‌یابد. اصطکاک انگشت نزدیک به مرکز ثقل بیش از اصطکاک انگشت دور از مرکز ثقل است. به این دلیل انگشت نزدیک به مرکز ثقل زیر چوب نمی‌لغزد و حرکت نمیکند. همیشه فقط انگشتی که از مرکز ثقل دورتر است حرکت میکند. بمحض اینکه انگشت در حال حرکت از انگشت دیگر به مرکز ثقل نزدیک‌تر بشود، نقش انگشت‌ها نیز تغییر میکند و این تغییر نقش چند بار



شکل ۲۵ — همان آزمایش با برس دسته‌بلند. چرا یک کفه ترازو پائین آمده است؟

تکرار میشود تا انگشت‌ها به‌هم بچسبند. از آنجا که هر بار فقط یک انگشت، و همانا انگشت دورتر از مرکز ثقل، حرکت میکند، پس انگشت‌ها در پایان حرکت درست زیر مرکز ثقل چوب به‌هم می‌چسبند.

قبل از آنکه این آزمایش را به پایان برسانید، یک بار دیگر آن را با برس دسته‌بلند تکرار کنید (شکل ۲۵، بالا) و به خود چنین سؤالی بدهید: اگر دستهٔ برس را در محلی که به روی انگشت‌ها تکیه دارد، ببریم و هر یک از دو قسمت را در یکی از کفه‌های ترازو بگذاریم (شکل ۲۵، پائین) کدام کفه پائین می‌آید — کفه‌ای که در آن چوب گذارده شده، یا کفه‌ای که در آن برس قرار دارد؟

ظاهراً چنین به نظر می‌آید که چون آن دو قسمت روی انگشت با یکدیگر تعادل داشتند، روی کفه‌های ترازو نیز باید توازن داشته باشند. اما در واقع کفه‌ای که برس در آن قرار دارد، پائین می‌آید. اگر به حساب بیاوریم که وقتی برس روی انگشت‌ها در حالت تعادل قرار داشت، نیروی وزن قسمت ها بر روی دو بازوی نامساوی اهرم وارد می‌آمد، اما در روی کفه‌های ترازو همان نیروها بر دو انتهای بازوهای مساوی اهرم وارد می‌آید، فهم علت این پدیده دشوار نیست.

من برای «غرفهٔ علم برای سرگرمی» در پارک فرهنگ لنینگراد چند چوب سفارش داده بودم که مرکز ثقل آنها در جاهای مختلف قرار داشت. هر یک از چوب‌ها درست در نقطه مرکز ثقل به دو قسمت معمولاً نامساوی از هم جدا میشد. تماشاچیان وقتی این دو قسمت را در دو کفهٔ ترازو میگذاشتند، با تعجب یقین حاصل میکردند که قسمت کوتاه از قسمت بلند سنگین‌تر است.

فصل سوم

حرکت دورانی

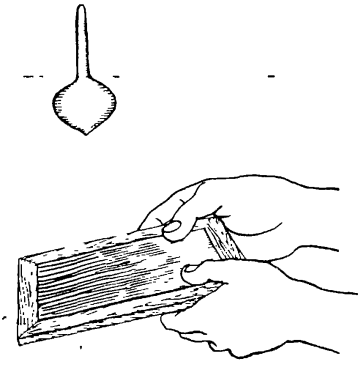
چرا فرفرهٔ در حال چرخش نمی‌افتد ؟

از هزاران نفر آدم که در کودکی با فرفره بازی میکرده‌اند ، عده کمی میتوانند به این پرسش پاسخ درست بدهند . واقعاً هم چگونه باید توضیح داد که فرفرهٔ در حال چرخش که بطور قائم یا حتی مایل گذارده شده است ، بر خلاف هرگونه انتظاری ، نمی‌افتد ؟ چه نیروئی آن را در این حالت ظاهراً نااستوار نگاه میدارد ؟ مگر نیروی ثقل روی آن اثر نمیکند ؟ در اینجا تأثیر متقابل بسیار جالب چند نیرو در کار است . تئوری فرفره مطلب ساده‌ای نیست و ما در اینجا به بررسی عمیق مسأله نمی‌پردازیم. فقط علت اصلی‌را که در اثر آن فرفرهٔ در حال حرکت نمی‌افتد ، ذکر میکنیم .

در شکل ۲۶ فرفره‌ای را مشاهده میکنید که در جهت بردارها میچرخد . به قسمت A از کناره آن و قسمت B که در طرف مقابل A واقع است ، توجه کنید . قسمت A از شما دور میشود و قسمت B به طرف شما حرکت میکند . حالا دقت کنید که اگر محور فرفره را به طرف خود کج کنید ، به این دو قسمت چه حرکتی داده میشود. در نتیجهٔ تکانی که شما داده‌اید ، قسمت A باید به طرف بالا و قسمت B به طرف پائین حرکت کند . به هر دو قسمت تکانی داده شده که نسبت به حرکت خود قسمت‌ها تحت زاویه قائمه است . اما وقتی فرفره به سرعت میچرخد ، سرعت محیطی قسمت‌های مختلف صفحهٔ فرفره بسیار زیاد است ، و در نتیجه منتجهٔ سرعت ناچیزی که شما داده‌اید ، با سرعت دایره‌ای زیاد هر نقطه ، بسیار نزدیک به این سرعت دورانی میباشد ، و حرکت فرفره تقریباً تغییر نمیکند . بنا بر این روشن است که چرا وقتی میخواهند فرفره را بیاندازند ، گوئی فرفره مقاومت میکند . هرچه فرفره بزرگ‌تر و سنگین تر باشد و سریع‌تر بچرخد ، به همان نسبت در برابر انداختن ، بیشتر عکس العمل نشان میدهد .

شکل ۲۶ — چرا فرفره نمی‌افتد؟

اصول این توضیحات بطور مستقیم با قانون اینرسی مربوط است. هر ذرهٔ فرفره روی محیط دایره‌ای حرکت میکند که سطح آن به محور چرخش عمود است. طبق قانون اینرسی ذره در هر لحظه میکوشد از محیط دایره خارج شود و روی خط مستقیم مماس به محیط حرکت کند. اما هر خط مماس به محیط دایره در سطح محیط دایره قرار دارد. به این دلیل هرذره میکوشد طوری حرکت کند که همیشه در سطح عمود به محور چرخش حرکت کند. از اینجا نتیجه میشود که همهٔ سطح های فرفره که بر محور چرخش عمود هستند، میکوشند حالت خود را در فضا حفظ کنند، به این دلیل خط مشترک عمود بر آنها، یعنی خود محور چرخش نیز میکوشد جهت خود را حفظ کند.



شکل ۲۷ — وقتی فرفرهٔ در حال چرخش به بالا پرتاب شود، جهت اولیهٔ محور خود را حفظ میکند.

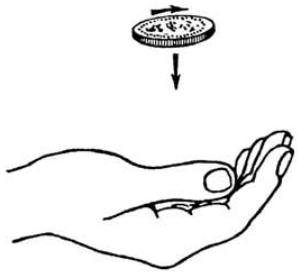
از بررسی کلیهٔ حرکت‌هائی که هنگام تأثیر نیروی خارجی بر فرفره در آن به وجود می‌آید، صرفنظر میکنیم. این بررسی احتیاج به توضیحات بسیار مفصل دارد که البته خسته‌کننده است. فقط یک مطلب را توضیح میدهیم و آن اینکه به چه علت همهٔ اجسام در حال چرخش میکوشند جهت محور چرخش خود را بدون تغییر نگه دارند.

این ویژگی در تکنیک معاصر بطور وسیعی مورد استفاده قرار میگیرد. انواع آلات ژیرسکوپیک (گردش نما) از قبیل قطب‌نما و ابزارهای تثبیت‌کننده و موازنه‌کننده که در کشتی‌ها و هواپیماها کار گذاشته میشود، بر اساس ویژگی فرفره عمل میکنند. چرخش سبب استواری گلوله در مسیر پرواز میشود و نیز برای حفظ استواری حرکت مرمی‌های فضائی، از قبیل ماه مصنوعی و موشک، مورد استفاده قرار میگیرد. چنین است شمه‌ای از استفاده‌های فراوانی که از این اسباب‌بازی ظاهراً ساده، میتوان کرد.

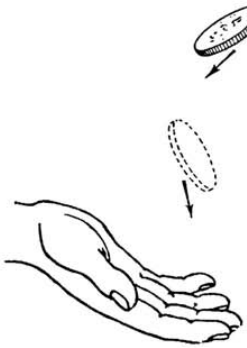
هنر ژنگلورها

بسیاری از تردستی‌های حیرت‌آور برنامه‌های گوناگون ژنگلورها نیز بر اساس این ویژگی اجسام در حال چرخش که جهت محور چرخش را حفظ میکنند، تنظیم و اجرا میشود. به خود اجازه میدهم قسمتی از کتاب جالب پروفسور جان پری فیزیسین انگلسیی به نام «فرفره در حال چرخش» را در اینجا نقل کنم:

«یک بار من برخی از آزمایش های خود را در حضور جمعیتی که در بنای باشکوه تالار کنسرت «ویکتوریا» در لندن نشسته بودند و قهوه می‌نوشیدند و سیگار می‌کشیدند، نشان میدادم. تا آنجا که میتوانستم، میکوشیدم توجه شنوندگان را جلب کنم و میگفتم که اگر میخواهند صفحهٔ مدوری را طوری پرتاب کنند که قبلاً بتوانند بگویند کجا می افتد، باید هنگام پرتاب آن را به چرخش

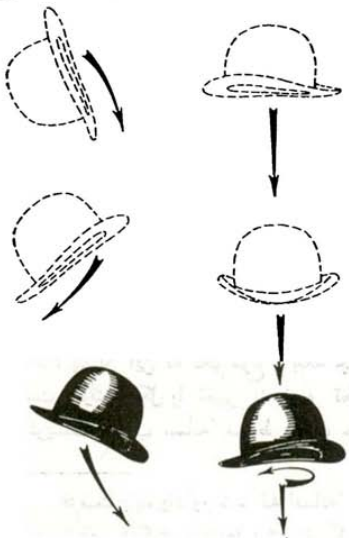


شکل ۲۸ — سکه‌ای را که ضمن پرتاب بچرخانند این طور در هوا حرکت میکند.



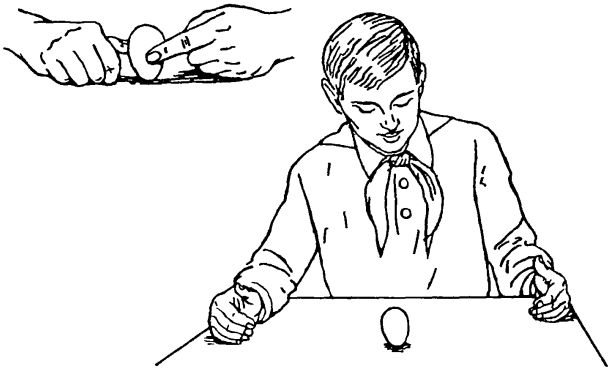
شکل ۲۹ — سکه‌ای که بدون چرخش پرتاب شده باشد، به حالت تصادفی می‌افتد.

درآورند ، و نیز اگر بخواهند شاپوئی را طوری به طرف یک نفر بیاندازند که او بتواند شاپو را در هوا با چوبی بگیرد ، باید همین عمل را انجام دهند . همیشه وقتی جهت محور جسم در حال چرخش را تغییر میدهند ، میتوان به مقاومتی که آن جسم نشان میدهد ، امید بست . بعد برای شنوندگان توضیح میدادم که وقتی داخل لولهٔ توپ صاف و صیقلی باشد ، نمیتوان انتظار داشت که تیراندازی دقیق صورت بگیرد ، به این دلیل حالا لوله‌های خان دار درست میکنند ، یعنی در داخل لوله توپ شیارهای حلزونی شکل میکنند . برآمدگی‌های گلوله در داخل این شیارها قرار میگیرد و وقتی نیروی انفجار باروت گلوله را در داخل لولهٔ توپ به حرکت می‌آورد ، گلوله ضمن حرکت در لوله به چرخش درمی‌آید و در نتیجه ، با حرکت دورانی دقیق حساب شده‌ای از دهانهٔ لولهٔ توپ خارج میشود .



شکل ۳۰ — شاپوئی را که پرتاب می کنیم، اگر ضمن پرتاب حول محورش به چرخش درآوریم، به آسانی میتوان آن را گرفت.

این یگانه کاری بود که من توانستم ضمن سخنرانی بکنم ، زیرا در پرتاب شاپو یا صفحه‌های گرد چابکی و مهارت نداشتم . اما پس از آنکه سخنرانی خود را به پایان رساندم دو نفر ژنگلور در صحنه هنرنمائی کردند . هر یک از تردستی‌هائی که آن دو هنرپیشه انجام میدادند ، بهترین نمایش عملی قانون‌های گفته شده در بالا بود ، که من آرزویش را میکردم . آنها شاپوها ، حلقه‌ها ، بشقاب‌ها ، چترها و سایر اشیاء گرد را به سوی یکدیگر پرتاب میکردند . یکی از ژنگلورها چندین کارد را به هوا پرتاب میکرد ، میگرفت و از نو با دقت زیاد ...



شکل ۳۱ — راه حل مسألهٔ کریستف کلمب. تخم مرغ روی نوک تیزش به حالت قائم می‌چرخد.

به هوا پرتاب میکرد. شنوندگان که لحظه‌ای پیش توضیح این پدیده‌ها را شنیده بودند، از شوق و شعف سر از پا نمیشناختند. آنها متوجه میشدند که وقتی ژنگلور کارد را از دست رها میکند، آن را طوری به چرخش در می‌آورد که دقیق بداند کارد در چه حالتی دو باره به سوی وی برمیگردد. من با حیرت و تعجب مشاهده میکردم که همهٔ تردستی‌هائی که ژنگلورها در آن شب نشان دادند، تقریباً بدون استثنا نمایش عملی اصول مشروحه در بالا بود».

حل جدید مسأله کریستف کلمب

کریستف کلمب مسأله مشهور بطور قائم قرار دادن تخم مرغ را بسیار ساده حل کرد — پوست تخم مرغ را شکست*.

این گونه حل مسأله در واقع نادرست است. کلمب با شکستن پوست تخم مرغ شکل آن را تغییر داد، بنا بر این نه تخم مرغ، بلکه جسم دیگری را قرار داد. زیرا اساس مسأله در شکل تخم مرغ است، وقتی شکل را تغییر بدهیم، تخم مرغ را با جسم دیگری عوض کرده‌ایم. بدین ترتیب کریستف کلمب مسألهٔ مربوط به آن جسم را حل نکرد، بلکه مسألهٔ دیگری را حل کرد.

---

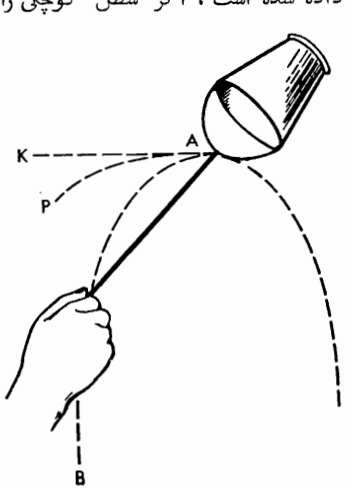
* ضمناً باید یادآور شد که افسانهٔ معروف تخم مرغ کریستف کلمب پایه و اساس تاریخی ندارد. آنچه شخص دیگری مدت‌ها پیش از کریستف کلمب و به علت کاملاً دیگری انجام داده، در افواه به این دریانورد شهیر نسبت میدهند. این شخص برونلسکی (۱۳۷۷ — ۱۴۴۶ میلادی) معمار ایتالیائی و سازندهٔ گنبد عظیم کلیسای فلورانس بود. او گفت: «گنبد من همانگونه محکم و استوار است که این تخم مرغ روی نوک تیزش ایستاده است!»

اما با استفاده از خاصیت فرفره میتوانیم این مسأله را بدون کوچکترین تغییر شکل تخم مرغ حل کنیم. برای این کار فقط کافی است که تخم مرغ را حول محور درازش به چرخش درآوریم، آنوقت تخم مرغ مدتی روی نوک پهن یا حتی نوک تیزش می‌ایستد و نمی‌افتد. در شکل ۳۱ نشان داده شده است که چگونه باید این عمل را انجام داد: باید با دو انگشت تخم مرغ را به چرخش درآورد. وقتی دستتان را بردارید، می‌بینید که تخم مرغ باز هم مدتی به حالت قائم می‌چرخد، و مسأله حل شده است.

برای این آزمایش بایست حتماً تخم مرغ پخته برداشت. این محدودیت با فرض های مسأله کریستف کلمب مغایرتی ندارد. زیرا وقتی کلمب این مسأله را مطرح کرد، او فوراً یک تخم مرغ از روی سفره برداشت، و لابد تخم مرغ خام سر سفره نگذاشته بودند. گمان نمیرود شما موفق بشوید تخم مرغ خام را در حالت قائم به چرخش درآورید، زیرا در این مورد مادهٔ مایع درون تخم مرغ ترمز است. ضمناً راه سادهٔ تشخیص تخم مرغ خام از تخم مرغ پخته همین است و بسیاری از کدبانوان این راه را میدانند.

ثقل «نابودشده»

ارسطو در دو هزار سال پیش نوشته است: «آب از ظرفی که میگردد، نمی‌ریزد، حتی وقتی هم که ته ظرف به طرف بالا است، نمی‌ریزد، زیرا گردش مانع ریختن میشود». این آزمایش جالب که بدون شک اغلب مردم آن را میدانند، در شکل ۳۲ نشان داده شده است، اگر سطل کوچکی را که در آن آب هست، بطوری که در شکل نشان داده شده، با سرعت کافی بگردانید، حتی در آن قسمت از مسیر گردش که ته سطل به طرف بالا است، آب نخواهد ریخت.



شکل ۳۲ — چرا آب از سطلی که میگردانیم نمیریزد؟

معمولاً این پدیده را با «نیروی گریز از مرکز» توضیح میدهند و منظور از آن، نیروئی تصوری است که گویا بر جسم وارد می‌آید و سبب دور شدن جسم از مرکز دوران میشود. در واقع چنین نیروئی وجود ندارد، گریز از مرکز چیزی نیست جز بروز اینرسی، وهر حرکتی که در نتیجهٔ اینرسی صورت بگیرد، بدون تأثیر نیرو انجام میشود. در فیزیک منظور از نیروی گریز از مرکز چیزی دیگر و همانا آن نیروی واقعی است که جسم در حال حرکت دورانی نخی را که آن را نگه داشته است میکشد و یا بر راه منحنی خود فشار می‌آورد. این نیرو بر جسم در حال دوران وارد نمی‌آید، بلکه بر مانعی وارد می‌آید که از حرکت

جسم روی خط مستقیم جلوگیری میکند ، یعنی به نخ یا به ریل‌های راه آهن در سرپیچ های راه و امثال آن .

حالا به بررسی گردش سطل می‌پردازیم و میکوشیم بدون توسل به مفهوم دوپهلوی « نیروی گریز از مرکز » ، به علت این پدیده پی‌ببریم . به خود چنین سؤالی میدهیم : اگر دیواره سطل را سوراخ کنیم ، آب به کدام سمت فواره خواهد زد ؟ اگر نیروی ثقل نبود ، فواره آب در اثر اینرسی در سمت AK ، یعنی خط مماس بر دایرهٔ AB ، روان میشد (شکل ۳۲) . اما نیروی ثقل سبب میشود که فواره به پائین متمایل و در مسیر منحنی (شلجمی AP) روان شود . اگر سرعت محیطی بحد کافی زیاد باشد ، منحنی AP در خارج از محیط دایره AB قرار میگیرد . فواره به ما مسیری را نشان میدهد که اگر سطل بر آب فشار نمی‌آورد و مانع جریان آن نمی‌شد ، آب در آن مسیر حرکت میکرد . حالا روشن شد که آب اصلاً نباید روی خط قائم به طرف پائین حرکت کند و به همین دلیل از سطل نمیریزد . آب فقط در صورتی ممکن است بریزد که دهانهٔ سطل به سمت حرکت دورانی متوجه باشد .

حالا حساب کنید که در این آزمایش باید سطل را با چه سرعتی گرداند که آب از آن به پائین نریزد . این سرعت باید بقدری باشد که شتاب مرکزگش سطلی را که میگردانیم از شتاب نیروی ثقل کمتر نباشد . آنوقت مسیری که آب بایست در آن حرکت بکند ، خارج از محیط دایرهٔ گردش سطل خواهد بود و آب در هیچ نقطه‌ای از سطل عقب نخواهد ماند . فرمول محاسبه شتاب مرکزگش W این است :

$$W = \frac{v^2}{R}$$

در این فرمول v سرعت محیطی و R شعاع مسیر دایره‌ای است . چون شتاب ثقل در سطح زمین یعنی g مساوی ۹/۸ متر تقسیم بر زمان بر حسب ثانیه به قوهٔ دو است ، بنا بر این نامساوی زیر را خواهیم داشت :

$$\frac{v^2}{R} \geqslant ۹/۸$$

اگر فرض کنیم که R مساوی ۷۰ سانتیمتر است ، آنوقت خواهیم داشت :

$$\frac{v^2}{۰/۷} \geqslant ۹/۸ \quad ؛ \quad v \geqslant \sqrt{۰/۷ \times ۹/۸} \quad \text{و بالاخره} \quad v \leqslant ۲/۶ \quad \text{متر در ثانیه}$$

به آسانی میتوان حساب کرد که برای اینکه سرعت محیطی بیشتر یا مساوی ۲/۶ متر در ثانیه باشد ، دست باید در هر ثانیه ۱/۵ دور بزند . این میزان سرعت گردش کاملاً امکان‌پذیر است و آزمایش را به آسانی میتوان انجام داد * .

---

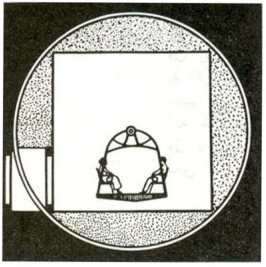
* آتش‌گردان‌هائی که از قدیم‌الایام و تا چندی پیش در اکثر خانه‌های ایران بطور وسیعی مورد استفاده قرار میگرفت ، بر اساس همین قانون فیزیکی اختراع شده بود (مترجم) .

این خاصیت مایعات که در ظرفی که در داخل آن به دور محور افقی میگردند، به دیواره‌های ظرف می‌چسبند، در صنعت برای ریخته‌گری سانتریفوژ (ریخته‌گری با دستگاه گریز از مرکز) مورد استفاده قرار میگیرد. آنچه در این نوع ریخته‌گری اهمیت اصولی دارد، اینستکه مایع ناهمگون بر حسب وزن مخصوص اجزاء مشکله آن قشربندی میشود، اجزاء سنگین‌تر دورتر از محور گردش قرار میگیرند و اجزاء سبک‌تر نزدیک‌تر به آن. در نتیجه کلیهٔ گازهائی که در فلز گداخته وجود دارد و به اصطلاح فلزکاران در فلز ریخته‌شده «حفره» به وجود می‌آورند، از فلز جدا میشود و در قسمت درونی و خالی آن گرد می‌آید. فرآورده‌هائی که به این طریق تهیه میشوند، متراکم و بدون حفره هستند. ریخته‌گری گریز از مرکز از ریخته‌گری معمولی با فشار ارزان‌تر است و به دستگاه‌ها و ماشین‌های مرکب احتیاج ندارد.

شما در نقش گالیله

برای کسانی که به تفریحات هیجان‌آور علاقه دارند، گاهی وسیله بسیار جالب ویژه‌ای به نام «تاب شیطان» تهیه میکنند. در لنینگراد نیز یکی از این تاب‌ها بود. من خودم از این تاب استفاده نکرده‌ام، به این دلیل توصیفی‌را که در مجموعهٔ تفریحات علمی تألیف فدو از آن شده است، نقل میکنم:

«تاب از یک میلهٔ عرضی در ارتفاع معینی از کف اطاق آویزان است. وقتی همه نشستند، سأمور ویژه‌ای درب ورودی را می‌بندد، تخته‌ای را که از روی آن وارد میشوند برمیدرد و اعلان میکند که الساعه برای تماشاکنندگان شرایط فراهم می‌آورد تا یک مسافرت هوائی کوچک بکنند. و آهسته تاب را تکان میدهد. سپس مانند کالسکه‌چی‌ها در جایگاه مخصوصی در عقب تاب می‌نشیند و یا اصلاً از تالار میرود.



شکل ۳۳ — شمای ساختمان «تاب شیطان».

در این میان نوسان‌های تاب دمبدم شدیدتر میشود. ظاهراً، تاب تا سطح میلهٔ عرضی بالا می‌آید، بعد از آن هم بالاتر میرود و بالاخره دایرهٔ کامل میزند. حرکت دمبدم بطور محسوسی سریع‌تر میشود و با اینکه اکثر کسانی که تاب میخورند از قضیه مطلعند، احساس میکنند که بدون شک تاب میخورند و بسرعت در حرکتند. به نظرشان می‌آید که با سرعت زیادی در هوا در پروازند و سرشان به طرف پائین است و برای اینکه نیافتند محکم به دست‌گیره‌های صندلی می‌چسبند.

بالاخره شدت نوسان‌ها بتدریج کاهش می‌یابد، تاب دیگر تا سطح میلهٔ عرضی بالا نمیرود و پس از چند ثانیه بکلی می‌ایستد.

اما در واقع، تاب در تمام مدت آزمایش همیشه بی‌حرکت آویزان بوده و خود اطاق به وسیله دستگاه بسیار ساده‌ای جلو چشم تماشاکنندگان به دور محور افقی می‌چرخیده است. مبل‌ها به کف یا به دیوارهای تالار محکم نصب شده‌اند، چراغ برقی که زیر سرپوش شیشه‌ای بزرگی پنهان است طوری به میز لحیم شده که تصور میرود ممکن است به آسانی چپه شود. مأمور ویژه که ظاهراً تاب‌را به حرکت درمی‌آورد، تکان‌های کوچکی به تاب میدهد و این تکان‌هارا با نوسانات خفیف تالار هم‌آهنگ میسازد و فقط وانمود میکند که تاب میدهد. مجموعهٔ محیط و شرایط موجب موفقیت کامل فریب و اشتباه میشود».

بطوریکه مشاهده میکنید، راز خطای حواس بسیار ساده است. باوجود این اگر شما حالا هم که میدانید قضیه از چه قرار است، در «تاب شیطان» بنشینید، بدون شک فریب خواهید خورد. نیروی وهم تا به این حد زیاد است!

پوشکین در شعر «حرکت» میگوید:

خردمند ریشو* به جمعی بگفت
که حرکت به گیتی ندارد وجود.
خردمند دیگر** خموشی گزید
ولی رفت و برگشت و حرکت نمود.
پسندید آن جمع این اعتراض
که بهتر از آن هیچ پاسخ نبود.
ولی زین قضیه که بس جالب است
به فکرم مثالی دگر ره گشود.
ببینیم هر روز در آسمان
که خورشید در حرکت است و صعود
ولی با همه آنچه بینیم ما
محق است گالیله بی‌گفت و شنود.

اگر شما در میان سرنشینان این تاب که از راز آن اطلاع ندارند، می‌بودید، در موقعیت گالیله قرار میگرفتید، با این تفاوت که عکس سخنان اورا می‌گفتید: گالیله ثابت میکرد که خورشید و ستارگان ثابت هستند و این مائیم که، برخلاف آنچه می‌بینیم، می‌گردیم، اما شما خواهید کوشید ثابت کنید که ما بی‌حرکت هستیم و تمام اطاق به دور ما می‌گردد. شاید شما هم در این مورد به سرنوشت غم‌انگیز گالیله دچار شوید، و به شما چون به شخصی بنگرند که علیه چیزهای واضح و آشکار جر و بحث میکند.

---

*زنون فیلسوف یونانی (قرن ۵ قبل از میلاد) که میگفت همه چیز در جهان ساکن است و فقط در نتیجه خطای حواس است که به نظر ما می‌آید گوئی جسمی حرکت میکند.

** دیوژن

بحث من با شما

اثبات اینکه حق با شماست آنقدرها هم که شاید گمان میکنید، کار آسانی نیست. تصور کنید که شما واقعاً هم در این تاب هستید و میخواهید اطرافیان خودرا قانع کنید که آنها اشتباه میکنند. پیشنهاد میکنم با من به این بحث بپردازید. با شما در «تاب شیطان» می‌نشینیم و منتظر لحظه‌ای میشویم که تاب پس از مدتی نوسان شروع به دایره زدن میکند و به بحث در باره آن می‌پردازیم که چه چیز می‌چرخد: تاب یا تمام اطاق؟ فقط خواهش میکنم به یاد داشته باشید که در مدت بحث نباید تاب‌را ترک کنیم، تمام چیزهای لازم را قبلاً با خود برمیداریم.

شما — چگونه میتوان شک کرد که ما بی‌حرکت هستیم و فقط اطاق میگردد! اگر تاب واقعاً واژگون میشد، آنوقت من و شما به این حالت آویزان نمی‌ماندیم و با کله روی زمین می‌افتادیم. اما، بطوریکه می‌بینید، ما نمی‌افتیم. پس نه تاب، بلکه اطاق میگردد.

من — ولی به یاد بیاورید که آب هم از سطلی که به سرعت میگردد، نمی‌ریزد، گرچه سطل وارونه میشود (شکل ۳۲). دوچرخه سوار هم، با اینکه در «حلقهٔ شیطان» (به صفحه ۶۱ مراجعه کنید) ضمن حرکت سرش به طرف پائین است و پاهایش به هوا، نمی‌افتد.

شما — حال که چنین است، شتاب مرکزگش را حساب میکنیم تا بدانیم آیا این شتاب برای آنکه ما از تاب نیافتیم کافی است. ما فاصله خودرا از محور گردش و تعداد دورها را در ثانیه میدانیم، بنا بر این میتوانیم از روی فرمول $W = \frac{v^2}{R}$ به آسانی حساب کنیم که...

من — زحمت حساب کردن را بخودتان ندهید. سازندگان «تاب شیطان» از بحث ما اطلاع داشتند و به من گفتند که تعداد دورها برای توضیح پدیده طبق نظر من کاملاً کافی است. بنا بر این محاسبه بحث مارا به انجام نمیرساند.

شما — با وجود این از معتقد ساختن شما ناامید نشده‌ام. ملاحظه میکنید که آب از این استکان روی زمین نمی‌ریزد... البته شما اینجا هم به آزمایش با سطل در حال گردش استناد میکنید. خیلی خوب. من نخ شاقول را به دست گرفته‌ام و شاقول همیشه به طرف پاهای ما، یعنی به پائین آویزان است. اگر ما میگردیدیم و اطاق بی حرکت بود، شاقول همیشه به طرف کف اطاق آویزان می‌ماند، یعنی گاه به طرف سر ما و گاه به پهلو متوجه میشد.

من — اشتباه میکنید. وقتی ما با سرعت کافی میگردیم، شاقول هم همیشه باید در طول شعاع گردش از محور گردش به سمت محیط دایره، یعنی همانطور که می‌بینیم، به طرف پاهای ما متوجه باشد.

پایان بحث ما

حالا اجازه بفرمائید به شما بگویم چگونه باید در این بحث پیروز شد. باید یک ترازوی فنری با خود برداشت و در کفه آن یک وزنه، مثلاً وزنهٔ یک کیلوگرمی گذاشت و در تمام مدتی که تاب میخوریم به شاخص ترازو نگاه کرد. شاخص ترازو همیشه همان وزن وزنه، یعنی یک کیلوگرم را نشان خواهد داد، و همین امر دال بر آنستکه تاب در جای خود بی‌حرکت است.

در واقع هم اگر ما همراه ترازوی فنری به دور محوری میگردیدیم، آنوقت بر وزنه، علاوه بر وزن آن، تأثیر گریز از مرکز نیز عمل میکرد و این تأثیر در قسمت‌های پائین مسیر ، وزن وزنه‌را افزایش میداد و در قسمت‌های بالائی از وزن آن میکاست. ما میبایست ببینیم که وزنه گه سنگین‌تر میشود و گه تقریباً هیچ وزنی ندارد. حال که این پدیده ملاحظه نمیشود، پس اطاق میگردد، نه ما.

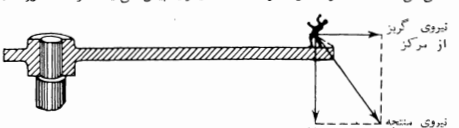
در کرهٔ «جادوشده»

در امریکا یک نفر کارفرما برای سرگرمی مشتریان فلکهٔ دوار جالب و آموزنده‌ای به شکل اطاق کروی که به دور محوری میگردد، ساخت. اشخاص در داخل این دستگاه حالاتی حس میکنند که ما فقط در خواب یا در افسانه‌های سحر و ساحری ممکن میشماریم.

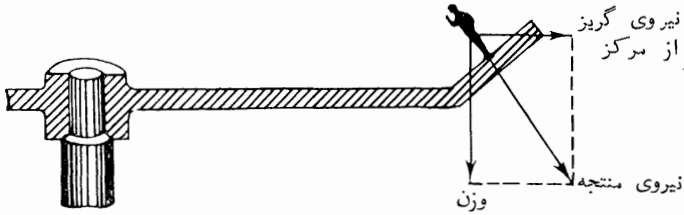
ابتدا به یاد می‌آوریم که وقتی انسان روی سکوی گردی که به سرعت میگردد، ایستاده است چه حس میکند.

حرکت دورانی میکوشد آدم‌را به خارج پرتاب کند. هر چه از مرکز دورتر ایستاده باشیم، به همان نسبت ما را شدیدتر به خارج کج میکند و میکشد. اگر چشممان را ببندیم، تصور میکنیم که نه روی سطح افقی، بلکه روی سطح مایلی ایستاده‌ایم که به زحمت میتوانیم تعادل خودرا حفظ کنیم. اگر بررسی کنیم که در این حالت چه نیروهائی روی بدن ما عمل میکنند (شکل ۳٤) مسأله برایمان روشن میشود. عمل دوران، بدن ما را به خارج و نیروی ثقل به پائین میکشد. این دو نیرو طبق قاعدهٔ متوازی الاضلاع با یکدیگر ترکیب میشوند و منتجه‌ای میدهند که به طرف پائین مایل است. هر چه سکو سریع‌تر بگردد، به همان نسبت این حرکت منتجه شدیدتر و سمت آن به خط افقی نزدیک‌تر خواهد بود.

حالا تصور کنید که لبهٔ سکو به بالا خم شده است و شما روی این قسمت خم‌شده و مایل ایستاده‌اید(شکل ۳۵). اگر سکو بی‌حرکت باشد، شما در این حالت نمیتوانید بایستید، بلکه به پائین میلغزید یا حتی می‌افتید. اما اگر سکو بگردد، حالت دیگری پیش می‌آید. در آن صورت وقتی سرعت



شکل ۳٤ — آنچه آدم در انتهای سکوئی که می‌گردد، حس میکند.



شکل ۳۵ — آدم در لبهٔ مایل سکوئی که میگردد، محکم و استوار می‌ایستد.

به حد معینی برسد، این سطح مایل گوئی برای شما سطح افقی است، زیرا جهت منتجهٔ دو حرکتی که شمارا میکشند، نیز مایل و بر قسمت خم‌شده سکو عمود خواهد بود.*

اگر سکوی گردنده را با چنان تمایلی بسازند که وقتی با سرعت معینی میگردد، در هر نقطه سطح آن بر منتجهٔ دو نیرو عمود باشد، آنوقت آدمی که روی این سکو ایستاده است، در کلیهٔ نقاط آن خود را چون در روی سطح افقی حس خواهد کرد. با محاسبات ریاضی معلوم شده است که چنین سطحی سطح یک جسم هندسی مخصوص به نام شلجمی میباشد. اگر استکانی‌را که تا نیمه در آن آب ریخته شده است به دور محور عمودی به سرعت بگردانیم این سطح را میتوان به دست آورد، در اینصورت آب در اطراف بالا میرود و در وسط پائین می‌آید و سطح آن شکل شلجمی به خود میگیرد.

اگر به عوض آب در استکان موم مذاب بریزیم و استکان‌را آنقدر بگردانیم تا موم سرد شود، آنوقت سطح موم سفت‌شده یک شکل شلجمی کاملاً دقیق خواهد بود. این سطح وقتی با سرعت معینی بگردد، برای اجسام سنگین مانند سطح افقی است. گلوله‌ای را که در هر یک از نقاط آن قرار بدهیم، به پائین نمی‌غلتد، بلکه در همان سطح باقی میماند (شکل ۳۶).

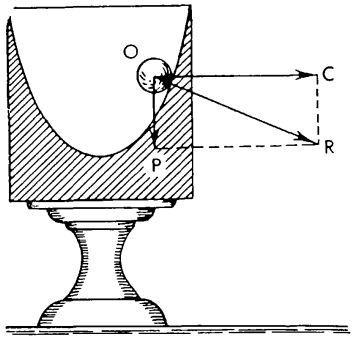
حالا به آسانی میتوان ساختمان کره «جادوشده» را فهمید.

کف آن (شکل ۳۷) سکوی بزرگ گردنده‌ای است که به شکل منحنی شلجمی ساخته شده. گرچه عمل گردش بوسیله دستگاهی که زیر سکو پنهان است، بسیار یکنواخت و هموار صورت میگیرد، ولی باوجود این اگر اشیائی که در اطراف آدم هستند همراه او نمیگردیدند، آدم روی این سکو دچار سرگیجه میشد. برای اینکه به بیننده امکان ندهند حرکت را بفهمد، سکوی گردنده را در داخل کرهٔ بزرگی با دیواره‌های غیر شفاف جا میدهند که با سرعتی مساوی سرعت سکو می‌گردد.

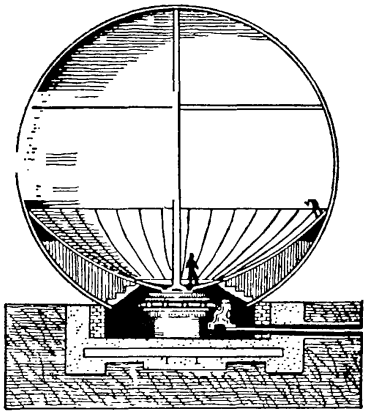
ساختمان این فلکهٔ گردان که کره «جادوشده» یا کرهٔ «مسحور» نام دارد، چنین است. وقتی شما روی سکوی داخل کره هستید، چه حس میکنید؟ وقتی سکو میگردد شما در هر نقطهٔ آن که باشید، کف سکو زیر پایتان افقی است — چه نزدیک محور که کف سکو واقعاً افقی است، و چه در انتهای

---

* ضمناً یادآور میشویم که به همین دلیل سرپیچ های راه آهن ریل خارجی‌را بالاتر از ریل داخلی میگذارند و نیز پیست‌های دوچرخه‌سواری و موتورسیکلت‌رانی را سرپیچ ها به طرف داخل مایل میسازند و همچنین به همین دلیل است که رانندگان حرفه‌ای میتوانند در راههای دایره‌ای شکل با شیب عرضی زیاد، برانند.



شکل ۳۶ — اگر این جام را با سرعت معینی بگردانیم گلوله به ته آن نمی غلتد.



شکل ۳۷ — مقطع کرهٔ «جادوشده».

آن که ٤٥ درجه تمایل دارد. چشم به طور وضوح می‌بیند که سطح مقعر است، اما احساس عضلات گواه برآنست که شما روی سطح صاف و همواری ایستاده‌اید.

گواهی دو حس شما به شدیدترین وضع با یکدیگر مغایرند. اگر از یک انتهای سکو به انتهای دیگر آن بروید، تصور میکنید که تمام این کرهٔ عظیم در اثر وزن بدن شما چون حباب صابون سبکی به آن طرف برگشته است، زیرا شما در هر نقطه‌ای حس میکنید که روی سطح افقی ایستاده‌اید. حالت سایر اشخاصی که روی سکو بطور مایل ایستاده‌اند، باید به نظر شما فوق‌العاده عجیب بیاید، تصور خواهید کرد که آدم‌ها، مانند مگس، بر سطح دیوارها راه میروند (شکل ۳۸).

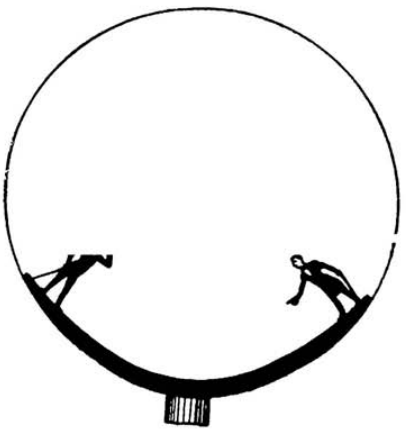
اگر در کف کرهٔ «جادوشده» آب بریزند، آب در سطح مقعر آن پخش میشود و به صورت لایه‌ای با ضخامت یکنواخت می‌ایستد. به نظر آدم‌ها می‌آید که آب مانند دیوار مایلی جلو چشم آنها ایستاده است.

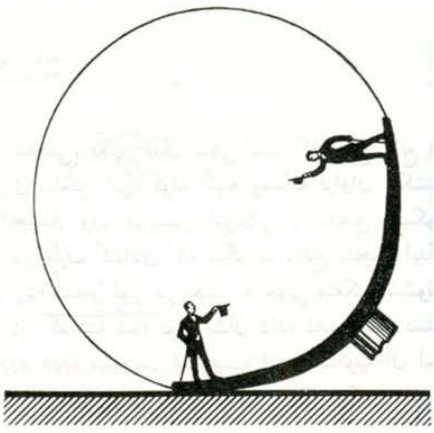
گوئی در این کرهٔ حیرت‌آور تصورات عادی در بارهٔ قوانین ثقل نابود میشوند و ما به جهان افسانوی معجزات نقل مکان میکنیم...

به خلبانان نیز هنگام گردش هواپیما چنین احساس‌هائی دست میدهد. اگر خلبان با سرعت ۲۰۰ کیلومتر در ساعت روی خط منحنی به شعاع ۵۰۰ متر پرواز کند، باید به نظرش بیاید که زمین قدری بالا آمده و به اندازهٔ ۱٦ درجه مایل شده است.*

---

*به «مکانیک برای سرگرمی»، فصل پنجم مراجعه کنید.





شکل ۳۸ — وضع واقعی اشخاص در داخل کرهٔ «جادوشده» چنین است (شکل سمت چپ)، و آنچه در این حالت به نظر هر یک از دو نفر می‌آید، چنین است (شکل سمت راست).

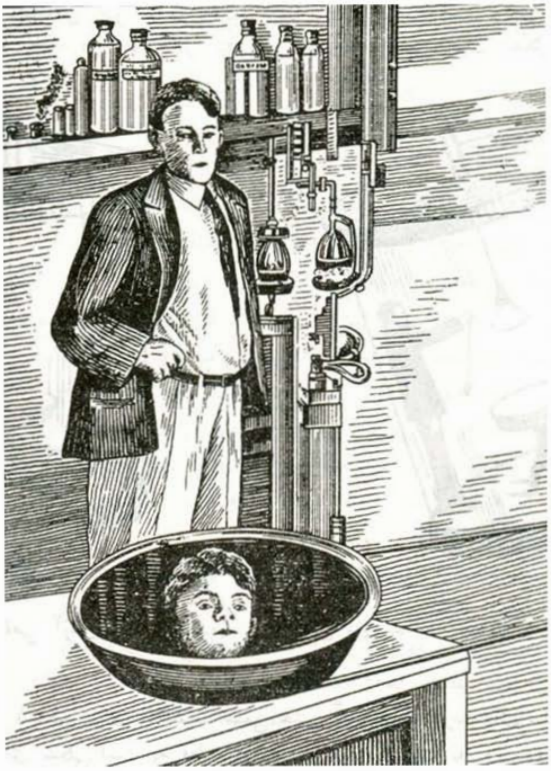
شکل ۳۹ — حالت واقعی آزمایشگاه گردنده.

شکل ٤٠ — حالت تصوری همان آزمایشگاه گردنده.

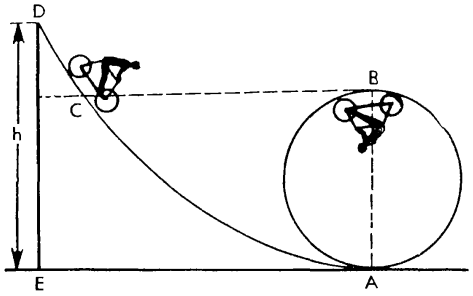
در آلمان در شهر گتینگن برای تحقیقات علمی چنین آزمایشگاه گردنده‌ای ساخته‌اند. این آزمایشگاه (شکل ۳۹) اطاق استوانه‌ای شکلی است به قطر ۳ متر که با سرعت تا ۵۰ دور در ثانیه میگردد. چون کف اطاق مستوی است، وقتی اطاق میگردد، کسی که پای دیوار ایستاده باشد، به نظرش می‌آید که گوئی اطاق به عقب کج شده و خود او روی دیوار مایلی دراز کشیده است (شکل ٤٠).

تلسکوپ مایع

بهترین شکل آئینهٔ تلسکوپ منعکس‌کننده شکل شلجمی، یعنی همان شکلی است که سطح مایع در ظرف گردنده به خود می‌گیرد. طراحان تلسکوپ برای ساختن این گونه آئینه زحمات فراوان میکشند. ساختن آئینه برای تلسکوپ سال‌ها به طول می‌انجامد. وود فیزیسین امریکائی با ساختن تلسکوپ مایع این دشواری‌هارا برطرف ساخت. با ریختن جیوه در ظرف گشادی که میگردید سطح شلجمی ایدآلی به دست آورد که میتوانست نقش آئینه‌را ایفا کند، زیرا اشعهٔ نور در جیوه به خوبی منعکس میشوند. در شکل ٤١ تلسکوپ وود که در چاه کم‌عمقی کار گذاشته شده بود، نشان داده شده است. دستگاه گرداننده، ظرف گردنده با جیوه و انعکاس صورت وود دیده میشوند. اما عیب این تلسکوپ آن است که سطح آئینهٔ مایع در اثر کوچکترین تکان موج برمیدارد و سبب تغییر شکل عکس میشود.



شکل ٤١ — آئینهٔ مایع تلسکوپ.



شکل ۴۲ — «حلقهٔ شیطان». شمای دستگاه برای محاسبه.

تلسکوپ جیوه‌ای وود، باوجود سادگی فریبای آن، در عمل مورد استفاده قرار نگرفت. نه خود مخترع به این دستگاه جالب و بی‌سابقه توجه جدی کرد و نه فیزیسین‌های معاصر وی. مثلاً وبستر رئیس شعبهٔ فیزیک یکی از دانشگاه‌های امریکا پس از تماشای تلسکوپ یادداشت زیر را کرد:

دینگ، و دانگ و بس صدا
هست توی چاه او حالا
پس چی برداشت به راه «وود»؟
طشتی که تویش جیوه بود.
چی درآمد از این کار؟
تقریباً هیچی، ای یار.

«حلقهٔ شیطان»

شاید هنرنمائی سرگیجه‌آوری را که گاهی در سیرک‌ها با دوچرخه انجام میدهند، دیده یا شنیده باشید. دوچرخه‌سوار در راهی حلقه‌ای شکل از پائین به بالا میرود و باوجود اینکه در قسمت بالائی حلقه سرش به پائین و پاهایش به بالا است، یک دور تمام میزند. به طوری که در شکل ۴۲ نشان داده شده، در صحنه راه چوبی حلقه‌ای با یک یا چند دور میسازند. هنرپیشه با دوچرخه در قسمت سرازیر راه پائین می‌آید و بعد سوار بر اسب آهنین خویش به سرعت به قسمت بالائی آن میرود و در حالی که سرش به پائین و پاهایش به بالاست، یک دور تمام میزند و صحیح و سالم به روی صحنه میرسد.*

این زبردستی سرگیجه‌آور با دوچرخه مانند حد اعلای هنرنمائی اکروباسی به نظر بینندگان می‌آید. آنها با حیرت و تعجب از خود می‌پرسند: چه نیروی اسرارآمیزی مانع آن میشود که این آدم جسور با سر به زمین بیافتد؟ دیرباوران سوء ظن میبرند که در اینجا نیرنگی ماهرانه نهفته است، در صورتیکه

* «حلقه شیطان» در سال ۱۹۰۲ در یک زمان به وسیله دو هنرپیشه سیرک «دیاولو» (جانسون) و «سفیستو» (نوئازتو) اختراع شد.

در این هنرنمائی هیچ چیز خارق‌العاده‌ای وجود ندارد و سر تا سر آن بر اساس قوانین مکانیک انجام میشود. گلوله بیلیاردی که در این راه رها شود، این هنرنمائی را بدتر از دوچرخه‌سوار انجام نمیدهد. در اطاق فیزیک دبیرستان‌ها «حلقه‌های شیطان» بسیار کوچک وجود دارد.

«مفیستو» هنرپیشه نامدار و مخترع و اجراکننده این هنرنمائی برای آزمایش استحکام «حلقه شیطان» گلولهٔ سنگینی داشت که وزن آن با مجموع وزن هنرپیشه و دوچرخه مساوی بود. این گلوله را از بالای راه حلقه‌ای رها میکردند، اگر گلوله بدون هیچ پیش‌آمدی تمام راه را می‌پیمود، خود هنرپیشه نیز به اجرای هنرنمائی دست میزد.

البته خوانندگان پی برده‌اند که علت این پدیدهٔ عجیب همان است که در آزمایش با سطل گردنده (صفحه ۵۱) بررسی کردیم. برای اینکه دوچرخه‌سوار منطقهٔ خطرناک قسمت بالائی حلقه‌ر بپیماید، باید سرعت به حد کافی زیادی داشته باشد. این سرعت متناسب با ارتفاعی است که هنرپیشه از آنجا حرکت را شروع میکند و حد اقل سرعتی که میتوان با آن هنرنمائی را انجام داد، بستگی به شعاع حلقه است. بنا بر این روشن است که هنرنمائی همیشه به موفقیت نمی‌انجامد. باید ارتفاعی‌ر که دوچرخه‌سوار از آن حرکت‌را شروع میکند به دقت حساب کرد، و الا هنرنمائی به سانحه منجر میشود.

ریاضیات در سیرک

من میدانم که ردیف‌های فرمول‌های «بی‌روح» برخی از دوست‌داران فیزیک را میترساند. ام این گونه اشخاص که با ریاضیات میانه‌ای ندارند، با استنکاف از آشنائی با جنبه‌های ریاضی پدیده‌ها خود را از لذت پیش‌بینی جریان پدیده و تعیین قبلی شرایط آن محروم میسازند. مثلاً در مورد «حلقه شیطان» دو سه فرمول به ما امکان میدهد تا از پیش بطور دقیق تعیین کنیم در چه شرایطی اجرای موفقیت آمیز این هنرنمائی حیرت‌آور امکان پذیر است.

پس به محاسبه می‌پردازیم.

مقادیری را که باید محاسبه‌را انجام دهیم، با حروف مشخص میکنیم:

— ارتفاعی‌را که باید دوچرخه‌سوار از آن به پائین حرکت کند، با حرف h

— قسمتی از h را که بر بالاترین نقطهٔ «حلقه» مشرف است با حرف x مشخص میکنیم.

در شکل ۴۲ دیده میشود که

$$x = h - AB$$

— شعاع دایرهٔ حلقه‌را با حرف r

— مجموع جرم دوچرخه و دوچرخه‌سوار را با حرف m مشخص میکنیم، آنوقت وزن آنها با mg نشان داده خواهد شد.

ضمناً g شتاب نیروی ثقل زمین است، و بطوری که میدانیم معادل ۹/۸ متر در ثانیه‌بر ثانیه میباشد

سرعت دوچرخه‌سوار را در لحظه‌ای که به بالاترین نقطهٔ دایره رسیده است، با حرف v مشخص میکنیم

میتوانیم ارتباط همهٔ این مقادیر را در دو معادله نشان دهیم. اولاً — از مکانیک میدانیم که سرعت دوچرخه در بالاترین نقطهٔ حلقه، یعنی نقطهٔ B مساوی سرعتی است که ضمن پائین آمدن د راه سرازیر در نقطهٔ C، که هم‌سطح نقطهٔ B میباشد، کسب کرده بود (این حالت د

شکل ۴۲ تصویر شده است). نخستین سرعت با فرمول* $v=\sqrt{۲gx}$ یا $v^۲=۲gx$ بیان میشود. بنا بر این سرعت دوچرخه‌سوار در نقطهٔ B نیز مساوی است با $\sqrt{۲gx}$، یعنی $v^۲=۲gx$.

سپس، برای آنکه دوچرخه‌سوار وقتی به بالاترین نقطهٔ راه دایره‌ای رسید، نیافتد، باید (با فرمول‌های ص ۵۲ مقایسه کنید) شتاب مرکزگرش حاصله در این نقطه بیش از شتاب ثقل باشد، یعنی باید $g<\frac{v^۲}{r}$ یا $gr<v^۲$ باشد. میدانیم که $v^۲=۲gx$، بنا بر این باید $gr<۲gx$ یا $x>\frac{r}{۲}$ باشد.

بدین ترتیب، فهمیدیم که برای اجرای موفقیت‌آمیز این هنرنمائی سرگیجه‌آور بایست «حلقهٔ شیطان» را طوری ساخت که بالاترین نقطهٔ قسمت سرازیر راه به اندازهٔ $\frac{۱}{۲}$ شعاع دایره بالاتر از بالاترین نقطه حلقه باشد. میزان شیب سرازیری تأثیری ندارد، فقط باید نقطه‌ای که دوچرخه‌سوار شروع به پائین آمدن میکند، بیش از $\frac{۱}{۴}$ قطر دایرهٔ حلقه بالاتر از بالاترین نقطهٔ حلقه باشد. مثلاً اگر قطر حلقه ۱۶ متر است، هنرپیشه باید از ارتفاع بیش از ۲۰ متر شروع به پائین آمدن کند. اگر این شرایط را اجرا نکند، باهیچ استادی و مهارتی قادر نخواهد بود به دور «حلقهٔ شیطان» یک دور تمام بزند، و قبل از آنکه به بالاترین نقطهٔ آن برسد، حتماً به پائین خواهد افتاد.

در این محاسبه تأثیر نیروی اصطکاک دوچرخه در نظر گرفته نشده است، فرض میشود که سرعت در نقطهٔ C و نقطهٔ B مساوی است. به این دلیل نمیشود سرازیری را با شیب بیش از حد کم ساخت و راه را دراز کرد. اگر شیب سرازیری کم باشد، وقتی دوچرخه به نقطهٔ B میرسد، سرعت آن در نتیجهٔ تأثیر اصطکاک کمتر از سرعت در نقطهٔ C خواهد بود.

باید یادآور شد که دوچرخه‌سوار هنگام اجرای این هنرنمائی بدون زنجیر میرود و دوچرخه‌را به تأثیر نیروی ثقل میسپارد. او نمیتواند و نباید هم سرعت خود را زیاد یا کم کند. تمام هنر و استادی وی در آنستکه از وسط راه چوبی برود. اگر کوچکترین انحرافی روی دهد خطر آن هست که هنرپیشه از راه خارج شود و به سوئی پرتاب گردد. سرعت حرکت در دایره بسیار زیاد است. دوچرخه سوار محیط دایرهٔ به قطر ۱۶ متر را در ۳ ثانیه می‌پیماید. این سرعت مساوی ۶۰ کیلومتر در ساعت است! البته راندن دوچرخه با چنین سرعتی کاری است بسیار دشوار، اما احتیاجی به این کار نیست، میتوان با جرئت و اعتماد به قوانین مکانیک اتکا جست. در جزوه‌ای که یک هنرپیشهٔ حرفه‌ای تدوین کرده، نوشته شده است: «چنانچه حساب درست و ساختمان دستگاه محکم باشد، هنرنمائی با دوچرخه به خودی خود کار خطرناکی نیست. خطر این هنرنمائی در شخص هنرپیشه است. اگر دست هنرپیشه بلرزد، اگر هنرپیشه دچار تشویش شود و خونسردی را از کف بدهد، اگر ناگهان حالش به هم بخورد، باید انتظار هر حادثه‌ای را داشت».

معلق با هواپیما و سایر حرکات پروازخوبی نیز بر اساس همین قانون انجام میشود. در این نوع معلق سرعت گرفتن صحیح خلبان در محیط دایره و راندن ماهرانهٔ هواپیما نقش درجهٔ اول را دارند.

---

*در اینجا نیروی چنبر چرخ‌ها را که می‌چرخد به حساب نمی‌آوریم، تأثیر این عامل در نتیجهٔ محاسبه ناچیز است (به کتاب «آیا فیزیک میدانید؟» تألیف اینجانب مراجعه کنید).

روزی بذله‌گوئی اعلام داشت که راهی میداند که بدون گول زدن مشتریان، کم فروشی کند. راز این کم‌فروشی بدون فریب در آنستکه کالاها را در کشورهای نزدیک به خط استوا بخریم و در نواحی نزدیک به قطب بفروشیم. از مدتها پیش معلوم است که وزن اجسام در نواحی نزدیک به خط استوا کمتر از نواحی نزدیک به قطب است. اگر یک کیلوگرم را از استوا به قطب ببریم، ۵ گرم بر وزنش علاوه میشود. اما باید نه از ترازوی معمولی، بلکه از ترازوی فنری استفاده کرد، ضمناً از ترازوئی که در استوا ساخته و درجه‌بندی شده باشد. در غیر اینصورت هیچ سودی عاید نخواهد شد، کالا سنگین‌تر میشود، اما وزنه‌ها هم به همان نسبت سنگین‌تر میشوند. اگر یک تن طلا مثلاً در پرو بخریم و در ایسلند بفروشیم، ممکن است در این معامله سودی عایدمان بشود — البته اگر مجانی حمل کرده باشیم.

گمان نمیبرم که اینگونه داد و ستد کسی‌را ثروتمند کند، اما آن بذله‌گو در حقیقت درست میگوید: واقعاً هم، هر چه از خط استوا دور شویم نیروی ثقل افزایش می‌یابد. علت این پدیده آنستکه اجسام ضمن چرخش زمین در استوا بزرگترین دایره را میزنند، و بعلاوه کرهٔ زمین در استوا برآمده‌تر است.

قسمت اعظم کمبود وزن در اثر چرخش زمین است. وزن جسم در استوا به علت چرخش زمین به اندازه $\frac{۱}{۲۹۰}$ وزن همان جسم در قطب، کم میشود.

تفاوت وزن جسم وقتی آن را از یک عرض جغرافیائی به عرض دیگر ببریم، برای اجسام سبک ناچیز است، اما برای اجسام سنگین ممکن است به میزان قابل ملاحظه‌ای برسد. مثلاً شما تصور آن‌را هم نمیکردید که لکوموتیوی که در مسکو ۶۰ تن وزن داشته باشد، وقتی به آرخانگلسک برود ۶۰ کیلوگرم سنگین‌تر، و وقتی به ادسا برود به همان مقدار سبک‌تر میشود. زمانی از جزیرهٔ اشپیزبرگن هر سال در حدود ۳۰۰۰۰۰ تن زغال سنگ به بنادر جنوبی می‌بردند. اگر این مقدار زغال به یکی از بنادر نواحی استوا برده میشد، در آنجا به اندازه ۱۲۰۰ تن کمبود وزن پیدا میکرد — البته اگر ضمن تحویل بار آن را با ترازوی فنری میکشیدند، ضمناً ترازوئی که از جزیره اشپیزبرگن آورده بودند. نبردناوی که در آرخانگلسک ۲۰۰۰۰ تن وزن داشته باشد، وقتی به آب‌های اطراف خط استوا برود به اندازه ۸۰ تن از وزنش کاشته میشود. اما این کاهش وزن نامحسوس است، زیرا وزن سایر اجسام، از جمله آب‌های اقیانوس، نیز به همان نسبت کاهش می‌یابد.*

اگر کرهٔ زمین به دور محور خود سریع‌تر از حالا میچرخید، مثلاً اگر شبانه‌روز نه ۲۴ ساعت، بلکه ۴ ساعت به طول می‌انجامید، آنوقت تفاوت وزن اجسام در استوا و در قطب‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای زیادتر می‌بود. در اینصورت، مثلاً، جسمی که در قطب یک کیلوگرم وزن داشت، وزن

---

*به این دلیل است که کشتی‌ها در آبهای اطراف استوا و آبهای نواحی قطبی یک اندازه به آب مینشینند. درست است که وزن کشتی کم میشود، اما وزن آب هم حجم آن قسمت از کشتی که در آب فرو رفته است، نیز به همان میزان کاهش می‌یابد.

آن در استوا فقط ۸۷۰ گرم بود. در سیاره زحل شرایط ثقل تقریباً در همین حدود است. در این سیاره وزن اجسام در نواحی قطبی تقریباً به اندازه $\frac{۱}{۶}$ بیش از وزن آنها در اطراف استوا است.

از آنجا که افزایش شتاب مرکزگرای با مجذور سرعت نسبت مستقیم دارد، میتوان به آسانی حساب کرد که زمین باید با چه سرعتی بچرخد تا شتاب مرکزگرای در استوا به اندازه ۲۹۰ بار افزایش بیابد، یعنی با نیروی جاذبهٔ زمین مساوی شود. وقتی سرعت حرکت دورانی زمین ۱۷ بار بیشتر از حالا باشد، این حالت صورت میگیرد (۱۷ × ۱۷ تقریباً مساوی است با ۲۹۰). در این حالت اجسام، دیگر بر سطح اتکاء خود فشار نخواهند آورد. بعبارت دیگر اگر کره زمین ۱۷ بار سریع‌تر از حالا می‌چرخید، اجسام در ناحیه استوا هیچ وزنی نداشتند. در زحل اگر این سیاره فقط ۲/۵ بار سریع‌تر از حالا به دور محور خود می‌چرخید، این حالت به وجود می‌آمد.

فصل چهارم

نیروی جاذبه عمومی

آیا نیروی جاذبه زیاد است؟

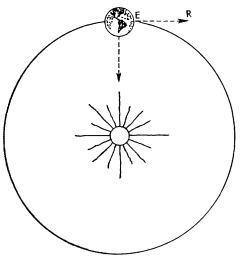
آراگو منجم نامدار فرانسوی نوشته است: «اگر ما در هر دقیقه سقوط اجسام را مشاهده نمیکردیم، این امر برای ما عجیب‌ترین پدیده بود». در نتیجهٔ عادت است که جذب کلیهٔ اجسام بوسیلهٔ زمین به نظر ما پدیده‌ای طبیعی و عادی می‌آید. آما وقتی به ما میگویند که اجسام نیز یکدیگررا جذب میکنند، حاضر نیستیم باور کنیم، زیرا در زندگی روزمره چنین پدیده‌ای را نمی‌بینیم.

واقعاً هم، چرا در شرایط معمولی قانون جاذبهٔ عمومی همیشه در اطراف ما مشاهده نمیشود؟ چرا نمی‌بینیم که میزها، هندوانه‌ها یا آدم‌ها یکدیگر را جذب کنند؟ زیرا که برای اجسام کوچک نیروی جاذبه فوق‌العاده کم است. یک مثال ساده می‌آوریم. دو نفر آدم که در فاصله دو متر از یکدیگر ایستاده‌اند، یکدیگر را جذب میکنند، اما نیروی خاذبه آنها فوق‌العاده کم و برای اشخاصی که وزن متوسط دارند، کم‌تر از $\frac{۱}{۱۰۰}$ میلی‌گرم است. یعنی این دو نفر آدم با نیروئی که یک وزنه کمتر از $\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰}$ گرم بر کفهٔ ترازو فشار می‌آورد، یکدیگر را جذب میکنند. فقط ترازوهای فوق‌العاده حساس آزمایشگاههای علمی می‌توانند این وزن بسیار کم را نشان بدهند. روشن است که چنین نیروئی نمیتواند ما را از جا تکان بدهد، اصطکاک تخت کفش‌های ما با زمین مانع این کار میشود. برای آنکه بتوان آدم‌را، مثلاً روی کف چوبی اطاق از جای خود تکان داد (نیروی اصطکاک تخت کفش باکف اطاق مساوی ۰/۳۰ وزن بدن است) نیروئی بیش از ۲۰ کیلوگرم لازم است. حتی مقایسه این نیرو با نیروی بسیار ناچیز جاذبه، در حدود یک صدم میلی‌گرم، خنده‌دار است. میلی‌گرم یک هزارم گرم و گرم یک هزارم کیلوگرم است. بنا بر این ۰/۰۱ میلی‌گرم معادل نیم میلیاردم آن نیروئی است که لازم است تا مارا از جا تکان دهد! آیا تعجب‌آور است که ما در چنین شرایطی کوچکترین اثری از جذب متقابل اجسام روی زمین حس نمیکنیم؟

البته اگر اصطکاک وجود نمیداشت مطلب دیگری بود، آنوقت هیچ چیز مانع آن نمیشد که حتی همین نیروی ناچیز اجسام‌را به یکدیگر نزدیک کند. اما با نیروی ۰/۰۱ میلی‌گرم سرعت نزدیک شدن آدم‌ها به یکدیگر باید فوق‌العاده کم باشد. میتوان حساب کرد که اگر اصطکاک وجود نداشته باشد، دو نفر آدم که در فاصلهٔ دو متر از یکدیگر ایستاده باشند، طی یک ساعت اول ۳ سانتیمتر

به طرف هم حرکت میکنند، در ساعت دوم ۹ سانتیمتر دیگر، و در ساعت سوم ۱۵ سانتیمتر دیگر به هم نزدیک میشوند. سرعت حرکت مرتباً افزایش می‌یابد، اما آن دو نفر آدم زودتر از پنج ساعت به یکدیگر نخواهند رسید.

در مواردی که نیروی اصطکاک مانع نیست، یعنی در مورد اجسامی که آویزان هستند، میتوان جذب متقابل اجسام روی زمین را مشاهده کرد. باری که از نخی آویزان باشد، تحت تأثیر نیروی جاذبه زمین قرار دارد و به این دلیل نخ در جهت خط قائم کشیده میشود. اما اگر جسم عظیمی که بار را به خود جذب میکند، در نزدیک بار قرار داشته باشد، نخ از حالت قائم کمی منحرف میشود و در جهت منتجهٔ جاذبه زمین و جاذبهٔ جسم دیگر، که نسبت به جاذبه زمین بسیار کم است، قرار میگیرد. نخستین بار ماسکلاین در سال ۱۷۷۵ در اسکاتلند این گونه انحراف شاقول‌را در نزدیکی کوه بزرگی مشاهده کرد. او جهت شاقول‌را نسبت به جهت قطب آسمان از دو طرف یک کوه باهم مقایسه کرد. بعدها با ترازوهای ویژه‌ای جاذبه اجسام روی زمین را مورد آزمایش‌های کاملتر قرار دادند و در نتیجه توانستند نیروی جاذبه را بدقت اندازه بگیرند.



شکل ۴۳ — نیروی جاذبهٔ خورشید مسیر E زمین‌را کج میکند. زمین در نتیجهٔ اینرسی میخواهد روی خط مماس ER حرکت کند.

نیروی جاذبه میان جرم‌های کوچک بسیار کم است. افزایش نیروی جاذبه با افزایش حاصلضرب جرم اجسام نسبت مستقیم دارد. اما برخی اشخاص در میزان این نیرو مبالغه میکنند. یک نفر دانشمند، البته نه فیزیسین، بلکه جانورشناس، میکوشید مرا متقاعد کند که علت اینکه گاهی کشتی‌های دریاپیما یکدیگر را به سوی خود میکشند، نیروی جاذبهٔ عمومی است! بوسیلهٔ محاسبه میتوان به آسانی ثابت کرد که در اینجا نیروی جاذبه هیچ نقشی ندارد. دو کشتی هر یک به وزن ۲۵۰۰۰ تن از فاصله ۱۰۰ متری با نیروئی فقط معادل ۴۰۰ گرم یکدیگر را جذب میکنند. واضح است که این نیرو حتی برای کوچکترین تغییر مکان کشتی در آب کافی نیست. علت حقیقی جذب متقابل اسرارآمیز کشتی‌ها را در فصل خصوصیات مایعات توضیح خواهیم داد.

نیروی جاذبه که برای جرم‌های نسبتاً کم بسیار ناچیز است، در مورد جرم‌های فوق‌العاده زیاد کرات آسمانی کاملاً محسوس است. مثلا حتی نیوتن که سیاره‌ای است بسیار دور از ما و تقریباً در انتهای منظومهٔ شمسی به آهستگی میگردد، «درود» خویش را به صورت جذب زمین با نیروی ۱۸ میلیون تن به سوی ما میفرستد. باوجود اینکه فاصلهٔ میان زمین ما و خورشید فوق‌العاده زیاد است، زمین فقط در اثر نیروی جاذبهٔ خورشید در مدار خود باقی میماند. اگر به علتی نیروی جاذبهٔ خورشید نابود میشد، زمین روی خط مماس برمدار آن به حرکت در می‌آمد و با سرعتی هر چه تمامتر به اعماق بی‌پایان فضای کیهانی میرفت.

تصور کنید که به دلیلی نیروی جاذبهٔ عظیم خورشید نابود شده و سرنوشت رقت‌انگیزی در انتظار زمین ماست که برای ابد در خلأ سرد و تیره و تار عالم افلاک ویلان و سرگردان حرکت کند. حالا در نظر مجسم کنید که — برای این کار قوه تخیل لازم است — مهندسین تصمیم گرفته‌اند به جای زنجیرهای نامرئی جاذبه، زمین و خورشید را با وسائل مادی، یا به زبان ساده، با طناب‌های فولادی محکم به هم متصل کنند تا این طناب‌ها کرهٔ زمین‌را در مسیر دورانی‌اش به دور خورشید نگهدارد. چه چیز از فولاد که هر میلیمتر مکعب آن در برابر ۱۰۰ کیلوگرم کشش تاب مقاومت دارد، ممکن است محکمتر باشد؟ ستون فولادی عظیمی به قطر ۵ متر را در نظر مجسم کنید. سطح مقطع این ستون در حدود ۲۰۰۰۰۰۰۰۰ میلیمتر مربع میشود. بنا بر این چنین ستونی فقط در نتیجهٔ باری معادل ۲۰۰۰۰۰۰۰ تن ممکن است پاره شود. سپس مجسم کنید که این ستون از زمین تا خورشید کشیده شده و این دو کره را به یکدیگر متصل میکند. آیا میدانید چه تعدادی از این ستون‌های عظیم لازم است تا زمین‌را در مدار خود نگهدارد؟ میلیون‌ها میلیون! برای اینکه بتوانید واضحتر این جنگل انبوه فولادی را که همه قاره‌ها و اقیانوس‌ها را می‌پوشاند در نظر مجسم کنید، علاوه میکنم که هر گاه آنها را در تمام نیمکرهٔ زمین که رو به خورشید است، بطور یکنواخت پخش کنیم، فاصله میان ستون‌های مجاور فقط قدری بیش از قطر خود ستون‌ها خواهد بود. نیروی لازم برای پاره کردن این جنگل پهناور ستون‌های فولادی را در نظر مجسم کنید تا تصوری از عظمت نیروی نامرئی جاذبه متقابل زمین و خورشید به دست آورید. تمام این نیروی عظیم فقط در آن ظاهر میشود که خط سیر زمین‌را کج میکند و زمین در هر ثانیه ۳ میلیمتر از خط مماس به مدارش منحرف میشود و در نتیجه خط سیر سیارهٔ ما به صورت بیضی بسدودی در می‌آید. آیا عجیب نیست که برای آنکه بتوان زمین‌را در هرثانیه ۳ میلیمتر تغییر مکان داد، چنین نیروی عظیمی لازم است؟! این واقعیت فقط نشان میدهد که وقتی نیروئی به این عظمت فقط قادر است زمین را تغییر مکان بسیار کوچکی بدهد، جرم کرهٔ زمین چقدر عظیم است.

آیا میتوان از نیروی جاذبه رهائی یافت؟

هم اکنون ما در عالم خیال مجسم کردیم که اگر جاذبهٔ متقابل میان خورشید و زمین نابود میشد، چه رخ میداد: زمین که از زنجیرهای نامرئی جاذبه آزاد شده بود، با سرعت زیادی در فضای بیکران عالم افلاک به حرکت درمی‌آمد. حالا در موضوع دیگری به تخیل می‌پردازیم: اگر ثقل وجود نمیداشت، اشیاء روی زمین به چه سرنوشتی دچار میشدند؟ هیچ چیز آنها را به سیاره ما نمی‌بست و با کوچکترین تکانی به فضای کیهانی میرفتند. اما به تکان هم هیچ احتیاجی نبود، زیرا چرخش سیارهٔ ما همهٔ چیزهائی‌را که محکم به سطح آن متصل نیستند، به فضا پرتاب میکرد.

ولس نویسنده انگلیسی برای توصیف مسافرت خیالی به ماه در رمان خود از این نوع نظریه‌ها استفاده کرد. نویسنده با ذوق انگلیسی در این رمان که «نخستین آدم‌ها در ماه» نام دارد، راه بسیار جالب و بکری برای مسافرت از کره‌ای به کرهٔ دیگر نشان داده است، و آن راه این است: دانشمند

قهرمان رمان او معجون ویژه‌ای اختراع کرد که خصوصیت بسیار خوبی داشت، یعنی نیروی جاذبه از آن نمیگذشت. اگر قشری از این معجون را زیر جسمی قرار میدادند، جسم از تأثیر نیروی جاذبه زمین آزاد میشد و فقط نیروی جاذبهٔ سایر اجسام در آن تأثیر میکرد. ولس این معجون خیالی را به نام مُخترع خیالی آن کهوریت» نامید. ولس می‌نویسد:

«ما میدانیم که تمام اجسام در برابر نیروی جاذبهٔ عمومی، یعنی نیروی ثقل نفوذپذیر هستند. شما میتوانید در مقابل اشعهٔ نور سد قرار بدهید تا مانع رسیدن آن به اجسام بشوید. میتوانید به وسیلهٔ صفحات فلزی مانع رسیدن امواج الکتریکی تلگراف بی‌سیم به جسم بشوید، اما بوسیله هیچ سدی نمیتوانید جسم را از تأثیر نیروی جاذبهٔ خورشید یا نیروی ثقل زمین حفظ کنید. دشوار است بتوان گفت که اصولاً چرا در طبیعت چنین سدهائی برای نیروی جاذبه وجود ندارد. اما کهور دلیلی نمیدید که چرا نباید ماده‌ای وجود داشته باشد که نیروی جاذبه از آن نگذرد. او خود را مستعد آن میدانست که بطور مصنوعی ماده‌ای بسازد که در برابر نیروی جاذبه نفوذناپذیر باشد.

هر کس که حتی ذره قدرت تصور داشته باشد، به آسانی میتواند در نظر مجسم کند که چنین ماده‌ای چه امکانات خارق‌العاده‌ای در برابر ما میگشاید. مثلاً اگر لازم باشد باری را بلند کنیم، هر قدر هم که آن بار بزرگ باشد، کافی است ورقه‌ای از آن ماده زیر بار بگذاریم تا بتوان حتی با پرکاهی بار را بلند کرد».

قهرمانان رمان که چنین ماده بسیار خوبی دارند، کشتی هوائی‌ای میسازند که با آن پرواز دلاورانه به ماه را انجام میدهند. ساختمان دستگاه بسیار ساده است، در آن هیچ موتور محرکی وجود ندارد، زیرا تحت تأثیر نیروی جاذبهٔ ستاره‌ها تغییر مکان میدهد.

توصیف این کشتی تخیلی چنین است:

«گلوله بزرگی‌را در نظر مجسم کنید که گنجایش دو نفر آدم و بار و بنهٔ آنها را داشته باشد. گلوله دو جدار دارد، جدار داخلی و خارجی. جدار داخلی از شیشه کلفت و جدار خارجی فولادی است. میتوان مقداری ذخیرهٔ هوای متراکم شده، خوراک فشرده، دستگاه برای تقطیر آب و لوازمات دیگر با خود برداشت. جدار فولادی از خارج تماماً با قشری از «کهوریت» پوشیده است. جدار داخلی شیشه‌ای و یکپارچه است، باستثنای دریچه آن. جدار فولادی از قسمت‌های جداگانه‌ای تشکیل یافته است که هر یک از این قسمت‌های جداگانه‌را میتوان مانند پرده باز کرد و بست. این کار را میتوان بوسیله فنرهای الکتریکی مخصوص انجام داد. پرده‌هارا میتوان بوسیله جریان برق سیمهای پلاتین که در درون جدار شیشه‌ای کشیده شده است، بالا زد و انداخت. ولی اینها دیگر جزئیات تکنیکی است. عمده مطلب در آنستکه جدار خارجی گلوله گوئی تماماً از چند پنجره و پرده‌های «کهوریتی» تشکیل شده است. وقتی همهٔ پرده‌ها کاملاً بسته است، نه نور میتواند به درون گلوله نفوذ کند، نه بطور کلی هیچ نوع انرژی اشعه‌ای و نه نیروی جاذبهٔ عمومی. اما در نظر مجسم کنید که یکی از پرده‌ها بالا زده شده است، آنوقت هر جسم بزرگی که تصادفاً در فاصله زیادی جلو این پنجره قرار گرفته باشد، مارا به سوی خود میکشد. عملاً ما میتوانیم در حالیکه گاه یک جسم آسمانی و گاه جسم دیگر مارا به سوی خود میکشد، در فضای کیهانی به هر سمتی که بخواهیم، مسافرت کنیم».

قهرمانان ولس چگونه به ماه پرواز کردند

نویسنده لحظهٔ راه افتادن واگن فضاپیما را بسیار جالب توصیف کرده است. قشر نازک «که‌وریت» سطح خارجی گلوله‌را پوشانیده و گوئی آن را بکلی بی‌وزن کرده است. شما میدانید که برای این جسم باید همان حالتی پیش بیاید که برای چوب‌پنبه‌ای که در کف دریاچه‌ای قرار دارد، پیش می‌آید. چوب‌پنبه بسرعت به سطح آب می‌آید. گلولهٔ بی‌وزن نیز که ضمناً در نتیجهٔ اینرسی چرخش کرهٔ زمین پرتاب میشود، باید، درست همینطور، به سرعت به سوی بالا به پرواز درآید و پس از آنکه به حدود انتهای اتمسفر رسید، آزادانه در فضای کیهانی به راه خود ادامه دهد. قهرمانان رمان درست همینطور پرواز خویش را آغاز کردند. پس از آنکه به فضای کیهانی رسیدند، گاه یک دریچه و گاه دریچه دیگر را باز میکردند و می‌بستند و به این وسیله گلوله را گاه تحت تأثیر نیروی جاذبهٔ خورشید و گاه زمین و گاه ماه قرار میدادند تا در سطح ماه فرود آمدند. سپس یکی از مسافران در همان گلوله به زمین برگشت.

در اینجا به بررسی اصول ایدهٔ ولس نمیپردازیم، این کار را من در جای دیگر کرده* و بی اساس بودن آن را توضیح داده‌ام. برای یک دقیقه سخنان نویسنده‌را باور میکنیم و در ماه به دنبال قهرمانان روان میشویم.

نیم ساعت در ماه

حالا ببینیم وقتی قهرمانان رمان ولس در جهانی قرار گرفتند که در آن نیروی ثقل از زمین ضعیف‌تر و کم‌تر است، چه حالتی داشتند.

چند صفحهٔ جالب از رمان «نخستین آدم‌ها در ماه» در زیر به نظر خوانندگان میرسد.** یکی از ساکنان زمین که هم اکنون به ماه آمده است، حکایت میکند:

«من به پیچاندن و باز کردن در گلوله پرداختم. روی زانو ایستادم و سرم را از دریچه بیرون آوردم. در پائین در فاصلهٔ سه پا از سرم برف‌های بکر و دست نخورده ماه‌را دیدم. که‌ور پتورا به خود پیچید و لب دریچه نشست و آهسته پاهایش را آویزان کرد. همینکه پاهایش به فاصله نیم پا از سطح ماه رسید، پس از لحظه‌ای تردید، به پائین خزید و به روی زمین جهان ماه رفت.

من از پشت جدار شیشه‌ای گلوله مراقب او بودم. او چند گام برداشت، دقیقه‌ای ایستاد و به اطراف نظر دوخت، بعد دل به دریا زد و به جلو پرید.

حرکات او از پشت شیشه دگرگون و غیر عادی دیده میشد، اما به نظر من آمد که این پرش واقعاً فوق العاده بزرگ بود. که‌ور فوراً در فاصله ۶ تا ۱۰ متر از من قرار گرفت. روی صخره‌ای ایستاده بود و با علائم و اشاراتی به من چیزی میگفت. لابد داد میزد، اما صدای او به گوش من نمیرسید... اما چگونه او چنین پرشی کرد؟

---

*«مسافرت‌های بین سیارات»

** این قسمت با برخی اختصارهای جزئی نقل شده است.

من متحیر شدم، از دریچه به بیرون آمدم و مثل او پائین رفتم و در کنار گودالی از برف قرار گرفتم. گامی به جلو برداشتم و پریدم.

حس کردم که پرواز میکنم و بزودی به نزدیک صخره‌ای رسیدم که که‌ور ایستاده و منتظر من بود. صخره را گرفتم و حیران و متعجب آویزان ماندم.

که‌ور به طرف من خم شده بود با صدای زیر و نازکی داد میزد که احتیاط کنم. من فراموش کرده بودم که در ماه شدت ثقل شش بار کمتر از زمین است. خود واقعیت این حقیقت را به من گوشزد کرد.

من در حالیکه از شدت حرکت خود جلوگیری میکردم، آهسته و با احتیاط به بالای صخره رفتم و در حالیکه مانند بیماران مبتلا به رماتیسم پا بر زمین میگذاشتم، در آفتاب پهلوی که‌ور ایستادم. گلوله در فاصله تقریباً سی پا روی تپهٔ برفی که داشت آب می‌شد، قرار داشت.

من به طرف که‌ور برگشتم و گفتم:

— نگاه کنید.

اما که‌ور غیبش زده بود.

من لحظه‌ای غرق در حیرت از این واقعهٔ غیرمنتظره ایستادم، بعد خواستم به آن سوی انتهای صخره نگاه کنم و با عجله به جلو گام برداشتم، اما بکلی از یاد برده بودم که در ماه هستم. اگر روی زمین بودم با نیروئی که به کار بردم یک متر به جلو میرفتم، اما در ماه ۶ متر جلو رفتم و به فاصلهٔ ۵ متر از انتهای صخره رسیدم.

به من چنان احساسی دست داد که وقتی آدم خواب می‌بیند که از پرتگاهی می‌افتد، به او دست میدهد. در زمین آدم هنگام سقوط در ثانیهٔ اول ۵ متر پائین می‌آید، اما در ماه در ثانیه اول سقوط فقط ۸۰ سانتیمتر. به این دلیل بود که آرام و هموار به عمق تقریباً ۹ متر پائین رفتم. سقوط به نظرم طولانی آمد، زیرا در حدود سه ثانیه طول کشید. مدتی در هوا شناور بودم و مانند پر کاهی آهسته پائین رفتم و در کف درهٔ سنگلاخی تا زانو در تپه‌ای از برف فرو رفتم. در حالیکه به اطراف نگاه میکردم، داد زدم:

— که‌ور!

اما هیچ جا اثری از او نبود. بلندتر داد زدم:

— که‌ور!

و ناگهان اورا دیدم که در فاصلهٔ بیست‌متری من روی صخرهٔ بی‌برفی ایستاده بود، می‌خندید و به من ایما و اشاره میکرد. من سخنان اورا نمیشنیدم، اما از ایما و اشاره‌اش پی بردم که میگوید به نزد او بپرم.

من شک و تردید داشتم، مسافت به نظرم فوق‌العاده زیاد می‌آمد. اما بزودی دریافتم که وقتی که‌ور توانسته است چنین پرشی بکند، پس لابد من هم میتوانم این کار را انجام دهم.

یک قدم خیز برداشتم و با تمام نیرو پریدم. مانند تیری که از کمان رها شده باشد، در هوا به پرواز درآمدم و تصور میکردم که هرگز به پائین نخواهم رسید. این یک پرش شگفت‌انگیز و خارق‌العاده مانند پرش در خواب، اما در عین حال بسیار خوشایند و مطبوع بود.

پرش بیش از حد شدید بود و من از روی سر که‌ور پریدم و رد شدم».

حادثه زیر که از داستان تسیئولکوفسکی مخترع برجستهٔ شوروی به نام «در ماه» اقتباس شده است، میتواند شرایط حرکت تحت تأثیر نیروی ثقل را برای ما روشن کند. در زمین هوا در برابر حرکت اجسام در داخل آن ممانعت بوجود می‌آورد، شرایط اضافی بر قوانین سادهٔ سقوط می‌افزاید و آنهارا مرکب و بغرنج میکند و در پرده‌ای از ابهام می‌پوشاند. در ماه هوا اصلاً نیست. اگر ما میتوانستیم به ماه برویم و در آنجا به تحقیقات علمی بپردازیم، ماه برای بررسی و آموزش سقوط اجسام آزمایشگاه بسیار خوبی بود.

قبل از بیان حادثه، توضیح میدهیم که دو نفری که در قطعه اقتباس‌شده از داستان باهم صحبت میکنند، در ماه هستند و میخواهند تحقیق و بررسی کنند و ببینند گلوله ای که در آنجا از لوله تفنگ بیرون می‌آید چگونه حرکت میکند.

«اما آیا باروت منفجر خواهد شد؟

مواد منفجره باید در خلأ حتی بهتر از هوا خصوصیت خود را نشان دهند، زیرا هوا فقط مانع انبساط آنها میشود. و اما آنچه مربوط به اکسیژن است، مواد منفجره به اکسیژن نیازی ندارند، زیرا تمام مقدار اکسیژن لازم در خود آنها هست.

— تفنگ را به حالت قائم قرار میدهیم تا پس از انفجار گلوله‌را در همین حوالی پیدا کنیم...

آتش! صدائی خفیف* به گوش رسید و لرزشی جزئی در خاک مشاهده شد.

— پس کهنهٔ روی باروت کو؟ باید اینجا، در همین نزدیکی‌ها باشد.

— کهنهٔ روی باروت با گلوله پریده است و احتمال نمیرود که از گلوله عقب بماند، زیرا در زمین فقط هوا مانع میشود که کهنه با سرعت سرب حرکت کند. در اینجا پر هم با همان سرعتی میپرد و سقوط میکند که سنگ میپرد و سقوط میکند. تو پری‌را که از بالش بیرون آمده است بردار و من گلوله چدنی را برمیدارم. تو میتوانی پررا پرتاب کنی و به همان راحتی به هدف، حتی به هدف دور، بزنی که من گلوله‌را. من میتوانم گلوله‌را، اگر زیاد سنگین نباشد، به فاصله ۴۰۰ متر پرتاب کنم، تو هم میتوانی پررا به همان فاصله بیاندازی. البته تو با پر کسی را نمیکشی و هنگام انداختن حتی حس نمیکنی که چیزی‌را می‌اندازی. بیا گلوله‌هایمان را با تمام نیرو — نیروی من و تو چندان تفاوتی باهم ندارد — به یک هدف، به آن سنگ خارای سرخ، پرتاب کنیم...

پر کمی از گلوله چدنی جلوتر پرواز کرد، گوئی بادی شدید آن‌را میبرد.

— این دیگر چیست؟ از لحظهٔ تیراندازی سه دقیقه گذشته است، اما هنوز از گلوله خبری نیست؟

— دو دقیقه هم صبر کن، گلوله حتماً برمیگردد.

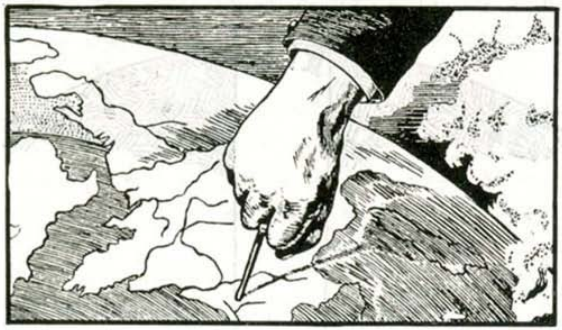
واقعاً هم پس از دو دقیقه لرزش خفیفی در زمین حس کردیم و کهنه روی باروت‌را دیدیم که در آن نزدیکی بالا و پائین میرفت.

— مدت پرواز گلوله چقدر زیاد بود! تا چه ارتفاعی باید بلند شده باشد؟

— تا ارتفاع تقریباً هفتاد کیلومتر. علت بلند شدن تا این ارتفاع ثقل کم و عدم مقاومت هوا است».

---

* صدائی که از راه خاک و بدن آدم منتقل شد، نه از راه هوا، زیرا در ماه هوا وجود ندارد.



شکل ٤٤ — اگر کرهٔ زمین‌را در امتداد قطر آن سر تا سر سوراخ کنیم...

حساب میکنیم. اگر سرعت گلوله را در لحظهٔ خروج از دهانهٔ لولهٔ تفنک ٥٠٠ متر در ثانیه (که سرعتی نسبتاً کم و تقریباً یک برابر و نیم کمتر از سرعت گلولهٔ تفنگ‌های معاصر است) فرض کنیم، ارتفاع بلند شدن گلوله در روی زمین، به شرط نبودن هوا، برابر است با:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{500^2}{2 \times 10} = 12500 \text{ متر}$$

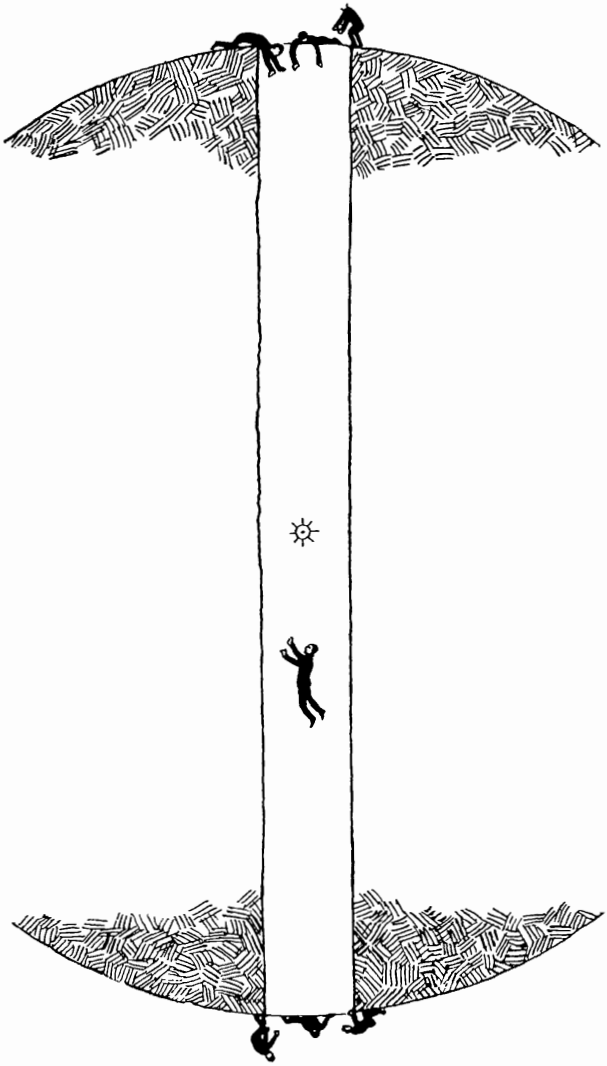
یا ١٢/٥ کیلومتر. اما در ماه که شدت ثقل شش بار کمتر است g معادل $\frac{10}{6}$ خواهد بود و ارتفاعی که گلوله تا آنجا بالا رفته، باید معادل ٦ × ١٢٥٠٠ یعنی ٧٥ کیلومتر باشد.

در چاه بی‌ته

هنوز ما از آنچه در اعماق زمین روی میدهد، اطلاعات بسیار ناچیزی داریم. برخی معتقدند که در زیر قشر جامد روی زمین به ضخامت صد کیلومتر، تودهٔ مایع مذابی وجود دارد، برخی دیگر برآنند که تمام کره زمین تا مرکز آن جامد است. حل این مسأله دشوار است، زیرا عمق گودترین چاه ٧/٥ کیلومتر است و عمیق‌ترین چاه معدنی که انسان به ته آن رفته است، در عمق ٣٣٠٠ متر قرار دارد*، در صورتیکه شعاع کره زمین مساوی ٦٤٠٠ کیلومتر است. اگر ممکن میشد چاهی حفر کنیم که از مرکز کره زمین گذشته و سرتاسر آن را قطع کند، آنوقت اینگونه مسائل حل میشدند. تکنیک معاصر هنوز از امکان اجرای اینگونه اقدامات بسیار دور است، گرچه طول تمام چاههائی که در قشر زمین حفر شده است رویهمرفته از قطر کره زمین بیشتر است.

---

* معدن طلا در بوکسبورگ (ترانسوال، افریقای جنوبی)، ضمناً دهانه چاه در ارتفاع ١٦٠٠ متر بالای سطح دریا قرار دارد، یعنی عمق چاه از سطح دریا ١٧٠٠ متر است (هیأت تحریریه).



شکل ٥٤ — آدمی که در چاهی بیفتد که سر تا سر کرهٔ زمین را قطع کرده و از مرکز آن میگذرد، بدون توقف از یک دهانهٔ چاه به دهانهٔ دیگر خواهد رفت و برخواهد گشت و هر رفت و آمد کامل او یک ساعت و ٢٤ دقیقه طول خواهد کشید.

موپرتوئی ریاضی‌دان و ولتر فیلسوف فرانسوی در قرن ۱۸ میلادی آرزوی حفر چاهی‌را داشتند که از مرکز کرهٔ زمین گذشته و سرتاسر آن را قطع کند. فلاماریون منجم فرانسوی نیز دو باره این موضوع را مطرح ساخت، البته با مقیاس کوچکتری. ما شکل سرلوحهٔ مقالهٔ او را که به این موضوع اختصاص داده شده بود، در اینجا چاپ میکنیم (شکل ٤٤).

البته تاکنون چنین ایده‌ای عملی نشده است. اما از چاه بی‌ته خیالی برای بررسی یک مسألهٔ جالب استفاده میکنیم. چه فکر میکنید، اگر شما در این چاه بی‌ته می‌افتادید، چه به سرتان می‌آمد (موقتاً مقاومت هوا را فراموش میکنیم)؟ شما نمیتوانید به ته این چاه بخورید و صدمه ببینید، زیرا تهی وجود ندارد. اما در کجا متوقف خواهید شد؟

در مرکز زمین؟ نه.

وقتی به مرکز زمین برسید، بدن شما چنان سرعت سرسام‌آوری (در حدود ۸ کیلومتر در ثانیه) خواهد داشت که اصلاً فکر توقف در این نقطه‌را نباید کرد. شما باز هم به سرعت حرکت خواهید کرد، البته بتدریج سرعت حرکتتان کاهش خواهد یافت، و آنقدر خواهید رفت تا به دهانهٔ چاه در آن سوی زمین برسید. در اینجا باید محکم به لبه چاه بچسبید، و الا باز گردش خودرا در تمام چاه تا انتهای دیگر آن تکرار خواهید کرد. اگر آنجا هم نتوانید چیزی را محکم بگیرید، از نو به چاه سرازیر میشوید و تا ابد این حرکت را تکرار خواهید کرد. علم مکانیک می‌آموزد که در این شرایط (باز هم تکرار میکنم، فقط به شرطی که مقاومت هوا را در چاه در نظر نگیریم) بدن باید حرکت از یک دهانهٔ چاه به دهانهٔ دیگر را تا ابد ادامه دهد*.

آیا یک بار حرکت از یک دهانهٔ چاه تا دهانهٔ دیگر آن و مراجعت به نقطهٔ اولیه چقدر به طول می‌انجامید؟ معلوم میشود تمام راه رفتن و برگشتن ۸٤ دقیقه و ۲٤ ثانیه، یعنی در حدود یک ساعت و نیم طول میکشید.

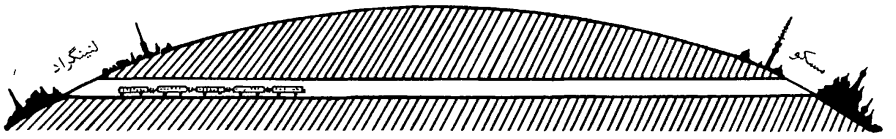
فلاماریون سپس میگوید:

«اگر چاه در طول محور زمین از یک قطب به قطب دیگر حفر شده بود، جریان به این شکل صورت میگرفت. اما کافی است که نقطه شروع حرکت را به عرض جغرافیائی دیگر، در اروپا، آسیا یا افریقا، منتقل کنیم، آنوقت باید حرکت وضعی زمین را نیز به حساب بیاوریم. معلوم است که هر نقطهٔ سطح زمین در روی خط استوا در هر ثانیه ٤٦٥ متر و در عرض جغرافیائی پاریس ۳۰۰ متر حرکت میکند. از آنجا که هر چه از محور دوران دور بشویم سرعت محیطی افزایش می‌یابد، پس مثلاً گلوله سربی‌را که در چاه بیاندازیم، روی خط قائم سقوط نمیکند، بلکه قدری به طرف خاور منحرف میشود. اگر چاه بی‌ته را روی خط استوا حفر کنیم، یا باید عرض آن بسیار زیاد و یا خود چاه به میزان زیادی کج باشد، زیرا جسمی که از سطح زمین سقوط کند به سوی خاور میرود و از مرکز زمین خیلی دور میشود.

اگر دهانهٔ ورودی چاه دریکی از فلات‌های امریکای جنوبی در ارتفاع مثلا دو کیلومتر از سطح دریا و دهانه مقابل آن در ارتفاع هم‌سطح دریا باشد، آنوقت آدمی که در نتیجهٔ بی‌احتیاطی

---

* وقتی مقاومت هوا وجود داشته باشد، حرکت نوسانی بتدریج تخفیف می‌یابد و بالاخره کار به جائی میرسد که آدم در مرکز زمین متوقف میشود.



شکل ٤٦ — اگر میان لنینگراد و مسکو تونل حفر میکردیم، قطارها بدون لکوموتیو، فقط در نتیجهٔ وزن خود میرفتند و برمیگشتند.

به دهانهٔ واقع در امریکا بیفتد. با چنان سرعتی به دهانهٔ مقابل میرسد که‌از آن دهانه بیرون می‌پرد و تا ارتفاع دو کیلومتر بالا میرود.

اما اگر هر دو دهانهٔ چاه در ارتفاع سطح اقیانوس باشند وقتی که آن آدم به دهانهٔ چاه میرسد و سرعتش مساوی صفر است، میتوان دستش را گرفت. اما در مورد اول باید احتیاط کرد و از مسیر مسافری که با سرعت فوق‌العاده زیاد در حرکت است، دور شد».

راه افسانوی

زمانی در پتربورگ جزوه‌ای با نام عجیب «راه آهن خودرو بین پتربورگ و مسکو. رمان تخیلی در سه فصل، آنهم نا تمام» انتشار یافت. رودنیخ مؤلف این جزوه طرح جالبی پیشنهاد میکند که آشنائی با آن برای دوستداران مسائل خارق‌العادهٔ فیزیکی بیفایده نیست.

این طرح عبارت است از «کشیدن یک تونل ٦٠٠ کیلومتری که باید دو پایتخت ما را با یک خط زیرزمینی کاملاً مستقیم به یکدیگر وصل کند. بدین ترتیب برای نخستین بار انسان‌ها امکان می‌یافتند روی خط مستقیم راه بپیمایند، نه آنطور که تا کنون بوده است از راههای کج بروند». (مؤلف میخواهد بگوید که همه راههای ما به تبعیت از انحاء سطح زمین در امتداد قوس کشیده شده‌اند در صورتیکه این تونل طرح شده در امتداد خط مستقیم، یعنی وتر میگذرد).

اگر ممکن میشد چنین تونلی احداث کرد، این تونل خصوصیت حیرت‌انگیزی داشت که هیچ راهی در جهان ندارد. این خصوصیت عبارت از آنستکه هر کالسکه‌ای در آن تونل باید خود بخود حرکت کند. چاهی را که در بالا شرح آن رفت و سرتاسر کرهٔ زمین را قطع میکند، به یاد بیاورید. تونل میان لنینگراد و مسکو همان چاه است، فقط نه در طول قطر، بلکه در طول وتر حفر شده است. البته وقتی به شکل ٤٦ نگاه کنیم ممکن است به نظر بیاید که تونل بطور افقی حفر شده و در نتیجه دلیلی وجود ندارد که قطار تحت تأثیر نیروی ثقل حرکت کند. اما این فقط خطای باصره است. شعاع هائی‌را که به دو انتهای تونل وصل میشود در نظر مجسم کنید (امتداد شعاع امتداد خط قائم است). آنوقت می‌فهمید که تونل تحت زاویهٔ قائمه نسبت به خط قائم حفر نشده، پس افقی نیست، بلکه مایل است.

در چنین چاه مایلی هر جسمی باید تحت تأثیر نیروی ثقل به جلو و عقب بغلتد و همیشه به کف تونل بچسبد. اگر در تونل ریل گذاری بکنیم، واگن راه‌آهن خود بخود روی ریل‌حرکت خواهد

کرد. وزن واگن کار نیروی کشش لکوموتیو را میکند. در ابتدا قطار بسیار آهسته حرکت خواهد کرد. سرعت قطار خودرو ثانیه به ثانیه افزایش خواهد یافت و پس از اندک زمانی فوق‌العاده زیاد خواهد شد، بطوری که هوای داخل تونل تا حد قابل ملاحظه‌ای مانع حرکت قطار بشود. اما این مانع تأسف‌آور را که اجرای بسیاری از طرح‌های فریبارا دشوار میسازد، موقتاً از یاد می‌بریم و حرکت بعدی قطار را تعقیب میکنیم. وقتی قطار به وسط تونل برسد، چنان سرعت سرسام‌آوری خواهد داشت — بمراتب بیش از سرعت گلوله توپ! — که در نتیجهٔ آن بتواند تقریباً تا انتهای دیگر تونل برود. اگر اصطکاک وجود نمیداشت، این «تقریباً» هم نبود و قطار، بدون لکوموتیو، خودش از لنینگراد به مسکو میرفت. بطوریکه محاسبه نشان میدهد — همان محاسبه‌ای که برای سقوط در چاه در امتداد قطر کردیم — مدت حرکت قطار از لنینگراد به مسکو ۴۲ دقیقه و ۱۲ ثانیه خواهد بود. عجیب است که این مدت به طول تونل بستگی ندارد، مدت مسافرت در تونل مسکو — لنینگراد، مسکو — ولادی‌وستوک و مسکو — ملبورن هر سه بیک اندازه خواهد بود*. هر وسیلهٔ نقلیهٔ دیگری هم که باشد — چه درزین و چه اتومبیل و غیره — همین عمل صورت خواهد گرفت. این راه واقعاً راهی است افسانوی که خودش بی‌حرکت میماند و وسائل نقلیه را از یک انتها به انتهای دیگر خود به حرکت درمی‌آورد، آنهم با سرعت غیر قابل تصور!

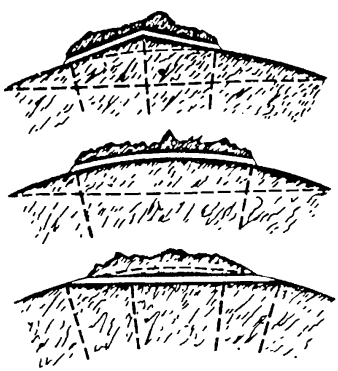
تونل ها را چگونه حفر میکنند؟

به شکل ۴۷ که در آن سه طریقهٔ کشیدن تونل نشان داده شده، نگاه کنید و بگوئید که کدام یک از آنها افقی حفر شده است؟

نه بالائی و نه پائینی، بلکه وسطی که قوسی شکل است و در تمام نقاط با امتداد خطوط قائم (یا شعاع های زمین) زاویهٔ قائمه تشکیل میدهد. این همان تونل افقی است و انحنائ آن با انحنائ سطح زمین کاملاً یکسان است.

تونل‌های بزرگ را معمولا طوری که در بالا نشان داده شده است، حفر میکنند، یعنی در امتداد خطوط مستقیم مماس به سطح زمین در دو نقطهٔ انتهائی تونل. اینگونه تونل ابتدا کمی سربالا و سپس سرازیر است. حسن این نوع تونل آنستکه آب در آن نمی‌ایستد، بلکه خود بخود به دو انتهای تونل جاری میشود.

اگر تونل را کاملاً افقی حفر کنند، تونل‌های بزرگ قوسی شکل خواهند بود. آب از آنها به خارج جاری نخواهد شد، زیرا در هر نقطه در حال تعادل قرار خواهد داشت. وقتی طول چنین تونلی بیش از ۱۰ کیلومتر باشد



شکل ۴۷ — سه طریقهٔ کشیدن تونل از زیر کوه.

* قانون دیگر مربوط به چاههای بی‌ته را که از این نیز جالب‌تر است، میتوان ثابت کرد: مدت حرکت به بزرگی و کوچکی سیاره بستگی ندارد، بلکه بسته به تراکم یا جرم مخصوص آن است.

(مثلاً طول تونل سیمپلون ۲۰ کیلومتر است)، وقتی در یک دهانهٔ آن بایستیم دهانه دیگر دیده نمیشود. شعاع دید به سقف برمیخورد، زیرا نقطهٔ وسطی چنین تونلی بیش از چهار متر بالاتر از نقاط انتهائی آن است.

بالاخره اگر تونل را روی خط مستقیمی حفر کنیم که دو نقطه انتهائی آن را به یکدیگر وصل میکند، تونل از دو دهانه به طرف مرکز آن کمی سرازیر خواهد بود. آنوقت، آب نه اینکه از تونل به خارج جریان نخواهد یافت، بلکه برعکس، در وسط، در پائین‌ترین نقطه جمع خواهد شد. در عوض اگر در یکی از دهانه‌های چنین تونلی بایستیم میتوانیم دهانهٔ دیگر آن را ببینیم. شکل‌های صفحه ۷۷ به روشن شدن آنچه گفته شد کمک میکنند*.

---

* ضمناً از آنچه گفته شد نتیجه میشود که کلیهٔ خطوط افقی منحنی هستند و خط افقی مستقیم نمیتواند وجود داشته باشد. خطوط قائم، برعکس، فقط میتوانند مستقیم باشند.

فصل پنجم

مسافرت در داخل گلوله توپ

در پایان صحبت از قوانین حرکت و نیروی جاذبه، آن مسافرت تخیلی به کرهٔ ماه را که در رمان‌های ژول ورن «از زمین به ماه» و «به دور ماه» چنان جالب و دلچسب توصیف شده است، مورد بررسی قرار میدهیم. البته خوانندگان گرامی میدانند که اعضای باشگاه «توپ» در بالتیمور پس از آنکه در نتیجهٔ پایان جنگ امریکای شمالی از فعالیت محروم شدند، تصمیم گرفتند توپ کوه‌پیکری بسازند، یک گلولهٔ عظیم توخالی در درون آن بگذارند، چند نفر سرنشین در داخل گلوله بنشانند و گلوله را بوسیلهٔ تیراندازی به ماه بفرستند.

آیا این فکر خیالبافی است؟ و قبل از هر چیز، آیا میتوان به جسم چنان سرعتی داد که سطح زمین را ترک کند و دیگر برنگردد؟

کوه نیوتن

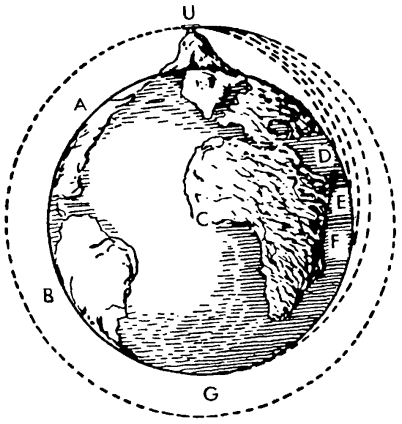
رشته سخن را به نیوتن نابغه و کشف قانون جاذبهٔ عمومی میسپاریم. او در اثر خود «اصول ریاضی فیزیک» می‌نویسد *:

«سنگ‌را که پرتاب کنیم تحت تأثیر ثقل از مسیر مستقیم منحرف میشود، قوسی را می‌پیماید و روی زمین می‌افتد. اگر سنگ را با سرعت بیشتری پرتاب کنیم، مسافت زیادتری را می‌پیماید. به این دلیل ممکن است سنگ قوسی به طول ده، صد، هزار میل بپیماید و بالاخره از حدود زمین خارج شود و دیگر به روی زمین برنگردد. فرض میکنیم AFB (شکل ٤٨) سطح زمین و C مرکز آن باشد، UD، UE، UF و UG خطوط منحنی‌ای باشند که جسمی که از روی کوه بسیار بلندی در امتداد خط افقی و با سرعت‌های یکی بیش از دیگری پرتاب شده است، می‌پیماید. واکنش جو را در نظر نمیگیریم، یعنی فرض میکنیم که جو اصلاً وجود ندارد. وقتی سرعت اولیه کم باشد، جسم قوس UD را می‌پیماید، با سرعت بیشتر قوس UE و با سرعت‌های باز هم بیشتر قوس‌های UF و UG را می‌پیماید. وقتی سرعت به میزان معینی برسد جسم به دور زمین دور میزند و به قلهٔ همان کوهی برمیگردد که از آنجا پرتاب شده است. چون وقتی جسم به نقطهٔ اولیه برمیگردد سرعت آن کمتر از

* این قسمت برای آنکه فهم آن آسان تر باشد، بطور آزاد ترجمه شده است. (پرلمان)

سرعت در لحظهٔ اول نیست ، پس جسم باز هم به حرکت خود در روی همان خط منحنی ادامه خواهد داد » .

اگر روی این کوه فرضی توپی باشد ، گلوله‌ای که با آن با سرعت معینی پرتاب شود ، دیگر هرگز دو باره روی زمین نمی‌افتد و بدون توقف به دور کرهٔ زمین میگردد . با یک محاسبهٔ ساده * میتوان به آسانی تعیین کرد که این حالت زمانی پیش می‌آید که سرعت در حدود ۸ کیلومتر در ثانیه باشد . بعبارت دیگر گلوله‌ای که با سرعت ۸ کیلومتر در ثانیه با توپ پرتاب شود ، برای همیشه سطح زمین را ترک میکند و به صورت ماهوارهٔ سیارهٔ ما درمی‌آید . این گلوله با سرعت ۱۷ بار بیشتر از هر نقطه روی خط استوا حرکت خواهد کرد و در مدت یک ساعت و ۲۴ دقیقه یک دور کامل به دور کرهٔ زمین خواهد زد . اگر به گلوله سرعت بیشتری بدهیم ، به فاصله بسیار زیادی از زمین دور میشود و دیگر نه روی محیط دایره ، بلکه روی محیط بیضی کم و بیش کشیده‌ای میگردد . اگر سرعت اولیه گلوله باز هم بیشتر باشد ، گلوله برای همیشه از سیارهٔ ما دور میشود و به فضای کیهانی میرود . این حالت باید زمانی پیش بیاید که سرعت اولیهٔ گلوله در حدود ۱۱ کیلومتر در ثانیه باشد . (در کلیه این مباحث صحبت از گلوله‌هائی است که در فضای بدون هوا ، یعنی در خلأ حرکت کنند ، نه در داخل هوا) .



شکل ۴۸ — سنگ‌هائی که از قلهٔ کوه با سرعت بسیار زیاد در امتداد خط افقی پرتاب شوند، چگونه باید سقوط کنند.

حالا ببینیم آیا میشود با آن وسائلی که ژول ورن پیشنهاد کرده است ، پرواز به ماه را عملی کرد. توپ‌های معاصر به گلوله در نخستین ثانیه سرعتی بیش از دو کیلومتر نمیدهند . این ۵ بار کمتر از سرعتی است که جسم میتواند با آن سرعت به ماه پرواز کند . قهرمانان رمان خیال میکردند که اگر توپ کوه‌پیکری بسازند و آن را با مقدار بسیار زیادی مواد منفجره پر کنند ، میتوانند سرعت لازم برای فرستادن گلوله به ماه را به دست بیاورند .

توپ تخیلی

بالاخره اعضای باشگاه « توپ » موفق شدند توپ عظیمی به طول یک چهارم کیلومتر که بطور قائم در زمین فرو رفته و کار گذاشته شده بود ، بریزند . گلولهٔ عظیمی متناسب با آن نیز ساختند که داخلش اطاقی برای سرنشینان بود . وزن گلوله ۸ تن بود . توپ را با ۱۶۰ تن باروت پنبه‌ای —

* به « فیزیک برای سرگرمی » کتاب اول ، فصل دوم مراجعه کنید .

باروت بی‌دود — پر کردند. گلوله در اثر انفجار باروت، اگر گفته نویسنده را باور کنیم، سرعتی معادل ۱۶ کیلومتر در ثانیه کسب کرد، اما در نتیجهٔ اصطکاک گلوله با هوا این سرعت تا حدود ۱۱ کیلومتر در ثانیه تقلیل یافت. بدین ترتیب گلوله ژول ورن پس از آنکه به خارج از حدود جو رسید دارای سرعت کافی برای پرواز تا ماه بود.

در رمان چنین توصیف میشود. اما فیزیک در این مورد چه میتواند بگوید؟

طرح ژول ورن خدشه‌دار است، اما نه در آن جائی که معمولا مورد شک و تردید خوانندگان قرار میگیرد. اولا — میتوان ثابت کرد که (من این مطلب را در کتاب «مسافرت‌های بین کرات» ثابت کرده‌ام) توپ‌های باروتی هرگز نمیتوانند به گلوله سرعتی بیش از ۳ کیلومتر در ثانیه بدهند.

بعلاوه، ژول ورن مقاومت هوا را که در اینگونه سرعت‌های بسیار زیاد فوق‌العاده زیاد است و منظرهٔ پرواز را بکلی تغییر میدهد، آنطور که باید به حساب نیاورده است. علاوه بر این علیه طرح پرواز به ماه در داخل گلولهٔ توپ اعتراضات جدی وجود دارد.

ترس و بیم اصلی و اساسی از سرنوشت خود سرنشینان گلوله است. خیال نکنید که در مدت پرواز از زمین تا ماه خطری آنهارا تهدید میکند. اگر آنها میتوانستند تا لحظهٔ خروج از دهانهٔ لولهٔ توپ زنده بمانند، در بقیهٔ مدت مسافرت دیگر خطری وجود نداشت که باعث ترس و بیم آنها باشد. سرعت فوق‌العاده زیادی که مسافران با گلولهٔ توپ خود در فضای کیهانی پرواز خواهند کرد، برای آنها به همان اندازه بی‌زیان و بی‌خطر است که برای ما ساکنان کرهٔ ارض سرعت بمراتب بیشتر حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، بی‌زیان و بی‌خطر میباشد.

کلاه سنگین

خطرناک‌ترین لحظه برای مسافران ما آن چند صدم ثانیه است که اطاق آنها، یعنی گلوله در داخل لولهٔ توپ حرکت میکند. زیرا در این مدت فوق‌العاده کم سرعتی که سرنشینان گلوله در داخل لولهٔ توپ حرکت خواهند کرد، باید از صفر به ۱۶ کیلومتر در ثانیه برسد! بیهوده نیست که در رمان سرنشینان گلوله با آنهمه ترس و لرز در انتظار لحظهٔ تیراندازی بودند. باریکن کاملا حق داشت که میگفت لحظه‌ای که گلوله به پرواز درمی‌آید، برای سرنشینان درست به اندازهٔ آنکه آنها نه در داخل گلوله بلکه در جلو آن باشند، خطرناک خواهد بود. واقعاً هم در لحظهٔ تیراندازی سطح پائینی اطاق به سرنشینان از پائین با همان شدتی ضربه وارد می‌آورد که گلوله به کلیهٔ اجسامی که سر راهش قرار داشته باشند، اصابت خواهد کرد. قهرمانان رمان این خطر را فوق‌العاده ناچیز گرفتند، زیرا تصور میکردند که در بدترین حالت فقط خون به سرشان خواهد زد و بس...

قضیه جدی تر از اینها است. گلوله در داخل لولهٔ توپ با شتاب حرکت میکند، سرعت آن تحت تأثیر فشار مداوم گازهائی که هنگام انفجار تولید میشود، افزایش می‌یابد. این سرعت طی چند صدم ثانیه از صفر به ۱۶ کیلومتر در ثانیه میرسد. برای ساده شدن مسأله فرض میکنیم که سرعت بطور یکنواخت افزایش بیابد. آنوقت شتابی که لازم است تا در این مدت فوق‌العاده کم سرعت گلوله را به ۱۶ کیلومتر در ثانیه برساند، در حدود ۲۰۰ کیلومتر در ثانیه بر ثانیه میباشد (حساب این شتاب در صفحات ۸۳ — ۸۴ شده است).

اگر به یاد بیاوریم که شتاب معمولی نیروی ثقل در سطح زمین ۱۰ متر در ثانیه بر ثانیه میباشد *، آنوقت نتایج فلاکت بار این ارقام را بخوبی می‌فهمیم . از اینجا نتیجه میشود که هر جسم داخل گلوله در لحظهٔ تیراندازی فشاری به اندازهٔ ۶۰۰۰۰ برابر وزن خود بر کف گلوله وارد می‌آورد . بعبارت دیگر مسافران حس خواهند کرد که گوئی وزنشان دهها هزار برابر شده است ! آنها در زیر چنین فشار غیر قابل تصور زیادی آنآ له میشدند . در لحظهٔ تیراندازی وزن فقط سیلندر مستر باریکن بیش از ۱۵ تن (وزن یک واگن پر از آب) میشد ، چنین کلاهی بمراتب سنگین‌تر از آن است که برای له کردن صاحب خود کافی باشد .

البته در زمان تدابیری که برای تخفیف ضربت اتخاذ گردیده بود ، توصیف شده است : گلوله به ضربه‌گیرهای فنری مجهز است و دو کف دارد که فضای میان آنها از آب پر شده است . در نتیجهٔ این تدابیر مدت ضربت قدری افزایش می‌یابد و بنا بر این سرعت با شدت کمتری زیاد میشود . اما سود اینگونه اسباب و وسائل در برابر نیروهای عظیمی که در اینجا با آن سر و کار داریم ، بسیار ناچیز است . نیروئی که سرنشینان را به کف گلوله میفشارد ، به میزان ناچیزی کم میشود ، اما چه تفاوت دارد که کلاه ۱۵ تنی مارا له کند ، یا کلاه ۱۴ تنی ؟ !

چگونه باید ضربه را ضعیف کرد ؟

مکانیک راه تقلیل شدت فلاکت بار افزایش سرعت را به ما می‌آموزد .

اگر طول لولهٔ توپ را چندین برابر کنیم ، میتوانیم به این مقصود نائل آئیم .

اما اگر بخواهیم که در لحظهٔ تیراندازی نیروی ثقل «مصنوعی» در داخل گلوله با ثقل معمولی در کرهٔ زمین برابر باشد ، باید طول لولهٔ توپ را فوق‌العاده زیادتر کنیم . حساب تقریبی نشان میدهد که برای نیل به این مقصود میبایست توپی به طول ۶۰۰۰ کیلومتر تمام بسازیم ! بعبارت دیگر توپ «کلومبیاد» ژول ورن میبایست در اعماق زمین درست تا مرکز آن استداد بیابد ... آنوقت ممکن بود سرنشینان از هر حادثهٔ ناگواری در امان باشند : در نتیجه افزایش تدریجی سرعت فقط یک وزن تصوری بر وزن معمولی آنها اضافه میشد و آنها فقط حس میکردند که گوئی دو بار سنگین‌تر شده‌اند .

اما ارگانیسم انسان قادر است در مدت کوتاهی بدون آنکه آسیبی ببیند ، افزایش وزن خود را تا چند برابر وزن معمولی تحمل کند . وقتی از تپهٔ یخی به پائین سر میخوریم و ضمن سر خوردن سمت حرکت خود را به سرعت تغییر میدهیم ، در این لحظهٔ کوتاه وزنمان به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش مییابد ، یعنی بدنمان شدیدتر از معمول به سورتمه می‌چسبد . ما میتوانیم افزایش ثقل را در حدود ۳ برابر وزن معمولی بدون صدمه تحمل کنیم . اگر فرض کنیم که انسان میتواند در مدت کوتاهی افزایش وزن را حتی تا ۱۰ برابر وزن معمولی خود بدون صدمه‌ای تحمل کند ، آنوقت کافی است توپی

---

* بعلاوه ، یادآور میشوم که شتاب اتوبیل کورسی وقتی شروع به حرکت سریع میکند ، بیش از ۲ — ۳ متر در ثانیه بر ثانیه ، و شتاب قطاری که به آرامی از ایستگاه راه می‌افتد ، بیش از یک متر در ثانیه بر ثانیه نیست .

به طول «فقط» ۶۰۰ کیلومتر بریزیم. اما این نیز چندان سبب آرامش خاطر نمیشود، زیرا ساختن چنین بنائی نیز خارج از حدود امکانات تکنیکی است.

فقط در این شرایط است که طرح فریبای ژول ورن برای پرواز در داخل گلولهٔ توپ به ماه میتواند در عالم خیال جامه عمل بپوشد *.

برای دوستداران ریاضیات

بدون شک در میان خوانندگان این کتاب کسانی یافت میشوند که مایلند خودشان حساب‌هائی را که در بالا به آن اشاره شد، امتحان کنند. حالا این حساب ها را میکنیم. این حساب‌ها تقریباً صحیح است، زیرا بر اساس این فرض صورت گرفته است که گلوله در داخل لولهٔ توپ با شتاب یکنواخت حرکت میکند، در صورتیکه واقعاً افزایش سرعت بطور غیر یکنواخت صورت میگیرد.

برای حساب باید از دو فرمول حرکت با شتاب یکنواخت استفاده کرد:

سرعت v پس از پایان ثانیهٔ t – ام مساوی است به at و a شتاب است یعنی:

$$v = at$$

راه S که طی t ثانیه پیموده شده از روی فرمول زیر تعیین میشود:

$$S = \frac{at^2}{2}$$

از روی این فرمول‌ها قبل از هر چیز شتاب گلوله را هنگام حرکت در داخل لولهٔ توپ تعیین میکنیم.

از روی رمان آن قسمت از لولهٔ توپ که در آن باروت نیست، معلوم و مساوی ۲۱۰ متر است. و این همان راه S است که گلوله پیموده است.

سرعت گلوله در انتهای لوله‌را نیز میدانیم یعنی v مساوی است به ۱۶۰۰۰ متر در ثانیه. از روی دو معلوم S و v میتوان t یعنی مدت حرکت گلوله در داخل لوله را تعیین کرد (حرکت را حرکت با شتاب یکنواخت فرض میکنیم).

---

* ژول ورن در رمان خود ضمن توصیف شرایط زندگی در داخل گلولهٔ در حال پرواز یک مطلب اساسی را از نظر دور داشت. در کتاب اول «فیزیک برای سرگرمی» این فروگذاری مفصلاً توضیح داده شده است. او به حساب نیاورده بود که پس از تیراندازی در تمام مدت پرواز، اجسام داخل گلوله بکلی بی‌وزن خواهند بود، زیرا نیروی جاذبه به گلوله و به تمام اجسام داخل آن سرعت یکسانی میدهد. (همچنین به قسمت «فصلی که رمان ژول ورن کم دارد» در صفحات بعدی مراجعه کنید).

$$S = ۲۱۰ = \frac{at \times t}{۲} = \frac{۱۶۰۰۰\, t}{۲} = ۸۰۰۰\, t \quad و \quad v = at = ۱۶۰۰۰$$

بنابر این

$$t = \frac{۲۱۰}{۸۰۰۰}$$ یعنی در حدود $\frac{۱}{۴۰}$ ثانیه .

معلوم میشود گلوله در داخل لوله فقط $\frac{۱}{۴۰}$ ثانیه حرکت میکرده است ! اگر در فرمول $v=at$ بجای t معادل آن یعنی $\frac{۱}{۴۰}$ ثانیه را بگذاریم خواهیم داشت :

$a \frac{۱}{۴۰} = ۱۶۰۰۰$ یعنی a مساوی است به ۶۴۰۰۰۰ متر در ثانیه بر ثانیه .

بنا بر این شتاب گلوله هنگام حرکت در داخل لوله مساوی ۶۴۰۰۰۰ متر در ثانیه بر ثانیه ، یعنی ۶۴۰۰۰ بار بیشتر از شتاب نیروی ثقل بوده است !

طول لولهٔ توپ باید چقدر باشد تا شتاب گلوله فقط ۱۰ بار بیش از شتاب جسم در حال سقوط آزاد (یعنی مساوی ۱۰۰ متر در ثانیه بر ثانیه) باشد ؟

این مسأله عکس مسأله‌ای است که هم اکنون حل کردیم . معلومات عبارتند از : a مساوی ۱۰۰ متر در ثانیه بر ثانیه و v مساوی ۱۱۰۰۰ متر در ثانیه است (اگر مقاومت هوا وجود نداشته باشد ، این سرعت کافی است) .

از فرمول $v=at$ خواهیم داشت : $۱۰۰\, t = ۱۱۰۰۰$ بنابر این t مساوی است به ۱۱۰ ثانیه.

از روی فرمول $S = \frac{at^۲}{۲} = at \times \frac{t}{۲}$ حاصل میشود که طول لولهٔ توپ باید مساوی باشد با

$$\frac{۱۱۰۰۰ \times ۱۱۰}{۲} = ۶۰۵۰۰۰$$ متر یعنی در حدود ۶۰۰ کیلومتر .

با این حساب‌ها ارقامی بدست آمدند که نقشه‌های فریبای قهرمانان ژول ورن را نقش بر آب میکند .*

---

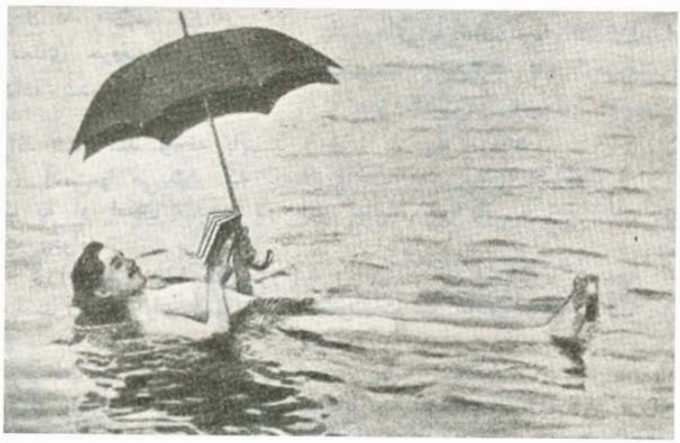
* کلیه احکام و قضاوت‌های این فصل صحیح است، و اما در باره اینکه مسألهٔ پروازهای فضائی عملاً چگونه حل میشود ، خوانندگان میتوانند از مطبوعات سال های اخیر اطلاعاتی بدست بیاورند (هیأت تحریریه) .

فصل ششم

خصوصیات مایعات و گازها

دریائی که در آن نمیتوان غرق شد

چنین دریائی در کشوری که از زمان‌های بسیار قدیم برای بشریت معلوم بوده است، وجود دارد. این دریا بحر المیت یا بحر لوت در فلسطین است که معروفیت بسزائی دارد. آب آن فوق‌العاده شور است، بقدری شور که هیچ موجود جانداری نمیتواند در آن زندگی کند. آب سطح دریا در اثر هوای داغ و سوزان و بی‌باران فلسطین بشدت بخار میشود. اما فقط آب خالص بخار میشود، نمک‌های محلول در آب دریا میمانند و آب را باز هم شورتر میکنند. در حالیکه آب اکثر دریاها و اقیانوس‌های جهان حاوی ۲ یا ۳ درصد (از لحاظ وزن) نمک میباشد، ۲۷ درصد آب بحر لوت نمک است و در اعماق زیاد میزان نمک از این هم بیشتر است. بدین ترتیب یک چهارم محتوی بحر لوت را نمک‌هائی تشکیل میدهد که در آب آن حل شده است. مجموع نمک های بحر لوت را ۴۰ میلیون تن تخمین زده‌اند.



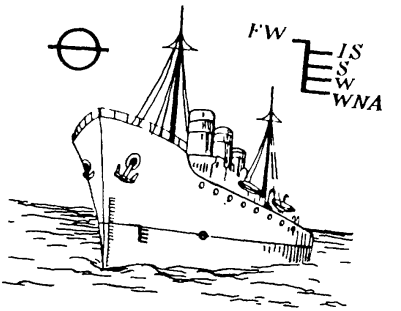
شکل ۴۹ — آدم در سطح بحر لوت (از روی عکس).

بیش از حد شور بودن آب بحر لوت خصوصیتی برای این دریا تولید کرده است و آن اینکه آب بحر لوت به میزان قابل ملاحظه‌ای از آب معمولی دریا سنگین تر است. در چنین آب سنگینی نمیتوان غرق شد، زیرا بدن آدم از آن سبک‌تر است.

وزن بدن ما بمیزان قابل ملاحظه‌ای از آب بسیار شور هم‌حجم آن سبک‌تر است. بنا بر این طبق قانون اجسام شناور آدم نمیتواند در بحر لوت غرق شود. همانطور که تخم مرغ که در آب شیرین زیر آب میرود و در آب شور روی آب می‌ماند، آدم هم در بحر لوت روی آب می‌ماند.

مارک تواین فکاهی‌نویس معروف که به بحر لوت رفته بود، جزئیات آنچه را که وی و همراهانش هنگام آبتنی در آب‌های سنگین این دریا — دریاچه حس میکرده‌اند، بسیار خنده‌دار شرح میدهد:

«این یک آبتنی جالب و خنده‌دار بود! ما نمیتوانستیم زیر آب برویم. اینجا میشود روی آب کاملاً دراز کشید، به پشت خوابید و دست‌ها را روی سینه گذاشت، ضمناً بیشتر بدن روی آب خواهد ماند. در این حالت میتوان سر را کاملاً بلند کرد... شما میتوانید کاملاً راحت به پشت بخوابید، زانوهایتان را بلند کنید، نزدیک چانهٔ خود بیاورید و با دست بگیرید، اما پس از اندک زمانی برمیگردید، زیرا سرتان سنگینی میکند و تعادلش را از دست میدهد. میتوانید روی سر راست بایستید و ار وسط سینه تا پنجهٔ پایتان بالای آب خواهید ماند، اما نمیتوانید مدت زیادی این حالت را حفظ کنید. نمیتوانید به پشت شنا کنید و بطور محسوسی به جلو بروید، زیرا پاهایتان از آب بیرون میماند و مجبورید فقط با پاشنه‌های پا شنا کنید و جلو بروید. اگر روی شکم شنا کنید، به عقب حرکت خواهید کرد، نه به جلو. اسب در بحر لوت بقدری تعادلش نااستوار است که نه میتواند شنا کند و نه بایستد و فوراً به پهلو میغلتد».



شکل ۵۰ — علامت میزان بارگیری روی بدنهٔ کشتی. این علامت‌ها با خط فلوتاسیون در یک سطح رسم میشوند. برای آنکه بهتر دیده شود، در عکس بطور جداگانه و با مقیاس بزرگتر رسم کرده‌ایم. معنای حروف در متن توضیح داده شده است.

در شکل ۴۹ آدمی را می‌بینید که کاملاً راحت روی سطح بحر لوت دراز کشیده است. وزن مخصوص زیاد آب به او امکان میدهد در این حالت خود را با چتر از اشعهٔ سوزان آفتاب حفظ کند و کتاب بخواند.

آب قره بغاز گل (خلیجی در دریای خزر) * و آب از آن هم شورتر دریاچه التن که حاوی ۲۷ درصد انواع نمک است، نیز دارای همین گونه خصوصیات غیر عادی میباشد **.

---

* وزن مخصوص آب قره بغاز گل ۱/۱۸ است. یکی از محققین بنام پلش در این باره مینویسد: «در چنین آب غلیظی میتوان بدون صرف نیروی زیاد شنا کرد، و بدون نقض قانون ارشمیدس نمیتوان غرق شد».

** آب دریاچه رضائیه در ایران نیز دارای خصوصیاتی شبیه به این است. خوانندگان میتوانند هر گاه برایشان فرصتی دست بدهد، شخصا آزمایش کنند. (مترجم).

بیمارانی که وان آب شور میگیرند نیز حالتی شبیه به این احساس میکنند . اگر میزان نمک آب بسیار زیاد باشد ، مثلاً مثل آب‌های معدنی در استارایا روسا ، بیمار باید کوشش زیادی بکند تا بتواند در ته وان بماند . از زنی که برای معالجه به استارایا روسا رفته بود ، شنیدم که چگونه با خشم شکوه و شکایت میکرد که آب « او را اصلاً از وان بیرون می‌اندازد » . گوئی بی‌میل نبود هیأت مدیرهٔ آسایشگاه را در این کار مسئول بداند ...

میزان نمک آب در دریاهای مختلف قدری متفاوت است ، به این دلیل کشتی ها در آب دریاها به یک اندازه فرو نمیروند . شاید برای برخی از خوانندگان پیش‌آمد کرده باشد که روی بدنه کشتی نزدیک خط فلوتاسیون علامتی را که « مارک لوید » نام دارد ، دیده باشند . این علامت سطح حد نهائی خط فلوتاسیون را در آب‌های با غلظت مختلف نشان میدهد . مثلاً علامت میزان بارگیری که در شکل ۵۰ رسم شده است نشان‌دهنده سطح حد نهائی خط فلوتاسیون در آب‌های مختلف بترتیب زیر است :

در آب شیرین . . . . . FW (Fresh Water)
در اقیانوس هند . . . . . IS (India Summer)
در آب شور تابستان . . . . . S (Summer)
در آب شور زمستان . . . . . W (Winter)
درشمال اقیانوس اطلس زمستان WNA (Winter North Atlantic)

در روسیه این علامت ها از سال ۱۹۰۹ اجباری شده است .

در پایان یادآور میشویم که نوعی آب وجود دارد که بدون هیچگونه آغشتگی و به صورت خالص بمیزان قابل ملاحظه‌ای از آب معمولی سنگین‌تر است. وزن مخصوص آن ۱/۱ یعنی به اندازه ۱۰ درصد بیشتر از آب معمولی است. بنا بر این در استخری که از این آب پر شده باشد ، آدم حتی اگر شنا هم بلد نباشد ، تصور نمیرود که غرق بشود . این آب آب « سنگین » نام دارد و فرمول شیمیائی آن چنین است : D_2O (هیدرژنی که در ترکیب این آب هست از اتم‌هائی تشکیل یافته که از اتم‌های هیدرژن معمولی دو بار سنگین تر است و با حرف D نشان داده میشود) . آب سنگین به میزان بسیار کمی در آب معمولی حل شده است ، در هر سطل آب آشامیدنی در حدود ۸ گرم آب سنگین وجود دارد .

در حال حاضر آب سنگین ترکیب D_2O (هفده نوع آب سنگین که ترکیب آنها با یکدیگر متفاوت است ، ممکن است وجود داشته باشد) تقریباً به صورت خالص استخراج میشود . مقدار آب معمولی در آن در حدود ۰/۰۵ درصد است . آب سنگین در ماشین‌ها و وسائل اتمی ، از جمله در رآکتورهای اتمی ، بطور وسیعی بکار میرود . آب سنگین از طریق صنعتی بمقادیر بسیار زیاد از آب معمولی تهیه میشود .

کشتی یخ‌شکن چگونه کار میکند ؟

وقتی وان میگیرید ، فرصت را مغتنم بشمارید و آزمایش زیر را بکنید . قبل از آنکه از وان بیرون بیائید ، کف وان دراز بکشید و سوراخ خروج آب را باز کنید . بمرور که قسمت بیشتر بدنتان از

آب بیرون می‌آید، حس میکنید که بدنتان سنگین‌تر میشود. بدین ترتیب به بهترین وجه مشاهده میکنید و می‌بینید که همینکه بدن از آب بیرون می‌آید، مقداری از وزن بدن که در داخل آب کم شده بود (به یاد بیاورید که در داخل آب چقدر خود را سبک حس میکردید) از نو به جای خود برمیگردد.

گاهی که نهنگ این آزمایش را اجبارا انجام میدهد، یعنی در موقع جزر روی شن نقاط کم عمق دریا میماند، این آزمایش برای حیوان عواقب فلاکت‌باری در بر دارد: وزن فوق‌العاده زیاده خودش اورا له میکند. بیهوده نیست که نهنگ‌ها در آب زندگی میکنند، نیروی فشار از زیر آب آنها را از تأثیر مرگبار نیروی ثقل نجات میدهد.

آنچه گفته شد با موضوع کار کشتی یخ‌شکن ارتباط نزدیک دارد. کشتی یخ‌شکن بر اساس همین پدیده فیزیکی کار میکند: قسمتی از کشتی که از آب بیرون می‌آید دیگر با عمل فشار از زیر آب تعادل ندارد و همان وزنی را که در خشکی دارد، کسب میکند. نباید خیال کرد که کشتی یخ‌شکن در حرکت با فشار مداوم قسمت جلو خود، یعنی میله فروبر، بر یخ آن را میبرد. کشتی‌های یخ‌شکن اینطور کار نمیکنند، بلکه کشتی‌های یخ‌بر اینطور کار میکنند. مثلاً در سال‌های ۳۰ قرن ۲۰ «لینکه» یکی از این کشتی‌های یخ‌بر بود که شهرت بسزائی داشت. این طرز عمل برای یخ‌هائی مؤثر است که چندان کلفت نیستند.

کشتی های یخ‌شکن واقعی از قبیل یخ‌شکن های قدیمی «کراسین» و «یرماک» که زمانی نامدار بودند، و یخ‌شکن «لنین» (با موتور اتمی) طور دیگر کار میکنند. کشتی یخ‌شکن با ماشین نیرومندی که دارد، قسمت جلو خود را به روی یخ میبرد. برای این منظور قسمتی از دماغه این کشتی ها را که زیر آب قرار میگیرد، طوری میسازند که با خط افقی زاویه بسیار کمی داشته باشد. وقتی دماغه کشتی خارج از آب قرار گرفت وزن کامل خود را بدست می‌آورد و این بار فوق‌العاده سنگین (مثلا در «یرماک» این وزن تا ۸۰۰ تن میرسید) یخ را میشکند. اغلب برای تشدید عمل یخ‌شکن مخازن دماغه کشتی را با تلمبه پر آب میکنند و به آن «وزنه تعادل مایع» یا «وزنه تعادل آبی» میگویند.

تا وقتیکه کلفتی یخ بیش از نیم متر نباشد، یخ‌شکن اینطور عمل میکند. یخ های از این کلفت‌تر را با عمل ضربه‌ای کشتی میشکنند. کشتی یخ‌شکن عقب میرود و با تمام جرم عظیم خود به کنارهٔ یخ هجوم می‌آورد. در اینجا دیگر وزن عمل نمیکند، بلکه انرژی سینتیک، یا انرژی جنبشی کشتی در حال حرکت عمل میکند. گوئی کشتی به منجنیق یا گلولهٔ توپی تبدیل میشود که سرعت آن کم، اما در عوض جرمش فوق‌العاده زیاد است. کوه‌های یخ به ارتفاع چند متر در اثر نیروی ضربات پی در پی دماغهٔ کشتی یخ‌شکن تکه تکه میشوند.

مارکوف دریانورد نواحی قطبی که در عبور مشهور کشتی یخ‌شکن «سیبیریاکوف» در سال ۱۹۳۲ از میان یخ‌ها شرکت داشته است، کار یخ‌شکن را چنین توصیف میکند:

«سیبیریاکوف» در میان صدها کوه‌یخ، در میان قشر یکپارچهٔ یخ به نبرد پرداخت. پنجاه و دو ساعت متوالی عقربهٔ تلگراف ماشین از علامت «با حد اکثر سرعت به عقب» به علامت «با حد اکثر سرعت به جلو» می‌پرید. «سیبیریاکوف» در مدت سیزده پاس چهارساعته دریائی باشدت خود را به یخ میزد و فرو میرفت و با دماغهٔ خود یخ را خرد میکرد، روی یخ میرفت آن را میشکشت

و از نو عقب میرفت. یخ به کلفتی سه چهارم متر به دشواری راه میداد. با هر ضربه به اندازهٔ یک سوم بدنه کشتی جلو میرفتیم».

اتحاد شوروی بزرگترین و نیرومندترین کشتی‌های یخ‌شکن جهان را در اختیار دارد.

کشتی هائی که غرق شده‌اند در کجا قرار دارند؟

نظری، حتی در میان دریانوردان، وجود دارد که گویا کشتی‌هائی که در اقیانوس غرق شده‌اند، به کف اقیانوس نمیرسند، بلکه در ارتفاع معینی که آب «در اثر فشار طبقات فوقانی غلظت معینی دارد» بی‌حرکت معلق میمانند.

ظاهراً ژول ورن مؤلف کتاب «۲۰ هزار فرسنگ در زیر آب» نیز با این نظر موافق بوده است که در یکی از فصل های این رمان کشتی مغروقی را که در داخل آب بی‌حرکت معلق مانده بود توصیف میکند و در فصل دیگر از کشتی‌هائی نام می‌برد که «در داخل آب بطور آزاد معلق اند و میپوسند».

آیا چنین ادعائی درست است؟

ظاهراً، این ادعا پایه و اساس هائی دارد، زیرا فشار آب در اعماق اقیانوس فوق‌العاده زیاد است. آب در عمق ۱۰ متر بر اجسامی که در آن شناورند، یک کیلوگرم بر سانتیمتر مربع فشار وارد می‌آورد. در عمق ۲۰ متر این فشار معادل ۲ کیلوگرم، در عمق ۱۰۰ متر ۱۰ کیلوگرم و در عمق ۱۰۰۰ متر ۱۰۰ کیلوگرم است. اما عمق اقیانوس در بسیاری از جاها به چند کیلومتر میرسد، و در عمیق‌ترین قسمت های اقیانوس کبیر «فرورفتگی ماریان» بیش از ۱۱ کیلومتر است. به آسانی میتوان حساب کرد که در این اعماق زیاد بر آب و اجسام داخل آن چه فشار عظیمی وارد می‌آید.

اگر بطری خالی در بسته‌ای را به عمق نسبتاً زیادی بفرستیم و از نو دربیاوریم، مشاهده میشود که فشار آب چوب‌پنبه را به داخل بطری رانده و تمام بطری پر از آب است. جون مری دانشمند معروف اقیانوس‌نگار در کتاب خود «اقیانوس» مینویسد که آنها آزمایشی انجام داده‌اند: سه لولهٔ شیشه‌ای از هر دو طرف آب‌بندی شده به اندازه‌های مختلف را در کرباس پیچیده و در استوانه‌ای مسی که برای عبور آزاد آب سوراخ داشت، جای دادند. استوانه را به عمق ۵ کیلومتر فرستادند — وقتی استوانه را از آنجا بیرون آوردند، مشاهده کردند که کرباس از ماده برف‌مانندی پر است. این ماده شیشه‌های خرد شده بود. تکه‌های چوبی که به این عمق فرستاده میشدند، پس از آنکه آنهارا بیرون می‌آوردند، بقدری فشرده شده بودند که مانند آجر به زیر آب میرفتند.

ظاهراً طبیعی است انتظار داشته باشیم که این فشار فوق‌العاده زیاد باید آب را در اعماق زیاد بقدری متراکم کند که اجسام سنگین در آن غرق نشوند، همانطور که وزنه آهنی در جیوه غرق نمیشود. اما چنین نظری بکلی بی‌پایه و اساس است. آزمایش نشان میدهد که آب، مانند همهٔ مایعات دیگر، کم متراکم میشود. اگر بر آب فشاری معادل یک کیلوگرم بر سانتیمتر مربع وارد بیاوریم، آب فقط به اندازه $\frac{۱}{۲۲۰۰۰}$ حجم خود متراکم میشود و هر کیلوگرم که بر مقدار فشار

افزوده شود ، میزان تراکم نیز تقریباً به همین نسبت افزایش می‌یابد . اگر بخواهیم تراکم آب را به حدی برسانیم که آهن در سطح آن شناور بماند ، باید آب را ۸ بار متراکم کنیم . اما برای فقط دو برابر متراکم کردن آب ، یعنی برای رساندن حجم آن به نصف آنچه هست ، فشاری معادل ۱۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع لازم است (آنهم فقط در صورتیکه میزان تراکم نامبرده در بالا در مورد چنین فشارهای فوق‌العاده‌ای نیز صدق میکرد) . این فشار معادل فشار در عمق ۱۱۰ کیلومتر از سطح اقیانوس است !

بنا بر این روشن است که از تراکم کم و بیش قابل ملاحظه آب در اعماق اقیانوس‌ها هیچ سخنی نمیتوان گفت . در عمیق‌ترین نقطهٔ اقیانوس ها آب فقط $\frac{۱۱۰۰۰}{۲۲۰۰۰}$ یعنی $\frac{۱}{۲۰}$ یا ۵ درصد حجم معمولی خود متراکم شده است . * این امر تقریباً نمیتواند در شرایط شناوری اجسام مختلف در آب تأثیری داشته باشد ، بخصوص که اجسام جامدی که در چنین آبی فرو رفته باشند ، نیز تحت همین فشار قرار میگیرند و در نتیجه متراکم میشوند .

به این دلیل هیچ شکی وجود ندارد که کشتی های غرق شده در کف اقیانوس آرمیده‌اند . مری میگوید : « هر چیزی که در استکان آب به زیر آب میرود ، در عمیق‌ترین اقیانوس نیز باید به کف اقیانوس برود » .

برای من پیشنهاد کرده است که علیه این نظریه اعتراض زیررا بشنوم :

اگر استکان را وارونه آهسته در آب فرو ببریم ، ممکن است در این حالت بماند ، زیرا وزن استکان مساوی وزن آن مقدار آب میشود که استکان در آن فرو رفته است . لیوان فلزی سنگین تر از استکان ممکن است در زیر سطح آب نیز در این حالت بماند و به کف ظرف آب نرود . ظاهراً تصور میرود که رزم‌ناو یا کشتی دیگری که وارونه شده باشد ، ممکن است در نیمه‌راه متوقف شود . اگر در برخی از قسمت‌های کشتی در محوطهٔ کاملاً بسته‌ای هوا قرار گرفته باشد ، کشتی تا عمق معینی در آب فرو میرود و در آنجا می‌ایستد . کشتی هائی که وارونه به کف دریا میروند ، کم نیستند ، و ممکن است برخی از این کشتی‌ها در اعماق تیره و تار اقیانوس ها معلق مانده و هرگز به کف اقیانوس نرسیده باشد . تکان کوچکی کافی است تا اینگونه کشتی ها تعادل خود را از دست بدهند ، برگردند ، از آب پر شوند و به کف اقیانوس بروند ، اما در اعماق اقیانوس‌ها که سکوت و آرامش ابدی حکمفرماست و حتی پژواک طوفان‌ها را بدانجا راه نیست ، این تکان کوچک از کجا میتواند پیدا شود؟

همهٔ این دلائل بر اشتباه فیزیکی مستند است . استکان وارونه خودش به زیر آب نمیرود ، باید آن را مانند یک تکه چوب یا بطری خالی دربسته با نیروی خارجی در آب فرو کرد . کشتی وارونه

---

* تت فیزیسین انگلیسی حساب کرده است که اگر نیروی جاذبهٔ زمین ناگهان از میان میرفت و آب بی‌وزن میشد ، سطح آب اقیانوس ها بطور متوسط فقط ۳۵ متر بالا می‌آمد (در نتیجهٔ آنکه آب‌های فشرده شده حجم معمولی خود را بدست می‌آوردند) . آب اقیانوس ها ۵۰۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع خشکی را که وحود خود را در بالای آب فقط مدیون تراکم آب اقیانوس های اطراف خود میباشند ، فرا میگرفت » (برژه)

شده هم، درست همینطور، اصلاً به زیر اب نمیرود، بلکه در سطح آب میماند و بهیچوجه نمیتواند در نیمه‌راه سطح اقیانوس و کف آن بماند.

چگونه آرزوهای ژول ورن و ولس جامه عمل پوشیدند

زیردریائی‌های واقعی عصر ما از برخی جهات نه فقط به «ناوتیلوس» تخیلی ژول ورن رسیده‌اند، بلکه آن را پشت سر گذاشته‌اند. البته سرعت زیردریائی های معاصر از سرعت «ناوتیلوس» دو بار کمتر، یعنی ۲۴ گره دریائی است، در صورتیکه سرعت «ناوتیلوس» ژول ورن ۵۰ گره دریائی بود (گره دریائی معادل تقریباً ۱/۸ کیلومتر در ساعت است). طولانی‌ترین راهی‌را که زیردریائی‌های معاصر می‌پیمایند یک دور مسافرت به دور دنیا است، در صورتیکه نمو ناخدای «ناوتیلوس» راهی دو برابر آن را پیمود. در عوض ظرفیت «ناوتیلوس» فقط ۱۵۰۰ تن بود و در حدود بیست — سی نفر خدمه داشت و بیش از ۴۸ ساعت متوالی نمیتوانست زیر آب بماند. ظرفیت رزم‌ناو زیردریائی «سورکوف» که در سال ۱۹۲۹ ساخته شده و به ناوگان فرانسه تعلق داشت، ۳۲۰۰ تن بود و خدمه آن از ۱۵۰ نفر تشکیل میشد و میتوانست بدون آنکه به روی آب بیاید، ۱۲۰ ساعت زیر آب بماند. *

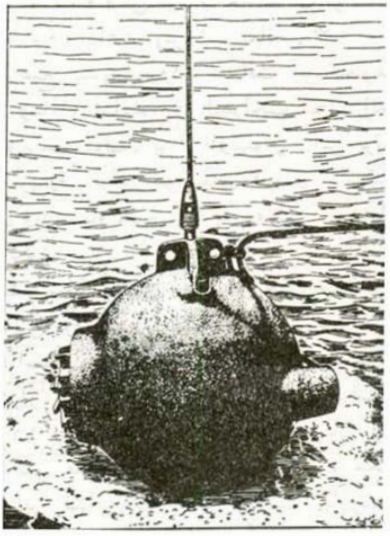
این رزم‌ناو زیردریائی میتوانست بدون اینکه در راه به هیچ بندری برود، مسافت بین بندرهای فرانسه و جزیره ماداگاسکار را بپیماید. «سورکوف» از لحاظ وسائل آسایش و استراحت محل زندگی سرنشینان، شاید، از «ناوتیلوس» دست کمی نداشت. بعلاوه «سورکوف» بر «ناوتیلوس» این برتری مسلم را نیز داشت که در عرشهٔ فوقانی آن یک آشیانهٔ واترپروف برای هواپیمای دریائی اکتشافی ساخته شده بود. این مطلب را نیز یادآور میشویم که ژول ورن «ناوتیلوس» را به دوربین زیردریائی که امکان میدهد از زیر آب افق را زیر نظر گرفت، مجهز نکرده بود.

کشتی‌های زیردریائی واقعی فقط از یک جهت هنوز مدت بسیار زیادی از زاده تخیل رمان‌نویس فرانسوی عقب خواهند بود، و آن عمقی است که میتوانند پائین بروند. اما باید یادآور شد که در این مسأله تخیل ژول ورن از حدود نزدیک به حقیقت دور شده است. در یک جای رمان گفته میشود: «ناخدا نمو به اعماق سه، چهار، پنج، هفت، نه و ده هزار متر زیر سطح دریا پائین میرفت». و اما یک بار «ناوتیلوس» به عمق بی‌سابقه‌ای، به عمق ۱۶ هزار متر پائین رفت! قهرمان رمان حکایت میکند: «من حس میکردم که چگونه گیره‌های روکش فلزی زیردریائی میلرزیدند، چگونه میله‌های بست‌های آن خم میشدند و چگونه پنجره‌ها در برابر فشار آب تاب مقاومت نیاورده به درون کج میشدند. اگر کشتی ما استحکام جسم ریخته شده یک‌پارچه‌را نداشت فوراً له میشد و به صورت یک ورقه آهن درمی‌آمد».

---

* در شرایط معاصر کشتی‌های زیردریائی که به موتور اتمی مجهز هستند، انسان‌را در انتخاب راه در اعماق کم شناخته‌شده دریاها و اقیانوس ها آزاد میگذارند. ذخایر پایان‌ناپذیر انرژی در داخل کشتی زیردریائی امکان میدهد که بتوان بدون روی آب آمدن راه‌های بسیار طولانی را پیمود. مثلاً در سال ۱۹۵۸ (از ۲۲ ژوئیه تا ۵ اوت) کشتی زیردریائی امریکائی با موتور اتمی بنام «ناوتیلوس» در منطقه قطب شمال از زیر آب عبور کرده و از دریای برینگ به دریای گروئنلند رفت (هیأت تحریریه).

این بیم کاملاً بجا بود ، زیرا در عمق ۱۶ کیلومتر (اگر چنین عمقی در اقیانوس وجود میداشت) فشار آب میبایست به $\frac{16000}{10} = 1600$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع یا ۱۶۰۰ اتمسفر برسد . این فشار آهن را خرد نمیکند ، اما بدون شک ساختمان کشتی را له میکند . اما اقیانوس نگاری معاصر بر وجود چنین عمقی آگاهی ندارد . علت تصورات اغراق‌آمیز شایع در بارهٔ عمق اقیانوس‌ها در دوره ژول ورن (این رمان در سال ۱۸۶۹ میلادی نوشته شده است) کامل نبودن وسائل اندازه‌گیری عمق بوده است . در آن زمان برای ریسمان ژرفاسنج سیم به کار نمیرفت ، بلکه ریسمان کنفی استعمال میشد . اینگونه ژرفاسنج هر چه بیشتر در آب فرو میرفت اصطکاکش با آب شدیدتر میشد و در نتیجه به کندی پائین میرفت و در اعماق زیاد اصطکاک بقدری شدید میشد که هر چه ریسمان را پائین میدادند ژرفاسنج در آب فرو نمیرفت . ریسمان کنفی جمع میشد و به دور خود می‌پیچید و در نتیجه تصوری به وجود می‌آمد که عمق خیلی زیاد است.



شکل ۵۱ — دستگاه کروی فولادی بنام «باتیسفر» برای فرستادن به جاهای عمیق اقیانوس‌ها. ویلیام بیب در سال ۱۹۳٤ با این دستگاه به عمق ۹۲۳ متر رفت. کلفتی جدارهای کره در حدود ٤ سانتیمتر ، قطر آن ۱/۵ متر و وزن آن ۲/۵ تن است.

زیردریائی های دوران ما نمیتوانند فشار بیش از ۲۵ اتمسفر را تحمل کنند و این امر حد اکثر عمقی را که میتوانند پائین بروند به ۲۵۰ متر محدود میکند . با دستگاه مخصوصی که « باتیسفر » نام دارد (شکل ۵۱) و مخصوصاً برای بررسی و آموزش حیات در اعماق اقیانوس‌ها در نظر گرفته شده است ، موفق شده‌اند به اعماق بمراتب بیشتری پائین بروند . اما این دستگاه به « ناوتیلوس » ژول ورن شبیه نیست ، بلکه به مخلوق تخیل رمان‌نویس دیگری ، یعنی به کرهٔ اعماق دریاها که ولس در داستان « در اعماق دریاها » توصیف کرده است ، شباهت دارد . قهرمان این داستان در کرهٔ فولادی با جدار کلفت به کف اقیانوس در عمق ۹ کیلومتر رفت . این دستگاه نه با ریسمان ، بلکه با بار جداشونده پائین میرفت . وقتی به کف اقیانوس میرسید ، باری را که آن را به کف اقیانوس برده بود ، رها میکرد و با سرعت زیاد به سطح آب بالا می‌آمد .

دانشمندن توانسته‌اند با « باتیسفر » به عمق بیش از ۹۰۰ متر پائین بروند . « باتیسفر » را از کشتی با ریسمان پائین میفرستند و سرنشینان آن با کشتی رابطه تلفنی دارند .

بعداً در فرانسه تحت رهبری مهندس ویلم و در ایتالیا بر اساس طرح پیکار پروفسور بلژیکی

دستگاههای ویژه‌ای بنام «باتیسکاف» برای تحقیقات در اعماق اقیانوس‌ها ساختند. تفاوت عمده آنها با «باتیسفر» در آنستکه آنها میتوانند در اعماق زیاد حرکت کنند، در صورتیکه «باتیسفرها» از ریسمان آویزان میمانند و هیچ حرکتی نمیتوانند بکنند. اول پیکار با «باتیسکاف» به عمق بیش از ۳ کیلومتر پائین رفت و بعد دو نفر فرانسوی بنام گیوم و ویلم به عمق ۴۰۵۰ متر پائین رفتند. در نوامبر سال ۱۹۵۹ «باتیسکاف» به عمق ۵۶۷۰ متر رسید، اما این هم هنوز آخرین حد نبود. ۹ ژانویه سال ۱۹۶۰ پیکار به عمق ۷۳۰۰ متر پائین رفت و در ۲۳ ژانویه «باتیسکاف» او به کف گودی ماریان در عمق ۱۱/۰ کیلومتر رسید! طبق معلومات کنونی این گودترین جا در جهان است.

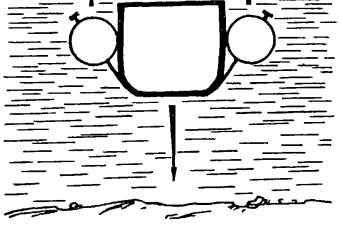
یخ‌شکن «سادکو» را چگونه بالا آوردند؟

هر سال، بخصوص هنگام جنگ، در پهنه بیکران اقیانوس‌ها هزاران کشتی بزرگ و کوچک غرق میشود. در سال‌های اخیر به بیرون آوردن گرانبهاترین و قابل دسترسی‌ترین کشتی‌های غرق‌شده از دریا پرداخته‌اند. مهندسین و غواصان شوروی که عضو «سازمان مأمور کارهای زیرآبی ویژه» هستند، با بالا آوردن بیش از ۱۵۰ کشتی بزرگ از زیر آب در جهان شهرت بسزائی کسب کرده‌اند. یکی از بزرگترین این کشتی ها یخ‌شکن «سادکو» است که در سال ۱۹۱۶ به علت سهل انگاری ناخدای آن در دریای سفید غرق شده بود. این کشتی یخ‌شکن بسیار خوب پس از آنکه ۱۷ سال در کف دریا خوابیده بود، بوسیله کارمندان سازمان نامبردهٔ بالا از کف دریا بالا آورده شد و از نو به کار پرداخت.

اصول فنی بالا آوردن کشتی ها تماماً بر اساس بکار بردن قانون ارشمیدس است. در مورد «سادکو» غواصان در زمین کف دریا زیر بدنه کشتی ۱۲ تونل حفر کردند و از داخل هر تونل یک تسمه فولادی محکم کشیدند. انتهای تسمه‌ها را به پانتون هائی که برای همین منظور در نزدیک «سادکو» به کف دریا فرستاده بودند، محکم بستند. تمام این کارها در عمق ۲۵ متر زیر سطح دریا انجام شد.

پانتون‌ها (شکل ۵۲) عبارت از استوانه‌های فولادی توخالی نفوذناپذیری به طول ۱۱ متر و به قطر ۵/۰ متر بودند. پانتون خالی ۵۰ تن وزن داشت. از روی قواعد هندسه به آسانی میتوان حجم هر پانتون را حساب کرد که در حدود ۲۵۰ متر مکعب میشود. روشن است که این استوانه توخالی باید در سطح آب شناور بماند، وزن خود آن ۵۰ تن و وزن آب هم حجم آن ۲۵۰ تن است. ظرفیت بالابری بار آن معادل تفاوت میان ۲۵۰ و ۵۰، یعنی ۲۰۰ تن است. برای آنکه پانتون را به کف دریا بفرستند، آن را از آب پر میکنند.

وقتی انتهای تسمه‌های فولادی، محکم به پانتون‌های داخل آب بسته شد (شکل ۵۲)، بوسیله شلنگ به درون استوانه‌ها هوای فشرده فرستادند. فشار آب در عمق ۲۵ متر معادل $\frac{۲۵}{۱۰}+۱$ یعنی ۳/۵ اتمسفر است. اما



شکل ۵۲ — شمای بالا آوردن «سادکو». مقطع یخ‌شکن، پانتون و تسمهٔ فولادی نشان داده شده است.

هوا را با فشار در حدود ٤ اتمسفر به درون استوانه‌ها میفرستادند و در نتیجه میبایست آب را از پانتون‌ها بیرون براند. آب اطراف استوانه ها که سبک شده بودند، آنها را با نیروی بسیار زیادی به سطح آب بالا می‌آورد. پانتون‌ها در آب، مانند بالون‌های هوائی در هوا، بالا می‌آمدند. اگر پانتون ها را کاملاً از آب خالی میکردند، نیروی بالا برنده مجموعهٔ آنها مساوی ۱۲×۲۰۰ یعنی ۲٤۰۰ تن میشد و این بیش از وزن «سادکو» در زیر آب بود. به این دلیل برای آنکه عمل بالا آمدن به آرامی صورت بگیرد، پانتون‌ها را کاملاً خالی نکردند.

باوجود این، فقط پس از آنکه چند بار با عدم موفقیت روبرو شدند، توانستند «سادکو» را به سطح آب بیاورند.

بریتسکی سرمهندس کشتی سازی مؤسسه نامبردهٔ بالا که رهبری این کارها را برعهده داشت، مینویسد:

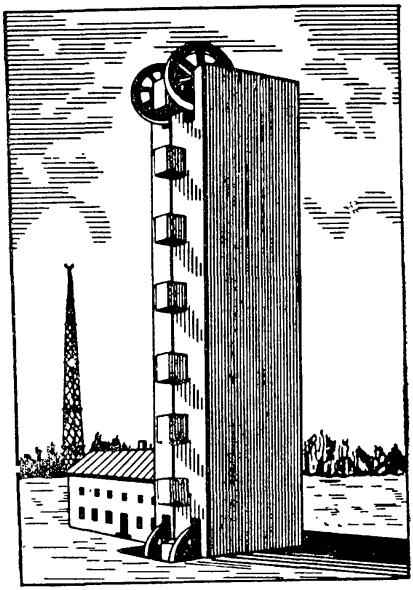
«دسته مأمور نجات چهار بار با عدم موفقیت روبرو شد تا بالاخره توانست موفق شود. سه بار با دقت و هیجان منتظر بالا آمدن کشتی بودیم اما، بجای آن، می‌دیدیم که پانتون‌های کنده شده در میان کوهی از امواج کف‌آلود بسرعت و بی‌نظم و ترتیب به سطح آب می‌آمدند و شلنگ‌های پاره‌شده، چون مار زخمی به خود می‌پیچیدند. دو بار یخ‌شکن نمایان شد و از نو در قعر دریا ناپدید گردید، تا بالاخره به سطح آب آمد و در آنجا ماند و دیگر پائین نرفت».

محرک «دائمی» آبی

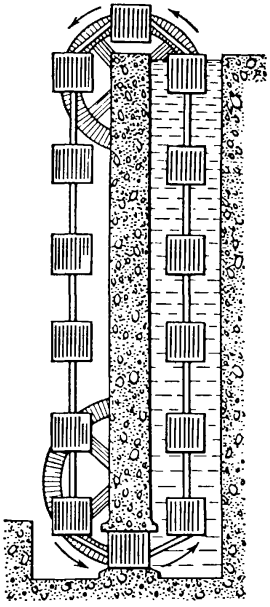
در میان طرح‌های بیشمار «محرک‌های دائمی» طرح‌های زیادی نیز بوده است که بر اساس روی آب آمدن اجسام شناور تنظیم شده بود. ستون توخالی بزرگی به ارتفاع ۲۰ متر پر از آب است. در بالا و پائین ستون دو قرقره کار گذاشته شده که طناب محکمی به شکل نوار بی‌انتها به روی آنها کشیده شده است. ۱٤ جعبه مکعب توخالی به طول یک متر به طناب بسته شده است. جعبه‌ها را از آهن ورقه طوری ساخته‌اند که آب به درون آنها نفوذ نمیکند. در شکل ٥۳ نمای خارجی این ستون و در شکل ٥٤ مقطع طولی آن نشان داده شده است.

این دستگاه چگونه کار میکند؟ هر کسی که با قانون ارشمیدس آشنائی داشته باشد، میداند که وقتی جعبه‌ها در داخل آب باشند، باید به بالا، به طرف سطح آب حرکت کنند تا به سطح آب برسند. نیروئی مساوی وزن آب هم‌حجم آنها، یعنی معادل وزن یک متر مکعب آب ضرب در تعداد جعبه‌های داخل آب آنها را به بالا میکشد. در شکل‌ها دیده میشود که همیشه شش جعبه در داخل آب است. پس، نیروئی که جعبه‌های داخل آب را بالا میبرد مساوی وزن ٦ متر مکعب آب، یعنی ٦ تن است. و اما نیروئی که آنها را به پائین میکشد، فقط وزن خود جعبه‌ها است که میان آن و وزن جعبه‌هائی که در قسمت خارجی طناب آویزان است، تعادل برقرار میشود.

بنا بر این، طنابی که به ترتیب نامبرده در بالا به دور قرقره‌ها کشیده شده باشد، همیشه با نیروئی مساوی ٦ تن به طرف بالا رانده خواهد شد. روشن است که این نیرو طناب را به حرکت درمی‌آورد و طناب بدون توقف روی قرقره‌ها میگردد و در هر دور کامل کاری مساوی ۲۰×٦۰۰۰ یعنی ۱۲۰۰۰۰ گیلوگرم متر انجام میدهد.



شکل ۵۳ — طرح محرک «دائمی» آبی خیالی.



شکل ۵۴ — ساختمان دستگاه شکل ۵۳.

حالا روشن است که اگر در سراسر کشور تعداد زیادی از این دستگاهها بسازیم، از آنها کار بی‌حد و حصری بدست می‌آوریم که برای تمام نیازمندیهای اقتصاد ملی کافی است. دستگاهها آرمیچر دینام‌ها را میچرخانند و به هر مقدار که بخواهیم نیروی برق میدهند.

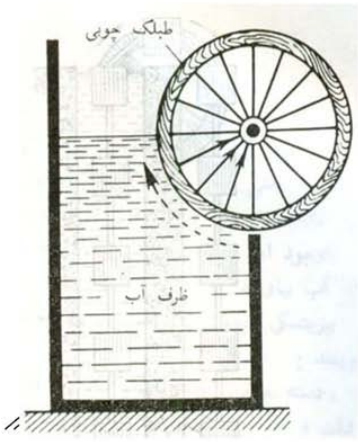
اما اگر این طرح را بدقت مورد بررسی قرار دهیم، به آسانی یقین حاصل میکنیم که برخلاف آنچه انتظار میرفت، طناب اصلاً نباید حرکت کند.

برای آنکه طناب بی‌انتها بطور دائم بگردد، جعبه‌ها باید از پائین داخل ستون آب بشوند و از بالا از آن بیرون بیایند. اما هر جعبه وقتی میخواهد داخل آب بشود، باید فشار ستون آب به ارتفاع ۲۰ متر را برطرف سازد! این فشار بر یک متر مربع سطح جعبه درست مساوی ۲۰ تن (وزن ۲۰ متر مکعب آب) است. اما فشار به بالا فقط ۶ تن است، یعنی بهیچوجه کافی نیست که جعبه را به درون آب بکشد.

در میان صدها نوع محرک «دائمی» آبی که بوسیله مخترعین ناکام اختراع شده بود، نمونه‌های بسیار ساده و جالب میتوان یافت.

به شکل ۵۵ نظری بیافکنید. قسمتی از طبلک چوبی که به محوری نصب شده است، همیشه در داخل آب است. اگر قانون ارشمیدس درست است، پس قسمتی که زیر آب است، باید روی آب

بیاید، زیرا نیروئی که آن را به بالا میراند، بمراتب بیش از نیروی اصطکاک محور طبلک است و طبلک باید دائماً بچرخد... در ساختن این محرک «دائمی» عجله نکنید! مسلماً با ناکامی روبرو خواهید شد، طبلک کوچکترین تکانی نخواهد خورد. پس مسأله از چه قرار است، ما در چه چیز اشتباه میکنیم؟ معلوم میشود ما سمت نیروهای عمل کننده‌را به حساب نیاورده بودیم. سمت این نیروها همیشه عمود به سطح طبلک یعنی در جهت شعاع به طرف محور است. هر کس‌از تجربه زندگی روزانه خود میداند که با نیرو وارد آوردن در طول شعاع چرخ، نمیتوان چرخ را به چرخش درآورد. برای به چرخش در آوردن چرخ باید در سمت عمود به شعاع، یعنی در سمت خط مماس به محیط چرخ فشار وارد آورد. حالا دیگر به آسانی میتوان فهمید که چرا در این مورد نیز کوشش برای عملی کردن حرکت «دائمی» با ناکامی روبرو میشود.



شکل ۵۵ — باز هم یک طرح دیگر محرک «دائمی» آبی.

قانون ارشمیدس در موارد زیادی جویندگان محرک «دائمی» را فریفته و آنها را واداشته است که عقل خود را به کار اندازند و دستگاههای جالبی بسازند تا با استفاده از کم شدن ظاهری وزن منبع دائمی نیروی مکانیکی بدست آورند. اما هیچ یک از این کوشش ها به موفقیت نیانجامیده است و نمیتواند هم بیانجامد.

مسأله بظاهر ساده

سماوری که گنجایش ۳۰ استکان آب را دارد، پر از آب است. استکان را زیر شیر سماور میگذارید، ساعت را به دست میگیرید و از روی عقربه ثانیه‌شمار می‌بینید که استکان در چه مدت تا لب پر از آب میشود. فرض میکنیم در نیم دقیقه. حالا چنین سؤالی میدهیم: اگر شیر سماور را باز بگذاریم، سماور در چه مدت خالی میشود؟

ظاهراً این یک مسأله حساب ساده و کودکانه است: یک استکان آب در $\frac{1}{2}$ دقیقه می‌ریزد، پس ۳۰ استکان در ۱۵ دقیقه.

اما آزمایش کنید. معلوم میشود که سماور، برخلاف انتظار شما، نه در یک ربع ساعت، بلکه در نیم ساعت خالی میشود.

مسأله از چه قرار است؟ آخر حساب که بسیار ساده بود.

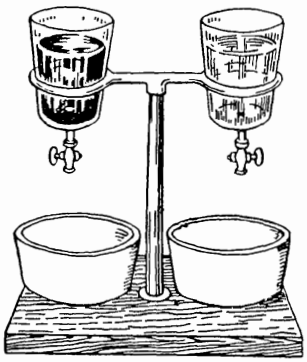
ساده بود، اما درست نبود. نباید فکر کرد که سرعت ریزش آب از اول تا آخر یکسان است و تغییر نمیکند. وقتی یک استکان آب از سماور ریخت، آب از شیر سماور با فشار کمتری میریزد،

زیرا سطح آب در سماور پائین آمده است. معلوم است استکان دوم در مدتی بیش از استکان اول و استکان سوم در مدتی بیش از استکان دوم پر خواهد شد، و همینطور تا آخر.

سرعت جریان هر مایع از سوراخ ظرف سرباز با ارتفاع ستون مایعی که بالاتر از سوراخ است، نسبت مستقیم دارد. تریچلی دانشمند نابغه و شاگرد گالیله نخستین کسی بود که این نسبت را تعیین کرد و با فرمول ساده زیر نشان داد:

$$v = \sqrt{2gh}$$

در این فرمول v سرعت جریان، g شتاب نیروی ثقل و h ارتفاع سطح مایع بالای سوراخ میباشد. از این فرمول نتیجه میشود که سرعت جریان مایع از سوراخ بهیچوجه به وزن مخصوص مایع بستگی ندارد. الکل سبک و جیوه سنگین وقتی ارتفاع سطح آنها از سوراخ به یک اندازه باشد با سرعت یکسانی خواهند ریخت (شکل ٥٦). از فرمول معلوم میشود که در ماه که نیروی ثقل ٦ بار کمتر از زمین است، برای پر شدن استکان زمانی تقریباً ٢/٥ برابر زمان لازم در زمین لازم است.



شکل ٥٦ — کدام مایع زودتر میریزد: جیوه یا الکل؟ سطح مایع در هر دو ظرف یکسان است.

حالا به مسأله‌ای که اول طرح کرده بودیم، برمیگردیم. اگر پس از ریختن ٢٠ استکان آب از سماور ارتفاع سطح آب بالای سوراخ شیر سماور چهار بار کمتر شود، استکان بیست و یکم در مدت زمانی دو برابر استکان اول پر خواهد شد. اگر پس از مدتی ارتفاع سطح آب ٩ بار کمتر شود برای پر کردن استکان بعدی مدت زمانی سه بار بیشتر از زمان لازم برای استکان اول، لازم خواهد بود. همه میدانند که وقتی سماور تقریباً خالی است، آب از شیر آن چقدر آهسته میریزد. اگر این مسأله را با اصول ریاضیات عالی حل کنیم، میتوان ثابت کرد که زمان لازم برای کاملاً خالی شدن ظرف دو بار بیشتر از زمانی است که، چنانچه سطح اولیه مایع ثابت بماند، برای ریختن همان مقدار مایع لازم است.

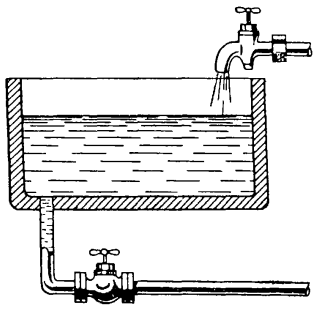
مسألهٔ حوض آب

اگر از آنچه هم اکنون گفته شد یک گام به پیش برداریم، به مسأله کذائی حوض آب میرسیم که هیچ کتاب مسألهٔ حساب و جبر بدون آن نیست.

همه مسأله‌های قالبی خسته‌کننده از قبیل مسأله زیر را به یاد دارند:

« به حوض آبی دو لوله آب کشیده شده است. اگر فقط شیر لوله اول را باز کنیم، حوض در ٥ ساعت پر میشود، اگر فقط شیر لوله دوم را باز کنیم، حوض در ١٠ ساعت خالی میشود. اگر شیر هر دو لوله را باهم باز کنیم، حوض در چند ساعت پر میشود؟ »

این نوع مسأله‌ها سابقه‌ای بسیار طولانی، یعنی درست ۲۰ قرن سابقه تاریخی دارند و از هرون اسکندرونی آغاز میشوند. یکی از مسائلی که هرون وضع کرده، و البته به اندازه مسائل بعد از آن پیچیده و بغرنج نیست، در زیر ذکر میشود:



شکل ۵۷ — مسألهٔ حوض آب.

استخری است با چهار فواره
فواره اول در یک شبانه‌روز،
فواره دوم در دو شبانه‌روز،
فواره سوم در سه شبانه‌روز،
و فواره چهارم در چهار شبانه‌روز
استخر را پر از آب میکند.
حالا بگوئید، اگر هر چهار فواره باهم باز شود، استخر در چه مدت پر میشود؟

دو هزار سال است که مسائل مربوط به حوض و استخر را حل میکنند و در تمام این دو هزار سال نادرست حل میکرده‌اند — چنین است نیروی کهنه‌پرستی و جمود فکر! خود شما پس از آنچه در باره ریختن آب از شیر سماور گفته شد، میتوانید پی ببرید که چرا نادرست است. راه حل مسأله‌های مربوط به حوض و استخر را چگونه می‌آموزند؟ مثلاً مسألهٔ اول را اینطور حل میکنند: لولهٔ اول در یک ساعت $\frac{۱}{۵}$ حوض را پر میکند، لولهٔ دوم در یک ساعت $\frac{۱}{۱۰}$ حوض را خالی میکند، پس اگر شیر هر دو لوله باز باشد در هر ساعت

$$\frac{۱}{۵} - \frac{۱}{۱۰} = \frac{۱}{۱۰}$$

حوض پر میشود، بنا بر این برای پر شدن تمام حوض ۱۰ ساعت وقت لازم است. این راه حل نادرست است. دخول آب به حوض را میتوان با فشار ثابت و در نتیجه یکنواخت شمرد، اما خروج آب از حوض در شرایط تغییر سطح آب صورت میگیرد، بنابر این غیر یکنواخت است. از اینکه لوله دوم حوض را در $\frac{۱}{۱۰}$ ساعت خالی میکند، بهیچوجه نمیتوان نتیجه گرفت که در هر ساعت $\frac{۱}{۱۰}$ آب حوض خالی میشود. بطوری که می‌بینیم راه حلی که در مدارس می‌آموزند، نادرست است. این مسأله را با قواعد حساب مقدماتی نمیتوان درست حل کرد، به این دلیل کتاب‌های مسأله حساب جای مسأله‌های مربوط به استخر و حوض (با لوله یا شیری که آب از آن خارج میشود)، نیست*.

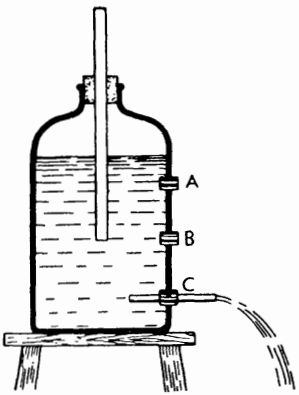
---

* خوانندگان میتوانند بررسی مفصل راه حل اینگونه مسائل را در کتاب «آیا فیزیک میدانید؟» تألیف اینجانب مطالعه فرمایند.

ظرف عجیب

آیا میشود ظرفی ساخت که وقتی از شیر آن آب میریزد و سطح آب پائین می‌آید، آب یکنواخت بریزد و سرعت جریان آن کم نشود؟ لابد شما پس از مطالعهٔ آنچه قبلا گفته شد، حاضرید اینگونه مسأله را غیر قابل حل بدانید.

اما این کار کاملاً امکان‌پذیر است. ظرفی که در شکل ۵۸ تصویر شده است، همانا چنین ظرف عجیبی است. این یک ظرف شیشه‌ای معمولی است که دهانهٔ تنگی دارد و یک لوله شیشه‌ای از وسط چوب‌پنبه آن به داخل فرو رفته است. اگر شیر C را که پائین تر از انتهای لوله قرار دارد، باز کنید، تا وقتیکه سطح آب ظرف به انتهای پائینی لوله نرسیده است، آب از شیر بطور یکنواخت خواهد ریخت. اگر لوله را تقریباً تا سطح سوراخ پائین بیاورید، تمام آبی که بالاتر از سطح سوراخ قرار دارد، بطور یکنواخت، اما خیلی آهسته، خواهد ریخت.



شکل ۵۸ — ساختمان ظرف ماریوت. آب از شیر بطور یکنواخت می‌ریزد.

علت این پدیده چیست؟ عملی را که پس از باز کردن شیر C (شکل ۵۸) در داخل ظرف صورت میگیرد، در ذهن خود تعقیب کنید. قبل از هر چیز آب داخل لوله شیشه‌ای بیرون میریزد و سطح آب داخل لوله تا انتهای آن پائین می‌آید. پس از آن سطح آب داخل ظرف پائین می‌آید و هوای خارج از راه لولهٔ شیشه‌ای داخل ظرف میشود و از داخل آب به صورت حباب‌هائی به قسمت بالائی ظرف میرود. حالا فشار بر تمام سطح B مساوی یک اتمسفر است. پس، آب از شیر C فقط با فشار BC میریزد، زیرا میان فشار جو داخل و خارج ظرف تعادل بر قرار میشود. و از آنجا که ارتفاع قشر آب BC ثابت میماند، هیچ تعجبی ندارد که آب از شیر C همیشه با یک سرعت میریزد.

حالا بکوشید به سؤال زیر جواب بدهید: اگر چوب‌پنبه B را که در سطح انتهای لوله قرار دارد، در بیاوریم آب از سوراخ آن با چه سرعتی خواهد ریخت؟

معلوم میشود که آب از آن سوراخ اصلاً نخواهد ریخت (البته اگر سوراخ بقدری کوچک باشد که بتوان پهنای آن را در نظر نگرفت. در غیر اینصورت آب تحت فشار قشری از آب که ارتفاع آن مساوی پهنای سوراخ است، خواهد ریخت). واقعاً هم در اینجا فشار از داخل و خارج مساوی یک اتمسفر است و هیچ چیز سبب ریختن آب نمیشود.

حالا اگر چوب‌پنبه A را که بالاتر از انتهای پائینی لوله قرار دارد، در بیاوریم، نه فقط آب از ظرف نمی‌ریزد، بلکه هوای خارج هم به داخل آن میرود. چرا؟ به دلیل بسیار ساده‌ای: در داخل این قسمت از ظرف فشار هوا کمتر از جو خارج است.

این ظرف با این ویژگی‌های عجیب را ماریوت فیزیسین مشهور اختراع کرده و به «ظرف ماریوت» معروف است.

بار هوا

در اواسط قرن ۱۷ میلادی اهالی شهر رهانسبورگ و بارون‌های حاکم آلمان که به سرکردگی امپراطور به آنجا آمده بودند، منظره حیرت‌آوری را مشاهده کردند: ۱۶ رأس اسب با تمام نیرو میکوشیدند دو نیمکره مسی‌را که روی هم گذاشته شده بود، از هم جدا کنند. چه چیز آنها را به هم چسبانده بود؟ «هیچ چیز»، هوا. با وجود این، هشت اسب از یک سو و هشت اسب دیگر از سوی دیگر میکشیدند و نمیتوانستند آنهارا از هم جدا کنند. به این ترتیب اوتو فون هریکه شهردار آنجا به همه نشان داد که هوا بهیچوجه «هیچ» نیست، بلکه وزن دارد و بر همه اجسام روی زمین با نیروی قابل ملاحظه‌ای فشار می‌آورد.

این آزمایش ۸ ماه مه سال ۱۶۵٤ در محیط بسیار با شکوهی به موقع اجرا گذاشته شد. با اینکه این واقعه در بحبوحهٔ نزاع ها و بی‌سر و سامانی‌های سیاسی و جنگ‌های خانمان‌برانداز روی داد، شهردار دانشمند توانست توجه همه را به تحقیقات علمی خویش جلب کند.

شرح آزمایش مشهور «نیمکره‌های ماگدبورگ» در کتاب‌های درسی فیزیک هست. با وجود این یقین دارم که خوانندگان این داستان را از زبان خود هریکه، این فیزیسین برجسته که گاهی وی را «گالیله آلمان» مینامند، با میل و رغبت گوش خواهند کرد. در سال ۱۶۷۲ در آمستردام کتاب بزرگی به زبان لاتینی انتشار یافت که در آن تعداد بسیار زیادی از آزمایش‌های وی شرح داده شده و مانند همهٔ کتاب‌های آن زمان نام طویل و درازی دارد، آن این است:

اوتو فون هریکه
آزمایش‌های معروف به آزمایش‌های جدید ماگدبورگ برروی
فضای خالی از هوا
که در ابتدا بوسیله کاسپار شوت پروفسور ریاضیات
در دانشگاه ورتسبورگ شرح داده شده است.
منتشره از طرف شخص مؤلف
که با آزمایش‌های گوناگون تازه مفصل‌تر و
کامل‌تر شده است.

فصل ۲۳ این کتاب به آزمایش مورد نظر ما اختصاص داده شده است. ترجمه کامل آن‌را نقل میکنیم:

«آزمایشی که نشان میدهد فشار هوا دو نیمکره را چنان محکم به یکدیگر میچسباند که با زور ۱۶ رأس اسب نمیتوان آنهارا از هم جدا کرد.

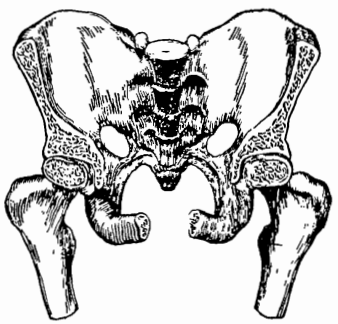
من دو نیمکرهٔ مسی هر یک به قطر سه چهارم گز ماگدبورگ* سفارش دادم. اما در واقع

* گز ماگدبورگ معادل ۵۵۰ میلیمتر.

قطر آنها فقط $\frac{۶۷}{۱۰۰}$ گز بود، زیرا استادان، طبق معمول، نتوانسته بودند آنچه‌را لازم بود بطور دقیق بسازند. دو نیمکره کاملاً مساوی بودند. در یکی از نیمکره‌ها شیری کار گذاشته شده بود. بوسیله این شیر میتوان هوای داخل را بیرون کشید و مانع دخول هوای خارج به داخل شد. بعلاوه به هر نیمکره ٤ حلقه جوش داده بودند و طناب‌هائی که به ساز و برگ اسب‌ها بسته شده بود، از داخل این حلقه‌ها میگذشت. من دستور دادم یک حلقه چرمی نیز بدوزند. حلقه به مخلوط موم و جوهر سقز آغشته شده بود و وقتی نیمکره‌ها از دو طرف به آن فشار می‌آوردند، مانع ورود هوا به داخل نیمکره‌ها میشد. لولهٔ تلمبهٔ هوائی را به شیر نصب کردند و هوای داخل کره‌را بیرون کشیدند. آنوقت معلوم شد که دو نیمکره که حلقهٔ چرمی میان آنها بود، با چه نیروئی به یکدیگر فشرده میشدند. فشار هوای خارج چنان آنهارا به یکدیگر میفشرد که ۱۶ اسب (با خیز) یا اصلاً نمیتوانستند آنهارا از هم جدا کنند یا فقط به زحمت جدا میکردند. وقتی نیمکره‌ها در برابر فشار تمام نیروی اسب‌ها تاب نمی‌آوردند و از هم جدا میشدند، صدائی مانند غرش توپ برمیخاست.

اما کافی بود با چرخاندن شیر راه هوا به درون کره را باز کنیم تا بتوان نیمکره‌ها را با دست از یکدیگر جدا کرد».

با یک محاسبه ساده میتوان فهمید که چرا برای جدا کردن دو قسمت کرهٔ خالی از هوا چنین نیروی زیادی (نیروی ۸ اسب از هر طرف) لازم است. هوا بر هر سانتیمتر مربع فشاری معادل یک کیلوگرم وارد می‌آورد. سطح دایرهٔ* به قطر ۰/۶۷ گز (۳۷ سانتیمتر) معادل ۱۰۶۰ سانتیمتر مربع است. پس فشار جو بر هر نیمکره باید بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم (یک تن) باشد. بنابر این، ۸ اسب یک طرف و ۸ اسب طرف دیگر میبایست با چنان نیروئی بکشند که فشار هوای خارج‌را برطرف سازند.



شکل ۵۹ — استخوان‌های مفاصل لگن خاصرهٔ ما در اثر فشار جو از هم نمیپاشند، همانطور که نیمکره‌های ماگدبورگ در نتیجهٔ فشار جو از هم جدا نمیشوند.

ظاهراً این بار برای هشت اسب (از هر طرف) بار چندان زیادی نیست. اما فراموش نکنید که وقتی اسب بار یک تنی‌را میکشد، نیروی معادل یک تن‌را برطرف نمیسازد، بلکه نیروئی بمراتب کمتر، یعنی همانا نیروی اصطکاک چرخ‌ها را به محور و به راه برطرف میسازد. و این نیرو، مثلاً در جاده، فقط معادل در حدود پنج درصد بار، یعنی برای یک تن معادل ۵۰ کیلوگرم است. (بعلاوه وقتی هشت اسب متفقاً نیروی خودرا بکار می‌اندازند، بطوریکه تجربه نشان داده، ۵۰ درصد نیروی کشش تلف میشود).

---

*سطح دایره در نظر گرفته میشود، نه سطح کره، زیرا فشار اتمسفر فقط وقتی معادل یک کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است که با زاویهٔ قائمه بر سطح وارد شود. برای سطح‌های مایل میزان فشار کمتر است، در این مورد ما تصویر عمودی سطح کره‌را بر سطح مستوی، یعنی سطح بزرگترین دایره را در نظر میگیریم.

بدین ترتیب، نیروی کشش یک تن برای هشت اسب معادل بار ارابه ۲۰ تنی است. این است آن بار هوا که اسب‌های شهردار ماگدبورگ میبایست ببرند! درست مثل آن بود که آنها بخواهند لکوموتیوی‌را که چندان بزرگ نبوده و ضمناً روی ریل هم قرار نداشت، از جا حرکت بدهند.

حساب شده است که یک اسب کشش نیرومند برای کشیدن ارابه نیروئی معادل فقط ۸۰ کیلوگرم به کار میبرد*. بنابر این برای از هم جدا کردن نیمکره‌های ماگدبورگ، بشرط کشش یکنواخت، نیروئی معادل $\frac{1000}{80}$ یعنی ۱۳ اسب از هر طرف لازم بود**.

لابد خوانندگان تعجب خواهند کرد، وقتی بدانند که برخی از مفاصل اسکلت ما به همان دلیلی از هم جدا نمیشوند که نیمکره‌های ماگدبورگ از هم جدا نمیشدند. مفصل لگن خاصرهٔ ما چیزی شبیه به نیمکره‌های ماگدبورگ است. میتوان این مفصل را از عضلات و رگ و پی‌ها پاک کرد و باوجود این، استخوان ران نخواهد افتاد، زیرا فضای میان مفصل خالی از هواست و فشار اتمسفر دو استخوان را به هم میفشارد.

فواره‌های تازه هرون

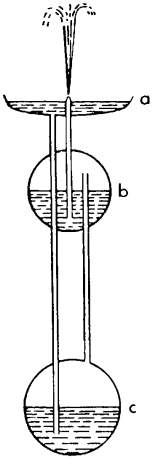
لابد خوانندگان گرامی با آن نوع فوارهٔ معمولی که به هرون مکانیسین دوران باستان نسبت میدهند، آشنائی دارند. قبل از آنکه به شرح و توصیف تازه‌ترین انواع این دستگاه بسیار جالب بپردازیم، ساختمان فوارهٔ هرون‌را یادآور میشویم. فوارهٔ هرون (شکل ۶۰) از سه ظرف عبارت است که ظرف بالائی a سرباز و دو ظرف دیگر b و c کرویشکل است و هوا به داخل آنها نفوذ نمیکند. ظرف‌ها بوسیله سه لوله، بصورتیکه در شکل نشان داده شده، به یکدیگر مربوط هستند. وقتی در ظرف a کمی آب هست و کره b پر از آب و کره c پر از هواست، فواره شروع به کار میکند: آب از راه لوله از a به c میریزد و هوارا از آنجا به کرهٔ b میراند، آب کرهٔ b تحت فشار هوای واردشده، از لوله بالا میرود و بر روی ظرف a فواره میزند.

ساختمان قدیمی فواره هرون چنین است. در زمان ما یک نفر دبیر ایتالیائی که دارای ذوق اختراع است، با وسائل محقر آزمایشگاه فیزیک دبیرستان ساختمان فوارهٔ هرون را ساده کرده و انواعی از آن را ساخته است که هر کس میتواند با وسائل بسیار ساده بسازد (شکل ۶۱). او بجای کره‌های شیشه‌ای، شیشه‌های معمولی دواخانه و بجای لوله‌های شیشه‌ای یا فلزی، لوله‌های لاستیکی بکار برده است. سوراخ کردن ظرف بالائی ضرورت ندارد، میتوان، بطوریکه در شکل ۶۱ در سمت چپ نشان داده شده، سر لوله‌های لاستیکی را به درون ظرف برد.

---

*با سرعت ۴ کیلومتر در ساعت. نیروی کشش هر اسب را بطور متوسط معادل ۱۵ درصد وزن آن اسب میگیرند. اسب سبک در حدود ۴۰۰ کیلوگرم و اسب سنگین ۷۵۰ کیلوگرم وزن دارد. نیروی کشش در مدت بسیار کمی (آغاز بکار بردن نیرو) ممکن است بمراتب بیش از این باشد.

**توضیح علت آن را که چرا از هر طرف ۱۳ اسب لازم است، خوانندگان میتوانند در کتاب «مکانیک برای سرگرمی» تألیف اینجانب مطالعه فرمایند.

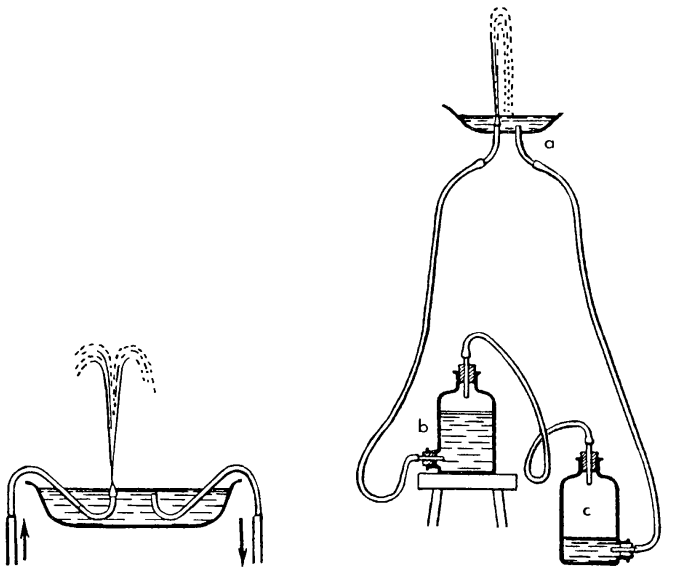


شکل ۶۰ — فوارهٔ باستانی هرون.

با این تغییر ساختمان بکار بردن دستگاه نیز بمراتب راحت‌تر و سان‌تر است. وقتی تمام آب شیشه b از راه ظرف a به شیشه c ریخت، میتوان فقط جای شیشه‌های b و c را عوض کرد تا فواره از نو شروع به کار کند. البته نباید فراموش کرد که کلاهک را باید از سر یک لوله به سر لوله دیگر نصب کرد.

حسن دیگر این فوارهٔ تغییر شکل یافته آنستکه میتوان به میل خود محل ظرف‌ها را تغییر داد و بررسی کرد که میزان اختلاف سطح ظرف‌ها در ارتفاع فواره چه تأثیری میبخشد.

اگر مایلید که ارتفاع فواره را چندین بار افزایش بدهید، میتوانید در دستگاه نامبردهٔ بالا بجای آب، جیوه بریزید و بجای هوا از آب استفاده کنید (شکل ۶۲). طرز کار دستگاه معلوم است: جیوه از شیشه c به شیشه b میریزد، آب‌را با فشار از آن بیرون میراند و آب فواره میزند. میدانیم که جیوه ۱۳/۵ بار از آب سنگین‌تر است، بنا بر این میتوانیم حساب کنیم که در اینصورت ارتفاع فواره باید چقدر باشد. اختلاف سطح ها را بترتیب با h_1 ، h_2، h_3 نمایش میدهیم، حالا بررسی میکنیم که جیوه تحت تأثیر چه نیروهائی از ظرف c به ظرف b میریزد (شکل ۶۲). به جیوهٔ داخل لولهٔ اتصال از دو طرف فشار می‌آید.



شکل ۶۱ — نوع معاصر تغییر شکل‌یافتهٔ فوارهٔ هرون. نوع دیگر ظرف a .

از طرف راست فشار اختلاف سطح ستون‌های جیوه یعنی h_2 (که معادل ۱۳/۵ برابر ستون آب مرتفع، یعنی h_2 ۱۳/۵ است) بعلاوه فشار ستون آب h_1. از طرف چپ ستون آب h_3 فشار می‌آورد. در نتیجه جیوه تحت تأثیر نیروئی قرار میگیرد که مساوی است به

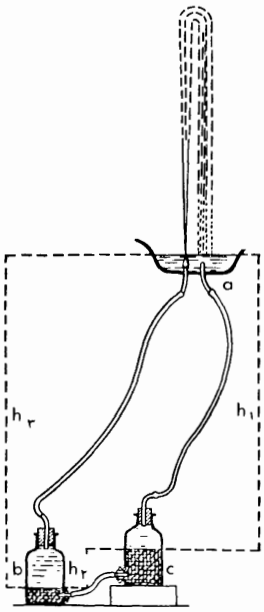
$$13/5\, h_2 + h_1 - h_3$$

اما $h_3 - h_1 = h_2$ ؛ بنابر این میتوانیم بجای $h_1 - h_3$ منهای h_2 را بگذاریم و خواهیم داشت :

$$13/5\, h_2 - h_2 = 12/5\, h_2$$

بدین ترتیب، جیوه با فشاری معادل ستون آبی به ارتفاع h_2 ۱۲/۵ وارد ظرف b میشود. به این دلیل، از لحاظ تئوری آب باید به ارتفاعی مساوی اختلاف سطح جیوه در دو ظرف شیشه‌ای ضرب در ۱۲/۵ فواره بزند. این ارتفاع تئوریک در اثر اصطکاک قدری تقلیل می‌یابد.

باوجود این، دستگاه نامبرده امکان میدهد که بتوان فواره‌ای ساخت که آب در آن به ارتفاع زیادی بالا برود. مثلاً برای اینکه آب تا ارتفاع ۱۰ متر فواره بزند، کافی است که یکی از شیشه‌ها را یک متر بالاتر از دیگری قرار بدهیم. جالب استکه طبق آنچه از محاسبه بالا معلوم میشود، ارتفاع ظرف a نسبت به شیشه‌هائی که در آن جیوه هست، در ارتفاع فوارهٔ آب کوچکترین تأثیری ندارد.

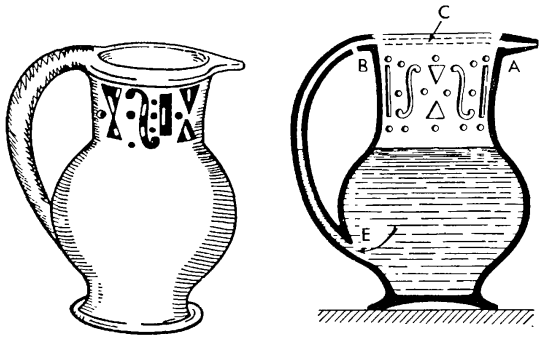


شکل ۶۲ — فواره‌ای که تحت تأثیر فشار جیوه کار میکند. آب فواره به ارتفاع تقریباً ده برابر اختلاف سطح جیوه بالا میرود.

ظرف‌های فریبنده

در قدیم، در قرون ۱۷ و ۱۸ میلادی، اعیان و اشراف برای تفنن از اسباب‌بازی آموزنده‌ای استفاده میکردند. لیوان یا کوزه‌ای میساختند که در قسمت بالای آن سوراخ های بزرگی بصورت نقش و نگار تعبیه شده بود (شکل ۶۳). در چنین لیوانی شراب میریختند و به مهمانی از طبقات غیر اشراف که میخواستند اورا دست بیاندازند، تعارف میکردند. چطور باید از این لیوان شراب خورد؟ لیوان را نمیتوان کج کرد، زیرا شراب از سوراخ های متعدد آن میریزد و یک قطره از آن به لب و دهن نمیرسد.

اما کسی که بر راز ساختمان اینگونه لیوان‌ها آگاهی داشت — این راز در شکل ۶۳ سمت راست نشان داده شده است — انگشتش را روی سوراخ B میگذاشت، لبه لوله‌مانند لیون‌را به دهن میگرفت و بی‌آنکه لیوان را کج کند، میمکید. شراب از سوراخ E از داخل دسته مجوف لیوان بالا میرفت و سپس از راهی که در داخل لبه لیوان تعبیه شده بود به دهان میرسید.



شکل ۶۳ — کوزهٔ فریبندهٔ اواخر قرن ۱۸ و راز ساختمان آن.

تا چندی پیش کوزه‌گران ما نیز از این نوع کوزه‌ها و لیوان‌ها میساختند. من در خانهٔ یک نفر نمونه کار این کوزه‌گران را دیدم که راز ساختمان ظرف با مهارت تمام پنهان شده بود. روی لیوان نوشته بودند: «بنوش، اما روی خودت نریز».

آب در استکانی که وارونه باشد، چقدر وزن دارد؟

شما خواهید گفت:

— البته که هیچ وزنی ندارد، آب در این استکان نمیماند و میریزد.

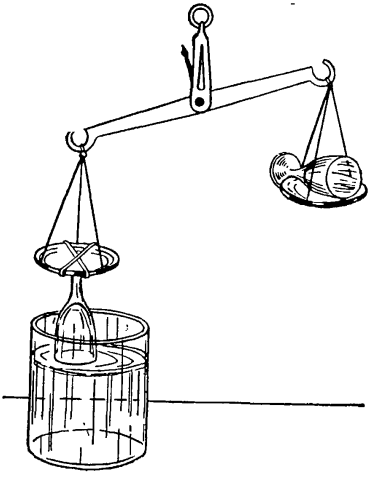
من میپرسم:

— خوب، اگر نریخت، آنوقت چطور؟

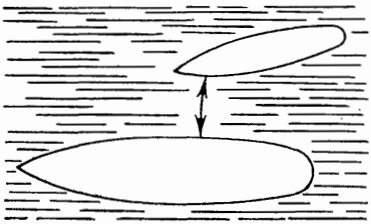
واقعاً هم میتوان آب‌را در استکان وارونه‌شده طوری نگاه داشت که نریزد. این حالت در شکل ۶۴ نشان داده شده است. جام شیشه‌ای وارونه‌شده که به ته یک کفه ترازو بسته شده، پر از آب است و آب از آن نمیریزد، زیرا لبه جام در داخل ظرف آبی است. در کفهٔ دیگر ترازو جام دیگری عین این جام گذاشته شده است.

حالا، کدام کفهٔ ترازو پائین می‌آید؟

کفه‌ای که جام پر آب وارونه‌شده به آن بسته شده است، پائین می‌آید. بر این جام از بالا یک اتمسفر کامل فشار وارد می‌آید، اما از پائین یک اتمسفر منهای وزن آبی که در لیوان است. برای



شکل ۶۴ — کدام کفهٔ ترازو پائین می‌آید؟



شکل ۶۵ — موقعیت کشتی‌های «المپیک» و «هائوک» قبل از تصادف.

توازن کفه‌ها میبایست جامی‌را که در کفهٔ دیگر ترازو قرار دارد، نیز پر آب کرد.
بنابر این، در این شرایط وزن آب در استکان وارونه شده مساوی وزن آب در استکانی است که وارونه نشده باشد.

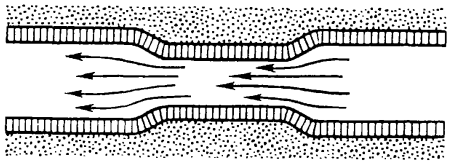
به چه علت کشتی‌ها یکدیگر را جذب میکنند؟

در پائیز سال ۱۹۱۲ برای «المپیک» کشتی اقیانوس‌پیما که در آن زمان یکی از بزرگترین کشتی‌های جهان بود، حادثه زیر روی داد. «المپیک» در دریای آزاد شناور بود، «هائوک» رزم‌ناو زرهی که بمراتب از «المپیک» کوچکتر بود، در فاصله چند صد متر تقریباً موازی با آن با سرعت زیادی میگذشت. وقتی دو کشتی در موقعیتی که در شکل ۶۵ تصویر شده است قرار گرفتند، حادثه‌ای غیرمنتظره روی داد: کشتی کوچک بسرعت راه خود را کج کرد و، گوئی تحت تأثیر نیروئی، به طرف کشتی بزرگ پیچید و بی‌آنکه از حرکت سکان متابعت کند، تقریباً بطور مستقیم به طرف کشتی بزرگ رفت. دو کشتی به هم خوردند. دماغه «هائوک» به پهلوی «المپیک» خورد. ضربت بقدری شدید بود که «هائوک» پهلوی «المپیک» را سوراخ کرد و سوراخ بزرگ بود.

وقتی این حادثهٔ عجیب در دادگاه دریائی مورد رسیدگی قرار گرفت، ناخدای کشتی کوه‌پیکر «المپیک» را مقصر دانستند، زیرا — طبق آنچه در حکم دادگاه ذکر شده بود — او هیچ فرمانی نداده بود که به «هائوک» که مستقیماً به طرف «المپیک» میرفت، راه بدهند.

بنابر این، دادگاه در این حادثه هیچ چیز غیر عادی ندیده، علت حادثه را بطور ساده اهمال و بیکفایتی ناخدا تشخیص داده بود و بس. در صورتیکه در اینجا حالت کاملاً غیر مترقبه‌ای وجود داشت و آن، حادثه جذب متقابل کشتی‌ها در دریا بود.

لابد، قبلاً نیز وقتی دو کشتی بموازات یکدیگر حرکت میکرده‌اند، چنین حوادثی روی میداده است. اما تا زمانی که کشتی‌های بسیار بزرگ نساخته بودند، این پدیده به این شدت ظاهر نمیشد. وقتی «شهرهای شناور» شروع به شکافتن سینهٔ اقیانوس‌ها کردند، پدیده جذب متقابل کشتی‌ها بمراتب بارزتر و مشهودتر شد. فرماندهان ناوهای جنگی هنگام سانور این پدیده را در نظر میگیرند و به حساب می‌آورند.

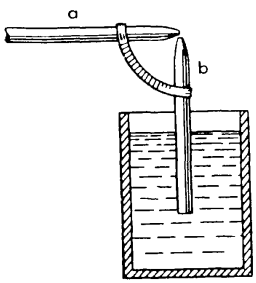


شکل ٦٦ — در قسمت‌های تنگ کانال سرعت جریان آب بیشتر و فشار آن بر دیواره‌ها کمتر از قسمت‌های گشاد است.

احتمال میرود سوانح بیشماری که برای کشتی‌های کوچک هنگام شناوری در مجاورت کشتی‌های بزرگ بازرگانی یا جنگی روی میداده، به علت همین پدیده بوده است.

علت این جذب متقابل چیست؟ البته، در اینجا صحبت جذب متقابل طبق قانون جاذبهٔ عمومی نیوتن اصلاً نمیتواند در میان باشد. ما در فصل چهارم دیدیم که این نیروی جاذبه فوق‌العاده ناچیز است. این پدیده به عللی بکلی از نوع دیگر، یعنی طبق قوانین جریان مایعات در لوله‌ها و کانال‌ها صورت میگیرد. میتوان ثابت کرد که اگر مایع در کانالی جریان داشته باشد که در یک جا تنگ و در جای دیگر گشاد است، در قسمت‌های تنگ سریع‌تر حرکت می‌کند و بر دیواره‌های کانال فشار کمتری می‌آورد و برعکس در قسمت‌های گشاد آرام‌تر حرکت میکند و بر دیواره‌ها فشار بیشتری می‌آورد. این اصل به «اصل برنولی» معروف است.

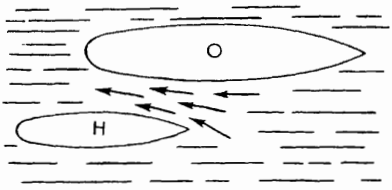
این اصل در مورد گازها نیز صادق است. این پدیده در آموزش گازها «پدیده کلمان — دزورم» (به نام دو فیزیسین که آن را کشف کرده‌اند) نام دارد، و اغلب آن را «تناقض آئروستاتیک» نیز مینامند. از قراری که میگویند، این پدیده نخستین بار بطور تصادفی و در شرایط زیر کشف شد. در یکی از معدن‌های فرانسه به کارگری دستور دادند با سپر دهانهٔ گالری‌را که از خارج هوای فشرده به معدن وارد میشد، ببندد. کارگر مدت زیادی میکوشید و با جریان هوا دست و پنجه نرم میکرد، اما ناگهان سپر با چنان نیروئی دهانه گالری‌را بست که اگر به اندازه کافی بزرگ نمیبود، به درون دریچه تهویه کشیده میشد و کارگر را که سخت ترسیده بود، نیز با خود میبرد.



شکل ٦٧ — گردپاش.

ضمناً یادآور میشویم که گردپاش نیز بر اثر همین خصوصیت جریان گازها کار میکند. وقتی به لولهٔ افقی a (شکل ٦٧) که نوک آن تنگ و باریک است، میدمیم، هوا هنگام عبور از جای تنگ فشارش تقلیل مییابد. بدین ترتیب از بالای نوک لولهٔ قائم b هوای با فشار کم میگذرد و در نتیجه فشار جو، مایع داخل ظرف را از داخل لوله b به بالا میراند. وقتی مایع به سوراخ نوک لوله رسید، سر راه هوائی که به لوله a دمیده شده است، قرار میگیرد و در داخل آن بصورت گرد درمی‌آید.

حالا می‌فهمیم که علت جذب متقابل کشتی‌ها چیست. وقتی دو کشتی بموازات یکدیگر حرکت میکنند، گوئی در میان



شکل ۶۸ — جریان آب در میان دو کشتی شناور .

دیواره‌های آنها کانال آبی بوجود می‌آید. در کانال معمولی دیواره‌ها ساکن و آب متحرک، در اینجا، برعکس، آب ساکن و دیواره‌ها متحرک است اما این امر در عمل نیروها کوچکترین تغییری بوجود نمی‌آورد، یعنی در قسمت‌های تنگ کانال متحرک فشار آب بر دیواره‌های کشتی‌ها کمتر از فشار آب محیط اطراف کشتی‌ها بر سایر قسمت‌ها است. بعبارت دیگر بر دیواره‌های کشتی‌ها که رو به یکدیگر قرار دارند، آب فشار کمتری می‌آورد تا بر قسمت‌های خارجی هر یک از کشتی‌ها.

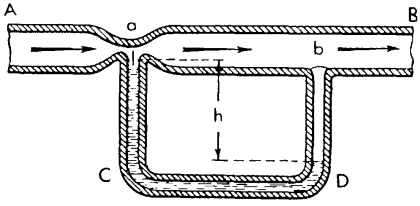
در نتیجهٔ این عمل چه حادثه‌ای باید روی بدهد؟ کشتی‌ها باید تحت تأثیر فشار آب خارجی به طرف یکدیگر حرکت کنند و، طبیعی است که کشتی کوچکتر، بیشتر و سریع‌تر تغییر مکان میدهد، در حالیکه کشتی بزرگ و عظیم تقریباً در جای خود بی‌حرکت میماند. به این دلیل است که وقتی یک کشتی بزرگ بسرعت از کنار کشتی کوچکی میگذرد، عمل نیروی جذب با شدت خاصی ظاهر میشود.

بدین ترتیب، علت جذب متقابل کشتی‌ها عمل مکنده آب جاری است. علت خطرناک بودن تندآب‌ها برای کسانی که در رودخانه آبتنی میکنند و علت عمل مکندهٔ گرداب‌ها نیز همین است. میتوان حساب کرد که جریان آب رودخانه با سرعت متوسط یک متر در ثانیه بدن آدم‌را با نیروئی معادل ۳۰ کیلوگرم به وسط رودخانه میکشد! در برابر چنین نیروئی مقاومت آسان نیست، بخصوص در داخل آب که وزن بدن آدم در حفظ استواری به او کمکی نمیکند. بالاخره، علت عمل مکنده قطاری که بسرعت حرکت میکند نیز همان «اصل برنولی» است. قطاری که با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت حرکت میکند، آدمی را که در نزدیک آن ایستاده باشد، با نیروئی در حدود ۸ کیلوگرم به سوی خود میکشد.

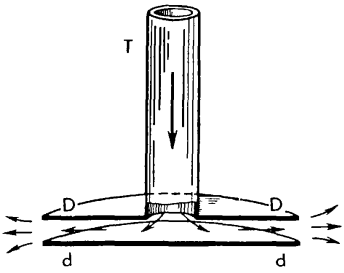
گرچه پدیده‌های مربوط به «اصل برنولی» بهیچوجه نادر نیستند، با وجود این اشخاص غیر متخصص از آنها چندان اطلاعی ندارند. به این دلیل سودمند خواهد بود اگر قدری مفصل‌تر و مشروحتر این اصل‌را بررسی کنیم. در زیر قسمتی از مقاله‌ای را که در یک مجلهٔ علمی عامه‌فهم در این موضوع انتشار یافته است، نقل میکنیم.

اصل برنولی و نتایج آن

اصلی که نخستین بار در سال ۱۷۲۶ از طرف دانییل برنولی بیان شده، بقرار زیر است: چنانچه سرعت جریان آب یا هوا کم باشد، فشار آن زیاد است و اگر سرعت زیاد باشد، فشار کم است. این اصل برخی محدودیت‌ها دارد. اما ما در اینجا به بررسی آن نمیپردازیم.



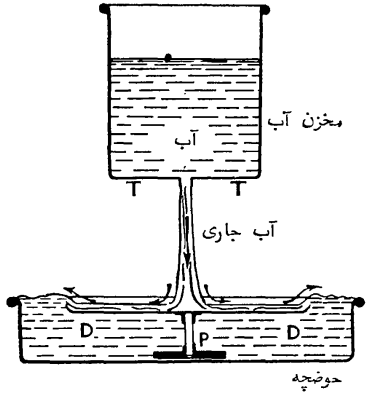
شکل ۶۹ — نمایش اصل برنولی. فشار در قسمت تنگ (a) لولهٔ AB کمتر از فشار در قسمت گشاد آن (b) است.



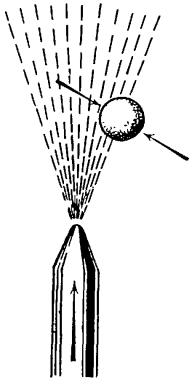
شکل ۷۰ — آزمایش با دو صفحه.

در شکل ۶۹ این اصل نشان داده شده است.

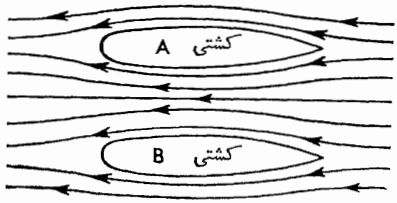
هوا در لولهٔ AB جریان دارد. جائی که مقطع لوله — مانند a — کوچک است، سرعت جریان هوا زیاد است، جائی که مقطع لوله — مانند b — بزرگ است، سرعت جریان هوا کم است. جائی که سرعت زیاد است، فشار کم است و جائی که سرعت کم است، فشار زیاد است. در نتیجهٔ کم بودن فشار هوا در نقطه a، مایع داخل لوله C بالا می‌آید و در عین حال در نتیجهٔ زیاد بودن فشار هوا در نقطهٔ b مایع داخل لولهٔ D پائین میرود.



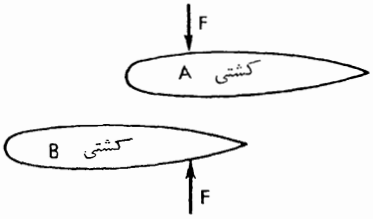
شکل ۷۱ — وقتی آب از مخزن روی صفحهٔ DD میریزد، صفحه روی میلهٔ P قدری بالا میرود.



شکل ۷۲ — گلوله‌ای که در داخل فواره هوا معلق میماند.



شکل ۷۳ — دو کشتی که به موازات هم حرکت میکنند، گوئی یکدیگر را جذب میکنند.



شکل ۷۴ — وقتی کشتی‌ها به جلو حرکت میکنند، دماغه کشتی B به طرف کشتی A می‌پیچد.

در شکل ۷۰ لولهٔ T بر روی صفحهٔ مسی DD محکم نصب شده است. هوا با فشار در داخل لولهٔ T جریان مییابد و بعد از فضای میان صفحهٔ DD و صفحهٔ آزاد dd میگذرد*. سرعت جریان هوای میان دو صفحه زیاد است، اما هر چه هوا به کنارهٔ صفحه‌ها نزدیک‌تر میشود، سرعت آن بشدت تقلیل مییابد، زیرا مقطع هوای جاری زیاد افزایش مییابد و اینرسی هوائی که از فضای میان دو صفحه خارج میشود، از میان میرود. اما فشار هوائی که صفحه‌را احاطه کرده، زیاد است، زیرا سرعت آن کم است، در صورتیکه فشار هوای میان دو صفحه کم است، زیرا سرعت آن زیاد است. بنا بر این هوائی که صفحه‌ها را احاطه کرده و آنهارا به یکدیگر نزدیک میکند، بیش از جریان هوای میان دو صفحه که آنهارا از یکدیگر دور میکند، روی صفحه‌ها تأثیر میبخشد. در نتیجه ، هرچه جریان هوا در لولهٔ T سریع‌تر باشد، صفحه dd بیشتر مکیده و به صفحه DD نزدیکتر میشود.

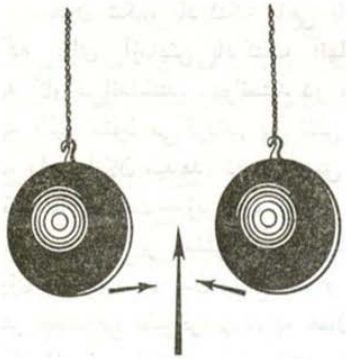
در شکل ۷۱ دستگاهی نظیر شکل ۷۰، اما با آب، نشان داده شده است. آبی که روی صفحه DD در سطحی پائین‌تر از سطح آب حوضچه، بسرعت جریان دارد، وقتی از لبه‌های صفحه DD میگذرد، خود بخود تا سطح آب آرام حوضچه بالا میرود. به این دلیل فشار آب آرام زیر صفحه بیش از فشار آب جاری روی صفحه است و در نتیجه صفحه بالا میرود. میلهٔ P مانع حرکت صفحه به اطراف میشود.

در شکل ۷۲ گلوله کوچک سبکی نشان داده شده که در فواره هوا شناور است. جریان هوا از زیر به گلوله میخورد و نمیگذارد گلوله بیافتد. وقتی گلوله از داخل فوارهٔ هوا خارج شود، هوای محیط اطراف دو باره آن را به داخل فوارهٔ هوا برمیگرداند، زیرا فشار هوای محیط اطراف گلوله که سرعت کمی دارد، زیاد و فشار هوای فواره که سرعت زیادی دارد، کم است.

در شکل ۷۳ دو کشتی نشان داده شده است که در آب ساکن کنار یکدیگر حرکت میکنند، و این عیناً مثل آنستکه دو کشتی در کنار یکدیگر ایستاده باشند و آب اطراف آنها جریان داشته

---

*این آزمایش‌را میتوان با یک قرقره و دایرهٔ کاغذی کوچکی ساده‌تر انجام داد. برای آنکه دایره کاغذی از روی قرقره کنار نرود، سنجاقی‌را که از داخل سوراخ قرقره میگذرد، به آن فرو میکنند.



شکل ۷۵ — اگر میان دو گلولهٔ سبک آویزان هوا بدمیم، گلوله‌ها آنقدر به یکدیگر نزدیک میشوند تا به هم بچسبند.

باشد. سرعت جریان آب فضای تنگ و محدود میان دو کشتی بیشتر از سرعت جریانِ آب دو طرف کشتی‌ها است. به این دلیل فشار آب میان دو کشتی کمتر از فشار آب دو طرف کشتی‌ها است، و فشار اطراف که بیشتر است، کشتی‌ها را به یکدیگر نزدیک میکند. دریانوردان بخوبی میدانند که وقتی دو کشتی در کنار هم حرکت میکنند، یکدیگر را بشدت به سوی خود میکشند.

وقتی دو کشتی، بطوری که در شکل ۷۴ نشان داده شده، پشت سر یکدیگر حرکت میکنند، ممکن است حادثه‌های جدی‌تری روی بدهد. دو نیروی F و F که کشتی‌ها را به یکدیگر نزدیک میکند، در عین حال آنهارا می‌پیچاند، ضمناً کشتی B با نیروی زیادی به طرف کشتی A می‌پیچد. در این مورد تصادم تقریباً اجتناب ناپذیر است، زیرا سرعت پیچیدن کشتی B بیش از آنستکه بتوان با فرمان کشتی سمت حرکت کشتی‌را تغییر داد.

پدیده‌ای را که در مورد شکل ۷۳ گفته شد، با دمیدن هوا در فاصله میان دو توپ لاستیکی سبک که بطوریکه در شکل ۷۵ نشان داده شده، آویزان هستند، نیز میتوان نمایش داد. اگرمیان این دو توپ هوا بدمیم به یکدیگر نزدیک میشوند و به‌هم میخورند.

نقش بادکنک ماهی

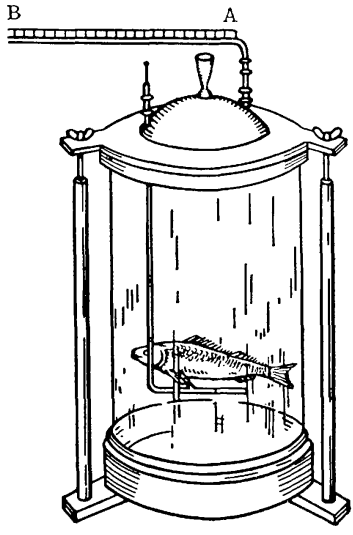
معمولاً در باره نقشی که کیسهٔ مملو از هوای داخل بدن ماهی دارد مطالب زیر را که ظاهراً هم خیلی شبیه به حقیقت است، میگویند و مینویسند: ماهی برای آنکه از طبقات پائینی آب به طبقات بالاتر بیاید، بادکنک خود را باد میکند. آنوقت حجم بدنش افزایش مییابد و وزن آب هم حجم بدنش از وزن خود ماهی بیشتر میشود و طبق قانون اجسام شناور بالا می‌آید. برای آنکه حرکت به طرف بالا را متوقف سازد یا پائین برود، برعکس، بادکنک خودرا منقبض میکند، در نتیجه حجم بدنش و در عین حال وزن آب هم‌حجم آن کم میشود و طبق قانون ارشمیدس، ماهی پائین میرود.

این تصور ساده و سطحی در باره نقش بادکنک ماهی از دوره دانشمندان آکادمی فلورانس (قرن ۱۷ میلادی) سرچشمه میگیرد و در سال ۱۶۸۰ از طرف پروفسور بورلی اظهار شد. این نظریه در مدت بیش از ۲۰۰ سال بی‌چون‌وچرا مورد قبول بود و در کتاب‌های درسی مدارس جای خودرا محکم کرده بود. فقط در اثر تحقیقات و آثار محققین دوران جدید (مورو و شاربونل) بی‌اساس بودن این نظریه کاملاً روشن شد.

بدون شک، بادکنک ماهی با شناوری ماهی ارتباط بسیار نزدیک دارد، زیرا ماهی‌هائی که برای آزمایش بادکنک آنهارا میبریدند و در می‌آوردند، فقط وقتی بشدت بال‌هایشان‌را به کار می‌انداختند، میتوانستند در نقطهٔ معینی در آب بمانند و همینکه بال‌هارا از کار می‌انداختند به پائین سقوط می‌کردند. پس نقش واقعی بادکنک ماهی چیست؟ بسیار محدود است: بادکنک به ماهی امکان میدهد که در عمق معینی — در عمقی که وزن آب هم‌حجم بدن ماهی مساوی وزن خود ماهی است — زیر آب بماند. وقتی ماهی با حرکت بال‌هایش پائین‌تر از این سطح میرود، آب از خارج بر بدنش فشار بیشتری می‌آورد، بادکنک‌را میفشارد و بدن ماهی‌را منقبض میکند. وزن آب هم حجم بدن ماهی کم و کمتر از وزن خود ماهی میشود و ماهی به پائین سقوط میکند. هر چه ماهی پائین‌تر برود، به همان نسبت فشار آب افزایش مییابد (پس از هر ۱۰ متر پائین رفتن یک اتمسفر) و بدن ماهی بیشتر منقبض میشود وبا سرعت بیشتری سقوط میکند.

وقتی ماهی با بکار انداختن بال‌هایش جائی‌را که در حال تعادل بود، ترک میکند و به طبقات بالاتر آب می‌آید، نیز همین عمل، اما در جهت عکس، صورت میگیرد. فشار از خارج به بدن ماهی تقلیل مییابد، اما فشار بادکنک (که تا این لحظه فشار گاز داخل آن با فشار آب اطراف ماهی تعادل داشت) از داخل بر بدن ماهی ثابت میماند در نتیجه حجم بدن ماهی زیاد میشود و ماهی بالا می‌آید. هر چه ماهی بیشتر بالا بیاید، حجم بدنش زیادتر میشود و در نتیجه سرعت بالا آمدن ماهی افزایش مییابد. ماهی قادر نیست با «منقبض کردن بادکنک» مانع این کار بشود، زیرا در دیواره‌های بادکنک ماهی نسج عضله‌ای که بتواند بطور فعال حجم آن را تغییر بدهد، وجود ندارد.

آزمایش زیر (شکل ۷۶) نشان میدهد که اینگونه انبساط غیر فعال بدن ماهی واقعاً صورت میگیرد. یک شاه‌ماهی را که بوسیلهٔ کلوروفرم بیهوش شده در ظرف آب سربسته‌ای میگذارند و فشار داخل آن‌را نزدیک به فشار آب در عمق معین دریا نگه میدارند. ماهی در سطح آب بی‌حرکت میماند و شکمش به طرف بالا است. وقتی ماهی‌را در عمق کمی زیر آب قرار بدهند از نو به سطح آب می‌آید، وقتی در نزدیک ته ظرف قرار بدهند، به ته ظرف میرود. اما در فاصله میان این دو سطح آب طبقه‌ای وجود دارد که ماهی در آن در حال تعادل میماند — نه پائین میرود و نه به سطح آب می‌آید. اگر آنچه‌را که هم اکنون در باره انبساط و انقباض بادکنک ماهی گفته شد، به یاد بیاوریم، همهٔ این مطالب برای ما مفهوم میشود.



شکل ۷۶ — آزمایش با شاه‌ماهی.

پس ماهی، برخلاف نظریه‌ای که شایع است، اصلاً نمیتواند بادکنک خود را بطور ارادی منبسط و منقبض کند. تغییر حجم بادکنک ماهی بطور غیر فعال و تحت تأثیر افزایش یا کاهش فشار خارجی (طبق قانون بویل —

ماریوت) صورت میگیرد. این تغییرات حجم برای ماهی نه فقط سودمند نیست، بلکه زیان‌آور نیز هست، زیرا، یا سبب سقوط با سرعت دائم‌التزید ماهی به کف دریا، یا موجب صعود با سرعت دائم‌التزاید آن به سطح آب میشود. بعبارت دیگر بادکنک به ماهی کمک میکند تا در حالت غیر متحرک تعادل خود را حفظ کند، اما این تعادل ناپایدار است.

نقش حقیقی بادکنک ماهی — تا آنجا که مربوط به شناوری باشد — این است. اما معلوم نیست که این عضو وظایف دیگری هم در بدن ماهی انجام میدهد یا نه، زیرا این عضو تا کنون برای ما بصورت معمائی باقی مانده است. در حال حاضر فقط نقش هیدروستاتیکی آن را میتوان کاملاً روشن شده دانست.

مشاهدات ماهیگیران نیز آنچه‌را که گفته شد، تایید میکند. وقتی از اعماق زیاد ماهی میگیرند، گاهی اتفاق می‌افتد که برخی از ماهی‌ها در وسط راه از تور رها میشوند، اما برخلاف انتظار، دو باره به همان عمقی که در آنجا صید شده بودند، بر نمیگردند، بلکه برعکس، با سرعت زیاده به سطح آب می‌آیند. در اینگونه ماهی‌ها گاهی مشاهده میشود که بادکنکشان باد کرده و از دهانشان بیرون زده است.

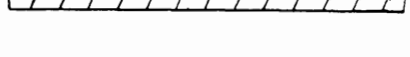
موج‌ها و گردبادها

بسیاری از پدیده‌های روزمره فیزیکی‌را نمیتوان بر اساس قوانین ابتدائی فیزیک توضیح داد. حتی پدیدهٔ تموج و تلاطم دریا هنگام باد را نمیتوان در چهارچوب برنامهٔ فیزیک دبیرستان بطور کامل و همه‌جانبه توضیح داد. پس علت امواجی که در دماغهٔ کشتی شناور در آب آرام به دو سو پراکنده میشوند، چیست؟ چرا وقتی باد میوزد پرچم به اهتزاز در می‌آید؟ چرا سطح شن‌های کنار دریا موج‌دار است؟ چرا دود از دودکش کارخانه توده توده و بصورت امواج بیرون می‌آید؟

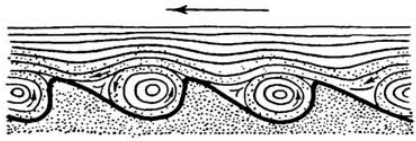
برای توضیح این پدیده‌ها و سایر پدیده‌های نظیر آنها باید خصوصیات جریان گردآبی مایعات و حرکت گردبادی گازهارا که بطور کلی حرکت گردبادی نام دارد، دانست. میکوشیم در اینجا در باره پدیده‌های گردبادی چند کلمه‌ای بگوئیم و خصوصیات عمده آنها را یادآور شویم، زیرا گمان نمیرود که در کتاب‌های درسی دبیرستان‌ها از گردبادها چیزی گفته شده باشد.

مایعی را در نظر مجسم میکنیم که در لوله جریان دارد. اگر تمام ذرات مایع در طول لوله روی خطوط موازی حرکت کنند، ما با ساده‌ترین نوع حرکت مایع، یعنی جریان آرام، یا به اصطلاح فیزیسین‌ها جریان «لامینر» سر و کار داریم. اما این نوع جریان بمراتب نادرتر از سایر انواع جریان‌ها، از جمله جریان ناآرام مایعات در لوله است، که مایعات از دیواره‌های لوله به طرف محور آن بصورت گرداب حرکت میکنند. این نوع جریان، جریان گردابی یا حرکت مغشوش نام دارد.

شکل ۷۷ — جریان آرام («لامینر») مایع در لوله.



شکل ۷۸ — جریان گردابی («مغشوش») مایع در لوله.



شکل ۷۹ — تشکیل امواجِ شنی در ساحل دریا در نتیجهٔ عمل گرداب‌ها.

شکل ۸۰ — علت حرکت موج‌مانند ریسمان در آب جاری، گرداب‌ها میباشند.

مثلاً آب در لوله‌های شبکهٔ آب شهرها (غیر از لوله‌های باریک که در آنها جریان لامینر است) اینطور جریان دارد. همیشه وقتی که سرعت مایع معینی در لولهٔ بقطر معین به حد معینی که سرعت بحرانی* نام دارد، میرسد، جریان گردابی مشاهده میشود.

اگر در مایع شفاف و زلالی که در لولهٔ شیشه‌ای جریان دارد، قدری پودر سبک وزن، مثلاً لیکوپودیم**، بریزیم، گرداب‌های مایع جاری در لوله‌را میتوان با چشم دید. در اینصورت گرداب‌هائی که از دیواره‌های لوله به طرف محور آن جریان دارند، بخوبی دیده میشوند.

این خصوصیت جریان گردابی در صنعت برای ساختن یخچال‌ها و دستگاههای سردکننده مورد استفاده قرار میگیرد. تمام ذرات مایعی که با حرکت مغشوش در لولهٔ با دیواره‌های سردشده جریان دارد، بمراتب سریع‌تر از مایعی که با حرکت غیر گردابی جریان دارد، با لوله سرد تماس پیدا میکنند. باید یادآور شد که مایعات بخودی خود خیلی کم ناقل حرارت هستند و چنانچه هم زده نشوند بسیار آهسته سرد یا گرم میشوند. فعل و انفعالات و مبادلهٔ حرارت که میان خون و سلول‌های اطراف آن بشدت صورت میگیرد نیز فقط به این دلیل امکان‌پذیر است که جریان خون در رگ‌ها گردابی است، نه لامینر.

آنچه در باره لوله‌ها گفته شد در مورد نهرها و بستر رودخانه‌ها نیز کاملاً صدق میکند. جریان آب در نهرها و رودخانه‌ها مغشوش است. وقتی سرعت جریان آب رودخانه را بدقت اندازه میگیرند، دستگاه، بخصوص در نزدیک کف رودخانه، نوسان میکند و این نوسان گواه بر آن است که سمت جریان دائماً تغییر میکند، یعنی جریان گردابی است. ذرات آب رودخانه، برخلاف آنچه معمولاً تصور میرود، نه فقط در طول بستر رودخانه، بلکه از ساحل‌ها به طرف وسط رودخانه نیز جریان دارند. به این دلیل نظریه‌ای که گویا در اعماق رودخانه حرارت آب در تمام سال یک اندازه و همانا ٤ درجهٔ سانتیگراد است، درست نیست. حرارت آب رودخانه (نه دریاچه) در نتیجه تغییر مکان ذرات آب در نزدیک کف رودخانه و سطح آب یکی*** است.

گرداب‌هائی که در کف رودخانه بوجود می‌آیند، ماسه‌های سبک را با خود میبرند و موجب پیدایش «امواج» شنی میشوند. در ساحل شنی دریا که امواج بر روی آن میغلتند نیز این پدیده

---

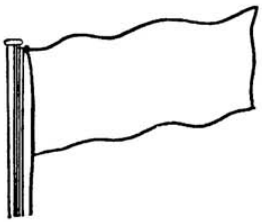
* سرعت بحرانی برای هر مایع با چسبندگی (ویسکوزیته) مایع نسبت مستقیم و با غلظت (جرم مخصوص) آن و قطر لوله‌ای که مایع در آن جاری است، نسبت معکوس دارد.

** لیکوپودیم پودری است زردرنگ و قابل اشتعال که از گیاهی از خانواده پنجه‌گرگیان درست میکنند و در طب، صنایع فلزسازی و آتشبازی مورد استفاده قرار میگیرد (مترجم).

*** به کتاب «آیا فیزیک میدانید!» تألیف اینجانب مراجعه کنید.

مشاهده میشود (شکل ۷۹). اگر جریان آب در نزدیک کف رودخانه آرام بود، سطح شن کف رودخانه صاف میشد.

بدین ترتیب، در نزدیک سطح اجسامی که آب بر روی آن جریان دارد، گرداب بوجود می‌آید. مثلا حرکت مارپیچی ریسمانی که در جهت جریان آب کشیده شده (وقتی یک سر ریسمان به جائی بسته شده و سر دیگر آن آزاد است) نشان دهنده وجود این گرداب‌ها میباشد. در اینجا چه روی میدهد؟ گردابی که در نزدیک قسمتی از ریسمان بوجود می‌آید، آن قسمت را با خود میبرد، اما یک لحظه بعد همین قسمت را گردابی دیگر به طرف مقابل می‌برد و حرکت مارپیچی بوجود می‌آید (شکل ۸۰).

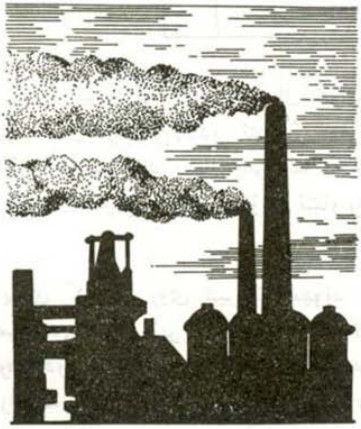


شکل ۸۱ — پرچم در حال اهتزاز هنگام وزش باد.

اکنون بجای بررسی مایعات به بررسی گازها و بجای بررسی آب به بررسی هوا می‌پردازیم. همه دیده‌اند که چگونه گردبادها گرد و خاک و کاه و چیزهای سبک دیگر را از زمین بلند میکنند و با خود میبرند. این پدیده تظاهر جریان گردبادی هوا در طول سطح زمین است. وقتی هم که هوا در طول سطح آب جریان دارد، در جاهائی که گردباد بوجود می‌آید، بعلت تقلیل فشار هوا، آب به شکل کوهان بالا می‌آید و باعث پیدایش موج میشود. همین عامل سبب پیدایش امواج شنی در صحراها و در دامنه‌های تپه‌های شنی کنار دریا میشود (شکل ۸۲).

حالا به آسانی میتوان فهمید که چرا پرچم هنگام وزش باد در اهتزاز است، در اینجا نیز همان پدیده‌ای که در مورد ریسمان در آب جاری صورت میگرفت، صورت میگیرد. وقتی باد میوزد صفحهٔ سفت بادنما همیشه در یک سمت نمی‌ماند، بلکه تحت تأثیر گردبادها پیوسته نوسان میکند. بیرون

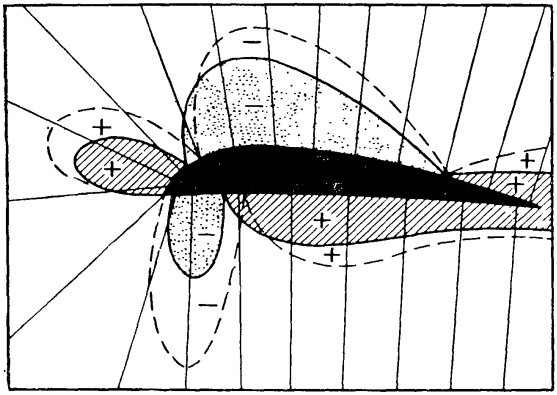
شکل ۸۲— سطح امواج شن در صحرا.



شکل ۸۳ — توده‌های دودی که از دودکش کارخانه بیرون می‌آید.

آمدن دود از دودکش کارخانه به صورت توده‌های موج‌دار نیز از همین پدیده‌های گردبادی سرچشمه میگیرد. گازهای سوخته در داخل دودکش با حرکت گردبادی جریان دارند و وقتی از دودکش بیرون می‌آیند نیز در اثر اینرسی مدتی به حرکت گردبادی خود ادامه میدهند (شکل ۸۳).

حرکت مغشوش هوا برای هواپیمائی اهمیت زیادی دارد. بال‌های هواپیما را به چنان شکلی میسازند که زیر بال هواپیما جائی که فشار هوا تقلیل میابد یا خلأ بوجود می‌آید، از ماده بال پر شده و بالای بال، برعکس، عمل گردبادی تشدید میشود. در نتیجه بال هواپیما از زیر به هوا تکیه دارد و از بالا مکیده میشود (شکل ۸٤). هنگام پرواز پرندگان بدون بال زدن نیز پدیده‌هائی از این نوع رخ میدهد.



شکل ۸٤ — نیروهائی که روی بال هواپیما عمل میکنند. توزیع فشار هوا (+) و خلأ (—) بر روی بال بر اساس آزمایش. در نتیجهٔ همهٔ نیروهائی که عمل میکنند، نیروهائی که فشار می‌آورند و نیروهائی که میمکند ، بال هواپیما به طرف بالا کشیده میشود. (خطوط پیوسته توزیع فشار را نشان میدهند. خط چین‌ها نیز توزیع فشار را وقتی سرعت بشدت افزایش یافته باشد، نشان میدهند).

بادی که بر روی شیروانی میوزد چگونه عمل میکند؟ گردبادها فشار هوای روی شیروانی را کم میکنند. هوای زیر شیروانی، برای تعادل فشار، به طرف بالا میرود و از زیر به شیروانی فشار می‌آورد. در نتیجه حادثه‌ای که متأسفانه گاه و بیگاه مشاهده میشود، صورت میگیرد: باد شیروانی‌های سبکی را که به خانه محکم متصل نیستند، میبرد. شیشه‌های بزرگ پنجره نیز وقتی باد میوزد، به همین علت، از داخل به خارج میشکنند، اما در اثر فشار هوا از خارج نمیشکنند. ولی این پدیده‌ها را بر اساس تقلیل فشار در هوای متحرک («اصل برنولی»، صفحه ۱۰۸) آسان‌تر میتوان توضیح داد.

وقتی دو توده هوای جاری با حرارت و رطوبت متفاوت، موازی یکدیگر حرکت میکنند، در هر یک از آنها گردبادهائی بوجود می‌آید. علت گوناگون بودن شکل ابرها نیز تا درجهٔ زیادی همین است.

مشاهده میکنید که پدیده‌های بسیار زیادی با جریان‌های گردبادی مربوط است.

مسافرت به اعماق زمین

تا کنون هیچ کس در عمق بیش از ۳/۳ کیلومتر در زمین پائین نرفته است، در صورتیکه شعاع کرهٔ زمین ۶۴۰۰ کیلومتر است. هنوز تا مرکز زمین راه بسیار دور و درازی مانده است. با وجود این، ژول ورن با آن قدرت اختراع و ابداعی که داشت، قهرمانان رمان «مسافرت به مرکز زمین»، یعنی پروفسور لیدنبروک و برادرزاده‌اش آکسل را به اعماق دوردست زمین فرستاد. او در رمان خود حوادث حیرت‌انگیزی را که برای این مسافران زیر زمین پیش آمده بود، توصیف کرده است. از جملهٔ حوادث غیر منتظره‌ای که قهرمانان رمان در زیر زمین با آن رو برو شدند یکی افزایش تراکم هوا بود. هر چه از سطح زمین بالا برویم، هوا بسرعت رقیق میشود: تراکم هوا با تصاعد هندسی تقلیل مییابد، در صورتیکه ارتفاع با تصاعد عددی زیاد میشود. وقتی از سطح دریا پائین برویم، برعکس، هوا باید تحت فشار طبقات بالائی دمبدم متراکم‌تر گردد. البته مسافران زیرزمین نمیتوانستند این پدیده را مشاهده نکنند.

صحبت‌هائی که میان عموی دانشمند و برادرزاده‌اش در عمق ۴۸ کیلومتر زیر زمین روی داده، بقرار زیر است:

«عمو گفت:

— نگاه کن ببین فشارسنج چه نشان میدهد.

— فشار بسیار زیادی.

— حالا خواهی دید که اگر آهسته پائین برویم، بتدریج به تراکم هوا عادت میکنیم و هیچ آسیبی نمی‌بینیم.

— اگر درد گوش را به حساب نیاوریم.

— مهم نیست.

من تصمیم گرفتم به عمویم اعتراض نکنم و گفتم:

— بسیار خوب. بودن در داخل هوای متراکم حتی مطبوع و خوش‌آیند است. شما متوجه شدید که صدا در این هوای متراکم چقدر شدید پخش میشود؟

— البته. در این هوای متراکم حتی آدم کر میتواند بشنود.

— اما هوا دمبدم متراکم‌تر میشود. آیا بالاخره کار به جائی نخواهد کشید که مانند آب غلیظ بشود؟

— البته ممکن است، اما تحت فشار ۷۷۰ اتمسفر.

— پس پائین‌تر؟

— غلظت باز هم بیشتر میشود.

— آنوقت ما چطور پائین خواهیم رفت؟
— جیب‌هایمان‌را پر از سنگ میکنیم.
— عموجان، شما برای هر سؤالی جواب حاضر و آماده دارید!

من دیگر حدسیات و فرضیات را کنار گذاشتم، زیرا حتما باز هم مانعی میتراشیدم که عمویم‌را عصبانی میکرد. اما یک چیز مسلم بود و آن اینکه هوا تحت فشار چند هزار اتمسفر ممکن بود منجمد بشود، آنوقت به فرض اینکه ما میتوانستیم چنین فشاری را تحمل کنیم، در هر صورت مجبور بودیم متوقف بشویم. اینجا دیگر هیچ جر و بحثی فایده ندارد و کمکی نمیکند».

تخیل و ریاضیات

این بود گفته‌های ژول ورن. اما اگر حقایقی‌را که در این قسمت از رمان بیان شده است، مورد بررسی و آزمایش قرار بدهیم، به نتایج دیگری میرسیم. برای این بررسی مجبور نیستیم به اعماق زمین پائین برویم. کافی است کاغذ و مدادی برداریم و در پهنهٔ بیکران فیزیک مسافرت علمی کوچکی بکنیم.

قبل از هر چیز میکوشیم تعیین کنیم برای آنکه فشار اتمسفر $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ افزایش بیابد، به چه عمقی باید پائین رفت. فشار معمولی اتمسفر مساوی وزن ستون جیوه به ارتفاع ۷۶۰ میلیمتر است. اگر ما نه در درون هوا، بلکه در داخل جیوه غوطه‌ور بودیم، برای آنکه فشار به اندازه $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ افزایش بیابد، بایست فقط $\frac{۷۶۰}{۱۰۰۰}$ یعنی ۰/۷۶ میلیمتر پائین برویم. اما در هوا، البته، باید بمراتب بیشتر، همانا آنقدر که هوا از جیوه سبک‌تر است، یعنی ۱۰۵۰۰ بار بیشتر پائین برویم. پس برای آنکه فشار اتمسفر به اندازه $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ فشار معمولی افزایش بیابد، بایست، نه ۰/۷۶ میلیمتر که در داخل جیوه لازم بود، بلکه ۱۰۵۰۰ × ۰/۷۶، یعنی تقریباً به اندازه ۸ متر پائین برویم. وقتی ۸ متر دیگر پائین برویم، فشار اتمسفر باز هم به اندازه $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ افزایش میابد، و الی آخر*. در هر ارتفاعی که باشیم — چه در سقف گنبد فیروزه‌فام (۲۲ کیلومتر)، چه در قلهٔ «اورست» (۹ کیلومتر) و چه در نزدیک سطح دریا — باید ۸ متر پائین بیاییم تا فشار اتمسفر به اندازهٔ $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ مقدار فشار اولیه افزایش بیابد. بنا بر این جدول افزایش فشار هوا بر حسب عمق به صورت زیر خواهد بود:

---

* قشر ۸ متری بعدی هوا متراکم‌تر از قشر قبلی است، به این دلیل قدر مطلق افزایش فشار بیش از افزایش فشار در قشر قبلی خواهد بود، باید هم بیشتر باشد، زیرا این $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ از کمیت بیشتری برداشته شده است.

در سطح	زمین	فشار ۷۶۰	میلیمتر = فشار	معمولی
« عمق	۸ متر	« مساوی	۱/۰۰۱ فشار	معمولی
« «	۲×۸ متر	« «	۲(۱/۰۰۱) «	«
« «	۳×۸ متر	« «	۳(۱/۰۰۱) «	«
« «	٤×۸ متر	« «	٤(۱/۰۰۱) «	«

و بطور کلی در عمق n×۸ متر فشار اتمسفر $^{n}(۱/۰۰۱)$ بار بیش از فشار معمولی است، و تا وقتیکه فشار فوق‌العاده زیاد نشود، میزان تراکم هوا نیز به همان اندازه افزایش میبابد (قانون ماریوت).

یادآور میشویم که در این مورد، بطوریکه از رمان معلوم است، صحبت از فقط ٤۸ کیلومتر پائین رفتن به اعماق زمین در میان است، و به این دلیل کاهش نیروی ثقل و تقلیل وزن هوا را که با این کاهش مربوط است، میتوان به حساب نیاورد.

حالا میتوان حساب کرد که بر مسافران زیرزمینی ژول ورن در عمق ٤۸ کیلومتر (٤۸۰۰۰ متر) چه فشاری وارد می‌آید. در فرمول ما n برابر با $\frac{٤۸۰۰۰}{۸}$ یعنی ٦۰۰۰ است. باید ۱/۰۰۱٦۰۰۰ را نیز حساب کرد. از آنجا که ۱/۰۰۱ را ٦۰۰۰ بار در خودش ضرب کردن کاری است بسیار خسته‌کننده و مسلتزم وقت فوق‌العاده زیاد، ما دست یاری به سوی لگاریتم دراز میکنیم، همان لگاریتمی که لاپلاس بحق در باره آن گفته است که کار را کم و در نتیجه عمر محاسبین را دو برابر میکند*. وقتی بخواهیم لگاریتم بگیریم خواهیم داشت که لگاریتم عدد مجهول مساوی است به

$$٦۰۰۰ \times \lg ۱/۰۰۱ = ٦۰۰۰ \times ۰/۰۰۰٤۳ = ۲/٦$$

از روی لگاریتم ۲/٦ عدد مجهول را پیدا میکنیم، این عدد مساوی ٤۰۰ است.

بدین ترتیب در عمق ٤۸ کیلومتر فشار اتمسفر ٤۰۰ برابر فشار معمولی است، و بطوریکه آزمایش نشان داده است، تراکم هوا تحت چنین فشاری ۳/۵ بار افزایش میبابد. به این دلیل گمان نمیرود که راهنوردان زیرزمینی ما هیچ آسیبی نبینند و فقط «گوشهایشان درد کند»... در رمان ژول

---

*کسانی که از دوران دبیرستان نسبت به جدول‌های لگاریتم احساس ناخوش‌آیندی در دل دارند، شاید پس از آشنائی با آنچه منجم بزرگ فرانسوی در باره لگاریتم گفته است، مناسبات خصمانه خویش را نسبت به آن تغییر بدهند. لاپلاس در کتاب «شرح منظومهٔ عالم» میگوید: «اختراع لگاریتم حساب‌های چند ماهه‌را به کار چند روزه تقلیل میدهد و در نتیجه گوئی عمر منجمین‌را دو برابر میکند و آنهارا از اشتباهات و خستگی‌هائی که همیشه با محاسبات طویل و دراز همراه است، رهائی می‌بخشد. این اختراع به این دلیل برای عقل انسان بسیار خوش‌آیند است که تماماً از این سرچشمه (یعنی از عقل) تراوش کرده است. انسان در تکنیک و صنعت برای افزایش نیروی خویش از مواد و نیروهای طبیعی که وی‌را احاطه کرده است، استفاده میکند، اما در لگاریتم همه چیز نتیجه عقل شخص اوست».

ورن از رفتن آدم‌ها به اعماق بیشتر، یعنی ۱۲۰ و حتی ۳۲۵ کیلومتر نیز صحبت میشود. در این اعماق فشار هوا میبایست به میزان وحشت‌آوری افزایش بیابد، ولی انسان میتواند فقط فشار سه الی چهار اتمسفر را تحمل کند و آسیبی نبیند.

اگر از روی همان فرمول حساب کنیم که در چه عمقی غلظت هوا مساوی غلظت آب میشود، یعنی ۷۷۰ بار متراکم‌تر میگردد، نتیجه محاسبه ۵۳ کیلومتر خواهد شد. اما این نتیجه درست نیست، زیرا در فشارهای بسیار زیاد تراکم گاز دیگر با فشار متناسب نیست. قانون ماریوت فقط در مورد فشارهائی که فوق‌العاده زیاد نباشند و از چند صد اتمسفر تجاوز نکنند، صادق است. نتایج آزمایشات در مورد تراکم هوا بقرار زیر است:

فشار	تراکم
۲۰۰ اتمسفر	۱۹۰
۴۰۰ »	۳۱۵
۶۰۰ »	۳۸۷
۱۵۰۰ »	۵۱۳
۱۸۰۰ »	۵۴۰
۲۱۰۰ »	۵۶۴

بطوریکه مشاهده میشود، ازدیاد تراکم بطور محسوسی از افزایش فشار عقب میماند. دانشمند رمان ژول ورن بیهوده انتظار داشت به اعماقی برسد که هوا از آب غلیظتر باشد. این انتظار او برآورده نمیشد، زیرا هوا فقط تحت فشار ۳۰۰۰ اتمسفر به اندازهٔ آب غلیظ میشود و پس از آن دیگر تقریباً فشرده نمیشود. و اما اصلاً تصورش را هم نباید کرد که بتوان هوا را فقط با فشار، بدون سرد کردن شدید (پائین‌تر از منهای ۱۴۶ درجه)، به حالت انجماد در آورد.

لکن حق و عدالت طلب میکند که یادآور شویم این رمان ژول ورن مدتها پیش از آنکه حقایق نامبرده بالا معلوم شود، انتشار یافته بود. گرچه این امر اشتباهات داستان‌را اصلاح نمیکند، اما مؤلف را تبرئه میکند.

برای محاسبه حد اکثر عمق چاهی که انسان میتواند بدون ضرر برای سلامتی‌اش در ته آن بماند، یک بار دیگر از فرمولی که در بالا آورده شد، استفاده میکنیم. حد اکثر فشار هوائی که ارگانیسم ما میتواند تحمل کند، ۳ اتمسفر است.

اگر عمق مجهول چاه را با x نمایش دهیم فرمول زیر را خواهیم داشت:

$$(۱/۰۰۱)^{\frac{x}{۸}} = ۳$$

از این فرمول (با گرفتن لگاریتم) x را حساب میکنیم و معلوم میشود که x مساوی ۸/۹ کیلومتر است.

بدین ترتیب انسان میتواند بی‌آنکه به وی آسیبی برسد، در عمق تقریباً ۹ کیلومتر بماند. اگر اقیانوس آرام ناگهان خشک میشد، انسان‌ها میتوانستند تقریباً در همه جای کف آن زندگی کنند.

چه کسی بیش از همه به مرکز زمین نزدیک شده است — البته نه در تخیل رمان‌نویس، بلکه در زندگی واقعی؟ البته کارگران معادن. ما میدانیم که (به فصل ٤ مراجعه شود) عمیق‌ترین چاه جهان در افریقای جنوبی حفر شده است. عمق این چاه بیش از ٣ کیلومتر است. در اینجا منظور عمقی که سرمتهٔ حفاری به آنجا رسیده، یعنی ٧/٥ کیلومتر نیست، بلکه پائین رفتن خود آدم‌ها به اعماق زمین است. دکتر لوک دورتن نویسنده فرانسوی در باره چاه معدن مورو ولخو (به عمق در حدود ٢٣٠٠ متر) که شخصاً به ته آن رفته است، چنین حکایت میکند:

«معادن طلای مشهور مورو ولخو در ٤٠٠ کیلومتری ریودوژانیرو واقع است. پس از ١٦ ساعت مسافرت با راه‌آهن در منطقهٔ سنگلاخی به درهٔ عمیقی سرازیر میشوید که جنگل‌های انبوه از هر سو آن‌را احاطه کرده است. در آنجا یک شرکت انگلیسی رگه‌های طلارا از چنان عمقی استخراج میکند که قبلاً هرگز انسان تا آن عمق پائین نرفته بود.

رگه طلا مورب پائین میرود، چاه معدن بصورت پلکانی مرکب از شش پله — چاه‌های قائم و تونل‌های افقی — در امتداد رگه حفر شده است. عمیق‌ترین چاهی که در دل زمین حفر شده، دلاورانه‌ترین گامی که بشر برای نفوذ به اعماق کره ارض برداشته، در جستجوی طلا بوده است، و این امر ویژگی جامعه معاصر را به بارزترین وجه نشان میدهد.

لباس کار کتانی و نیم‌تنهٔ چرمی میپوشیم. باید احتیاط کرد، زیرا کوچکترین سنگی که به چاه بیافتد، ممکن است آدم را زخمی کند. یکی از «ناخداهای» چاه معدن مارا مشایعت میکند. به نخستین تونل که چراغ‌های پرنور در آن میسوزد، وارد میشویم. باد بسیار سردی با حرارت ٤ درجه برای تهویه و خنک کردن اعماق چاه، میوزد. از سرما میلرزیم.

در یک قفس فلزی تنگ از نخستین چاه به عمق ٧٠٠ متر میگذریم و به دومین تونل میرسیم. وارد دومین چاه میشویم، هوا گرمتر میشود. حالا دیگر پائین‌تر از سطح دریا هستیم.

از سومین چاه بعد هوا صورت را میسوزاند. عرق‌ریزان و با کمر خم در زیر سقف کوتاه، به سوی غرش رعدآسای ماشین‌های حفر میرویم. آدم‌های لخت و برهنه در میان گرد و خاک فراوان کار میکنند، عرق چون جویبارهای کوچک از سر تا پایشان روان است و شیشه آب را پی در پی به یکدیگر میدهند. به تکه‌های سنگ معدن که تازه کنده شده‌اند، نمیشود دست زد، زیرا حرارت آنها ٥٧ درجه است. حاصل این واقعیت وحشتناک و نفرت‌انگیز چیست؟ در حدود ١٠ کیلوگرم طلا در روز...»

نویسنده فرانسوی شرایط فیزیکی ته چاه معدن و درجهٔ استثمار فوق‌العاده شدید کارگران را توصیف میکند و حرارت زیاد آنجارا یادآور میشود، اما از فشار زیاد هوا سخنی نمیگوید. ما حساب میکنیم تا ببینیم فشار هوا در عمق ٢٣٠٠ متر چقدر است. اگر درجهٔ حرارت هوا مساوی درجهٔ حرارت در سطح زمین میبود، تراکم هوا، طبق فرمولی که میدانیم، به اندازهٔ $(١/٠٠١)^{\frac{٢٣٠٠}{٨}}$، یعنی ١/٣٣ بار افزایش مییافت.

اما در واقع حرارت ثابت نمیماند، بلکه زیاد میشود. به این دلیل تراکم هوا کمتر از این میزان افزایش مییابد. در نتیجهٔ نهائی تفاوت تراکم هوای ته چاه معدن با هوای سطح زمین قدری بیشتر از تفاوت تراکم هوای یک روز گرم تابستان با هوای سرد زمستان است. حالا میفهمیم چرا این حالت توجه دکتر لوک دورتن‌را به خود جلب نکرده بود.

در عوض رطوبت زیاد هوا در اینگونه چاههای عمیق معدن که در حرارت زیاد آنجا ماندن در ته چاه‌را تحمل‌ناپذیر میکند، اهمیت زیادی دارد. در یکی از چاههای معادن افریقای جنوبی (یوهانسبورگ) که عمق آن ۲۵۵۳ متر است، وقتی حرارت هوا ۵۰ درجه باشد، رطوبت به ۱۰۰ درصد میرسد. اکنون در آنجا، باصطلاح، «آب و هوای مصنوعی» بوجود می‌آورند، ضمناً عمل سردکننده دستگاه برابر ۲۰۰۰ تن یخ است.

در استراتوسفر

ما در قسمت‌های پیش به مسافرت‌های خیالی به اعماق زمین پرداختیم و در این مسافرت‌ها فرمول تابعیت فشار هوا از عمق به ما کمک کرد. حالا دل به دریا میزنیم و به پرواز در اوج فلک میپردازیم و با استفاده از همان فرمول می‌بینیم که در ارتفاعات زیاد، فشار هوا چگونه تغییر میکند. در این مورد فرمول به صورت زیر خواهد بود:

$$p = ۰/۹۹۹^{\frac{h}{۸}}$$

در این فرمول p فشار هوا بر حسب اتمسفر و h ارتفاع به متر است. ضمناً باید بجای عدد ۱/۰۰۱، کسر اعشاری ۰/۹۹۹ را قرار داد، زیرا وقتی ۸ متر بالا برویم، فشار هوا به اندازه ۰/۰۰۱ افزایش نمییابد، بلکه کاهش مییابد.

ابتدا مسأله زیر را حل میکنیم: برای آنکه فشار هوا نصف بشود، به چه ارتفاعی باید بالا رفت؟

در فرمول بالا بجای p رقم ۰/۵ را میگذاریم و از روی فرمول $۰/۹۹۹^{\frac{h}{۸}} = ۰/۵$ ارتفاع h را پیدا میکنیم. برای کسانی که میتوانند از جدول لگاریتم استفاده کنند حل این معادله دشوار نیست. جواب مسأله، یعنی

$$h = ۵/۶ \text{ کیلومتر}$$

ارتفاعی را که فشار هوا نصف میشود، نشان میدهد.

حالا در پی هوانوردان بی‌باک شوروی که اولی ها در سال ۱۹۳۳ به ارتفاع ۱۹ کیلومتر بالا رفتند و رکورد جهانی ارتفاع را برقرار کردند و دومی ها در سال ۱۹۳۴ تا ارتفاع ۲۲ کیلومتر بالا رفتند و رکورد اولی ها را شکستند، روان میشویم و به ارتفاعات بیش از ۵/۶ کیلومتر میرویم. این ارتفاعات زیاد نه در اتمسفر، بلکه باصطلاح، در «استراتوسفر» واقعند. به این دلیل بالون‌هائی‌را که با آن به این ارتفاعات پرواز میکنند، بالون‌های استراتوسفریک مینامند.

حالا حساب میکنیم که فشار هوا در این ارتفاعات چقدر است.
در ارتفاع ۱۹ کیلومتر فشار هوا مساوی است به

$$\text{اتمسفر } ۰/۰۹۵ = ۰/۹۹۹^{\frac{۱۹۰۰}{۸}}$$

یعنی ۷۲ میلیمتر، و در ارتفاع ۲۲ کیلومتر مساوی است به

$$\text{اتمسفر } ۰/۰۶۶ = ۰/۹۹۹^{\frac{۲۲۰۰۰}{۸}}$$

یعنی ۵۰ میلیمتر جیوه.

اما اگر به یادداشت های هوانوردان نظری بیاندازیم مشاهده میکنیم که فشار هوا در ارتفاع ۱۹ کیلومتر معادل ۵۰ میلیمتر و در ارتفاع ۲۲ کیلومتر ۴۵ میلیمتر است.

چرا حساب ما با واقعیت تطبیق نمیکند؟ اشتباه ما در چیست؟

قانون ماریوت برای گازها با فشار تا این درجه کم کاملاً قابل تطبیق است. اما این بار مطلب دیگری را از نظر انداخته‌ایم، و آن اینکه حرارت هوا را در تمام ارتفاع ۲۰ کیلومتری یکسان شمرده ایم، در صورتیکه هر چه ارتفاع زیادتر باشد، حرارت هوا بطور محسوسی تقلیل مییابد. در هر کیلومتر ارتفاع حرارت هوا بطور متوسط ۶/۵ درجه تقلیل مییابد. این جریان تا ارتفاع ۱۱ کیلومتر که حرارت هوا منهای ۵۶ درجه است، ادامه دارد و پس از آن در مسافت زیادی درجهٔ حرارت هوا ثابت میماند. اگر این شرایط را نیز در نظر بگیریم (که برای به حساب آوردن آن ریاضیات مقدماتی دیگر کافی نیست) نتایج حاصله به واقعیت بسیار نزدیکتر خواهد بود. به همین دلیل نتایج حساب‌های پیشین مارا در اعماق پائین‌تر از سطح زمین نیز باید نتایج تقریبی شمرد.

فصل هفتم

پدیده های حرارتی

بادبزن

وقتی زنها با بادبزن خودشان را باد میزنند، البته سر و صورتشان خنک میشود. ظاهراً این کار برای سایر حضار هیچ زیانی ندارد و آنها فقط باید از خانم‌ها سپاسگزار باشند که هوای داخل اطاق یا سالن را قدری خنک میکنند.

حالا ببینیم آیا واقعاً چنین است. چرا وقتی با بادبزن خود را باد میزنیم، احساس خنکی میکنیم؟ هوائی که مستقیماً با صورت ما تماس دارد، گرم میشود و این نقاب هوائی نامرئی که صورت مارا پوشانده است، صورت را «گرم میکند»، یعنی افت بعدی حرارت را کند میکند. اگر هوای اطراف ما بی حرکت باشد، قشر هوای گرم نزدیک صورت در اثر فشار هوای نسبتاً سردتر بالا میرود، اما بسیار آهسته و آرام. وقتی بوسیله بادبزن نقاب هوای گرم را از صورت دور میکنیم، صورت بطور مداوم با هوای نسبتاً سردتر تماس پیدا میکند و حرارت خود را به آن میدهد، بدن ما سرد میشود و احساس خنکی میکنیم.

بنا بر این، وقتی خانم‌ها صورتشان را باد میزنند، بطور مداوم هوای گرم‌شده را از صورت دور میکنند و هوای نسبتاً سردتر جای هوای گرم را میگیرد. این هوای نسبتاً سرد باز هم گرم میشود و از نو جای خود را به هوای نسبتاً سرد میدهد و این جریان ادامه مییابد.

عمل باد زدن اختلاط هوا را تسریع میکند و موجب تسریع موازنهٔ حرارت در تمام سالن میشود، یعنی به حساب هوای نسبتاً خنک اطراف سایر حضار موجبات راحت و لذت صاحب بادبزن را فراهم می‌آورد. در باد زدن پدیده دیگری نیز حائز اهمیت است که اکنون آن را شرح میدهیم.

چرا وقتی باد میوزد، هوا خنک‌تر است؟

البته همه میدانند که سرما در هوای بی‌باد بیشتر از وقتی باد میوزد، قابل تحمل است. اما همه از علت این پدیده اطلاع دقیق ندارند. وقتی باد میوزد، فقط موجودات جاندار بیشتر احساس سرما میکنند، اما گرماسنج وقتی باد به آن میوزد، اصلاً پائین‌تر نمی‌آید. علت اینکه وقتی در هوای سرد باد میوزد ما بیشتر احساس سرما میکنیم، قبل از هر چیز آنستکه هنگام وزش باد، نسبت به هوای

بی‌باد ، از صورت (و بطور کلی از تمام بدن) گرمای بمراتب بیشتری گرفته میشود ، زیرا در هوای بی‌باد هوای گرم شده اطراف بدن با سرعت کمتری جای خود را به هوای سرد میدهد . هر چه باد شدیدتر باشد به همان نسبت در هر دقیقه مقدار بیشتری هوای سرد با پوست ما تماس مییابد و در نتیجه مقدار بیشتری حرارت از بدن ما میگیرد . تنها همین علت کافی است که ما بیشتر احساس سرما بکنیم .

اما علت دیگری نیز وجود دارد . از پوست بدن همیشه ، حتی در هوای سرد ، مقداری رطوبت تبخیر میشود . برای تبخیر حرارت لازم است . این حرارت از بدن ما و از قشر هوائی که با بدن تماس دارد ، گرفته میشود . اگر هوا بی‌حرکت باشد ، تبخیر کندتر صورت میگیرد ، زیرا هوای چسبیده به بدن بزودی از بخار اشباع میشود (در هوائی که از بخار اشباع شده باشد ، تبخیر به شدت صورت نمیگیرد) . اما وقتی هوا حرکت میکند و مرتب هوای تازه با بدن تماس مییابد ، تبخیر همیشه به شدت صورت میگیرد و برای این تبخیر مقدار زیادی حرارت لازم است که از بدن ما گرفته میشود .

تأثیر سردکننده باد چقدر است ؟ میزان این تأثیر به سرعت باد و به حرارت هوا بستگی دارد . در هر حال بمراتب بیش از آنستکه معمولاً گمان میکنند . برای آنکه از میزان پائین آمدن درجه حرارت در این موارد تصوری داشته باشیم، مثالی می‌آوریم . فرض میکنیم حرارت هوا ٤ درجه است و باد هیچ نمیوزد . در این شرایط حرارت پوست بدن ما ٣١ درجه است. اگر نسیم ملایمی بوزد که کمی پرچم‌ها را تکان بدهد و برگ‌های درختان را نجنباند (با سرعت ٢ متر در ثانیه) حرارت پوست بدن ٧ درجه پائین می‌آید . وقتی باد تندی بوزد که پرچم‌ها را به اهتزاز در آورد (با سرعت ٦ متر در ثانیه) حرارت پوست بدن ٢٢ درجه پائین می‌آید و از ٣١ درجه به ٩ درجه میرسد . این ارقام از کتاب کالیتین بنام «به کار بردن اصول فیزیک اتمسفر در طب» که در آن تفصیلات بسیار جالبی وجود دارد ، اقتباس شده است .

بدین ترتیب تنها از روی درجهٔ حرارت هوا نمیتوان قضاوت کرد که سرما در ما چه تأثیری میبخشد ، باید سرعت باد را نیز در نظر گرفت . سرمای با درجهٔ حرارت معین را بطور کلی در لنینگراد سخت تر از مسکو میتوان تحمل کرد . زیرا سرعت متوسط باد در سواحل دریای بالتیک ٥ — ٦ متر در ثانیه و در مسکو ٤/٥ متر در ثانیه است . در ماورأ بایکال که سرعت متوسط باد فقط ١/٣ متر در ثانیه است ، سرما را از مسکو هم آسان‌تر میتوان تحمل کرد . سرماهای مشهور سیبری خاوری بمراتب کمتر از آن تحمل ناپذیرند که اروپائیان تصور میکنند، زیرا اهالی اروپا به بادهای نسبتاً شدید عادت کرده‌اند. یکی از ویژگی‌های سیبری خاوری آنستکه در آنجا، بخصوص در زمستان ، تقریباً هیچ باد نمیوزد .

نفس سوزان کویر

شاید برخی از خوانندگان پس از مطالعهٔ آنچه در بالا گفته شد ، بگویند که : «بنا بر این ، باد باید در هوای داغ هم بدن را خنک بکند . پس چرا مسافران از نفس سوزان کویر دم میزنند ؟»

توضیح این تضاد آنستکه در نواحی گرمسیر هوا از بدن ما گرمتر است . بنا بر این تعجب آور نیست که در آن نواحی وقتی باد میوزد ، اشخاص احساس خنکی نمیکنند ، بلکه بیشتر احساس گرمی

میکنند. در آنجا دیگر حرارت از بدن به هوا داده نمیشود، بلکه بر عکس، هوا بدن را گرم میکند. اینستکه هر چه در یک دقیقه مقدار بیشتری هوا با بدن تماس پیدا کند، به همان نسبت احساس گرما بیشتر میشود. البته در این موارد نیز باد بر میزان تبخیر می‌افزاید، اما عامل اولی بر این عامل میچربد. به این دلیل است که صحرانشینان، مثلا ترکمن‌ها، قباهای گرم و کلاه‌های پوستی میپوشند.

آیا تور صورت گرم میکند؟

باز هم مسأله‌ای از فیزیک زندگی روزمره: خانم‌ها میگویند که تور صورت صورت را گرم میکند و بدون آن صورت سرد میشود. مردها وقتی تور بسیار نازک و اغلب با چشمه‌های نسبتاً بزرگ صورت خانم‌ها را می‌بینند، چندان میل ندارند این گفته خانم‌ها را باور کنند و گمان میکنند که تأثیر گرم‌کننده تور صورت فقط یک تأثیر خیالی است.

اما اگر آنچه را که در بالا گفته شد به یاد بیاورید، به این گفته خانم‌ها بیشتر باوری پیدا میکنید. هر قدر هم چشمه‌های تور صورت بزرگ باشند، باز هم هوا از این تور کمی آهسته‌تر عبور میکند. تور صورت قشر هوائی را که مستقیماً با صورت تماس دارد و پس از گرم شدن نقش نقاب هوائی گرمی را بازی میکند، تا حدی نگه میدارد و باد این قشر هوا را با سرعتی کمتر از وقتی که تور به صورت زده نشده باشد، میبرد. بنا بر این دلیلی وجود ندارد که وقتی خانم‌ها میگویند هنگام *راه رفتن در هوای کمی سرد و نسیم نسبتاً ملایم صورت با تور صورت کمتر از بدون تور سرد میشود*، گفته آنها را باور نکنیم.

کوزه‌های سردکننده

اگر برای شما پیش‌آمد نکرده است که اینگونه کوزه‌ها را ببینید، لابد شنیده یا خوانده‌اید که چنین کوزه‌هائی وجود دارد *. کوزه‌های سفالی ویژگی جالبی دارند و آن اینکه آب داخل آنها از اجسام اطراف سردتر میشود. ملل کشورهای جنوبی (در روسیه نیز در کریمه) از این کوزه‌ها به مقیاس بسیار وسیع استفاده میکنند، در اسپانیا به آن «الکارازا» و در مصر «قله» میگویند.

راز عمل سردکننده این کوزه‌ها بسیار ساده است. آب از دیواره‌های سفالی به خارج تراوش میکند و سپس بتدریج بخار میشود و ضمن تبخیر از کوزه و آب داخل آن حرارت لازم («حرارت نهان تبخیر») را میگیرد.

اما اینکه برخی از مسافران مناطق جنوبی در سفرنامه‌های خود نوشته‌اند که آب در این کوزه‌ها فوق‌العاده سرد میشود، درست نیست. میزان سرد شدن چندان زیاد نیست و به عوامل زیادی بستگی

---

* در روسیه که هوای آن نسبتا سرد و مرطوب است، از کوزه سفالی برای آب به ندرت استفاده میکنند. اما، شکی نیست که ایرانیان همه اینگونه کوزه ها را دیده و آب خنک و گوارای آن را نوشیده‌اند و با مطالعه این قسمت به علل فیزیکی عمل سردکننده کوزه‌های سفالی بهتر آشنا میشوند. (مترجم)

دارد . هر چه هوا گرمتر باشد ، آبی که از کوزه تراوش میکند ، زودتر و بیشتر بخار میشود و در نتیجه آب کوزه هم بیشتر سرد میشود . سرد شدن آب به رطوبت هوای اطراف نیز بستگی دارد . اگر هوا مرطوب باشد ، تبخیر به آرامی صورت میگیرد و آب کم سرد میشود ، در هوای خشک ، بر عکس ، تبخیر به سرعت صورت میگیرد و آب بیشتر سرد میشود . باد نیز موجب تسریع تبخیر میشود و به سرد شدن آب کمک میکند . همهٔ کسانی که در یک روز گرم و پرباد پیراهن خیس پوشیده و احساس سرما کرده باشند ، این مطلب را خوب میفهمند . در کوزه‌های سردکننده میزان تقلیل حرارت از ۵ درجه تجاوز نمیکند . در هوای گرم نواحی جنوبی که اغلب روزها حرارت هوا به ۳۳ درجه میرسد ، حرارت آب کوزه‌های سردکننده ۲۸ درجه ، یعنی به اندازه حرارت آب ولرم وان است . بطوریکه مشاهده میکنید ، میزان سرد شدن آب قابل اهمیت نیست . اما این کوزه‌ها آب خنک را خوب نگه میدارند ، و بیشتر به همین منظور هم از این کوزه‌ها استفاده میشود .

ما میتوانیم میزان سرد شدن آب در این کوزه‌ها را حساب کنیم .

فرض میکنیم کوزه‌ای به ظرفیت ۵ لیتر آب داریم و $\frac{۱}{۱۰}$ لیتر آب بخار شده است. برای تبخیر یک لیتر (یک کیلوگرم) آب در یک روز گرم (با حرارت ۳۳ درجهٔ سانتیگراد) در حدود ۵۸۰ کالری لازم است. از کوزهٔ ما $\frac{۱}{۱۰}$ لیتر بخار شده، پس ۵۸ کالری لازم بوده است. اگر تمام این حرارت از آب کوزه گرفته شده بود، حرارت آب به اندازه $\frac{۵۸}{۵}$، یعنی در حدود ۱۲ درجه پائین می‌آمد. اما قسمت اعظم حرارت لازم برای تبخیر از دیواره کوزه و از هوای مجاور آن گرفته میشود . از طرف دیگر ، آب کوزه ضمن سرد شدن گرم هم میشود ، زیرا از هوای گرم مجاور کوزه حرارت میگیرد . به این دلیل میزان سرد شدن به زحمت به نصف ۱۲ درجه میرسد .

کوزه کجا بیشتر سرد میشود ، در آفتاب یا در سایه ؟ جواب دادن به این سؤال دشوار است ، زیرا در آفتاب تبخیر تسریع میشود ، اما در عین حال حرارتی که کوزه از خارج میگیرد نیز افزایش مییابد . احتمال میرود بهتر باشد که کوزه سردکننده را در سایه ، جائی که نسیم ملایمی بوزد ، بگذارند .

« یخچال » بی‌یخ

کمد سردکننده برای نگهداری اغذیه که نوعی « یخچال » بی‌یخ است ، بر اساس سرد شدن در نتیجهٔ تبخیر ساخته میشود . ساختمان این دستگاه سردکننده بسیار ساده است . این دستگاه صندوقی است چوبی (بهتر است از آهن گالوانیزه) دارای چند رف که اغذیه را برای سرد شدن روی آنها میگذارند . روی صندوق ظرف درازی پر از آب پاک و خنک میگذارند . یک تکه کرباس به روی دیواره عقبی صندوق میکشند که یک سر آن در ظرف آب بالائی و سر دیگرش در ظرفی که زیر پائین‌ترین رف گذاشته‌اند ، قرار دارد . کرباس آب را به خود میکشد ، آب در کرباس ، چون در فتیله ، روان میشود ، بتدریج بخار میگردد و در نتیجه همهٔ خانه‌های « یخچال » را سرد میکند .

این « یخچال » را باید در یکی از جاهای خنک خانه گذاشت و هر شب آب خنک ظرف را عوض کرد تا در شب کاملاً سرد بشود . ظرف‌های آب و کرباس ، البته ، باید کاملاً تمیز باشند .

ما چه حرارتی را میتوانیم تحمل کنیم ؟

آدم حرارتی را بمراتب بیش از آنچه معمولا فکر میکنند ، میتواند تحمل کند . در کشورهای جنوبی حرارتی بمراتب بیشتر از حرارتی را که ما در مناطق معتدل تقریباً تحمل‌ناپذیر میشماریم ، تحمل میکنند . تابستان در استرالیای میانه حرارت در سایه اغلب به ٤٦ درجه میرسد و گاهی تا ٥٥ درجهٔ سانتیگراد نیز مشاهده شده است . وقتی کشتی ها از دریای سرخ به خلیج فارس میروند ، با اینکه اطاق های کشتی مرتباً تهویه میشوند ، باز هم حرارت در آنجا به ٥٠ درجه و حتی بیشتر میرسد .

بالاترین حرارتی که در طبیعت روی کره زمین مشاهده شده ، ٥٧ درجه بوده است . این حرارت را در جائی به نام « دره مرگ » در کالیفورنی به ثبت رسانده‌اند . در آسیای میانه — گرم‌ترین منطقه اتحاد شوروی — حرارت هوا به بیش از ٥٠ درجه نمیرسد .

حرارت‌های نامبردهٔ بالا در سایه اندازه گرفته شده است . ضمناً یادآور میشویم که چرا برای هواشناسان همانا درجهٔ حرارت هوا در سایه حائز اهمیت است ، نه در آفتاب . حرارت هوا فقط با گرماسنجی که در سایه قرار دارد ، اندازه گرفته میشود . گرماسنجی که در آفتاب قرار داشته باشد ، ممکن است در پرتو خورشید بمراتب بیش از هوای اطراف خود گرم شود و درجهٔ حرارتی که نشان میدهد ، بهیچوجه نشان دهندهٔ وضع هوای محیط اطراف نیست . به این دلیل وقتی از هوای بسیار گرم صحبت میشود ، استناد به درجهٔ حرارتی که گرماسنج در آفتاب نشان میدهد ، هیچ معنی ندارد .

برای تعیین بالاترین درجه حرارتی که ارگانیسم انسان میتواند تحمل کند ، آزمایش‌هائی صورت گرفته است . معلوم شده است که ارگانیسم انسان وقتی حرارت بتدریج بالا برود ، در هوای خشک میتواند نه فقط حرارت جوش آمدن آب (١٠٠ درجه) بلکه گاهی حرارت بمراتب بیش از آن ، تا ١٦٠ درجهٔ سانتیگراد را تحمل کند. بلاگدن و چنتری فیزیسین‌های انگلیسی برای آزمایش ساعت‌های متوالی در تنور گرم نانوائی بسر بردند تا حقایق بالا را ثابت کنند . تیندال در این باره میگوید :

« در هوای داخل بنائی که آدم‌ها زنده میمانند و آسیبی نمی‌بینند ، میتوان تخم مرغ پخت و گوشت بریان کرد » .

علت این تحمل فوق‌العاده زیاد چیست ؟ علت آنستکه ارگانیسم ما عملاً این حرارت را نمیگیرد ، بلکه حرارت نزدیک به حرارت معمولی خود را حفظ میکند . بدن بوسیلهٔ ترشح مقدار زیادی عرق با گرم شدن مبارزه میکند . تبخیر عرق از قشر هوای مجاور پوست بدن مقدار زیادی حرارت میگیرد و به این وسیله حرارت آن را به میزان زیادی پائین می‌آورد . شرایط حتمی برای این کار فقط آنستکه بدن مستقیماً با منبع حرارت تماس پیدا نکند و هوا خشک باشد . کسانی که در آسیای میانهٔ شوروی بوده‌اند ، متوجه شده‌اند که در آنجا حرارت ٣٧ درجه سانتیگراد و بیش از آن را میتوان به آسانی تحمل کرد ، در صورتیکه در لنینگراد تحمل حرارت ٢٤ درجه بمراتب دشوارتر است . البته علت این امر مرطوب بودن هوا در لنینگراد و خشک بودن هوا در آسیای میانه است که باران بندرت میبارد * .

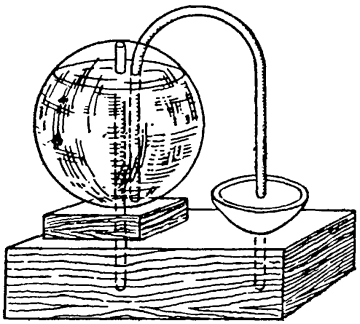
---

* جالب است که در آسیای میانه در ماه ژوئن رطوبت‌سنج جیبی من دو بار رطوبت صفر را نشان داد (١٣ و ١٦ ژوئن سال ١٩٣٠).

گرماسنج یا فشارسنج ؟

لطیفه مشهوری استکه شخصی جرأت نکرد در وان آبتنی کند و دلیل عجیب‌زیر را آورد :
— من فشارسنج را در آب فرو کردم و فشارسنج نشان داد که طوفان است ... آبتنی خطرناک است.

اما خیال نکنید که همیشه تمیز دادن گرماسنج از فشارسنج کار آسانی است . گرماسنج‌ها ، یا دقیقتر ، ترموسکوپ‌هائی وجود دارد که میتوان آنهارا بدرستی فشارسنج نامید و برعکس . نمونهٔ آنها ترموسکوپی است که هرون اسکندرونی اختراع کرده است (شکل ۸۵) . وقتی پرتو خورشید کره را گرم میکند هوای قسمت بالائی کره منبسط میشود ، به آن فشار می‌آورد و از راه لولهٔ کج آب را به بیرون میراند . آب از دهانهٔ لوله به درون قیف میچکد و از آنجا به ظرف پائینی میرود . در هوای سرد ، برعکس ، انبساط هوا در داخل کره تقلیل مییابد ، هوای خارج بر سطح آب ظرف فشار می‌آورد و آب از لولهٔ راست به درون کره میریزد .



شکل ۸۵ — ترموسکوپ هرون.

اما این اسباب در برابر تغییرات فشار هوا نیز حساس است . وقتی فشار هوای خارج تقلیل مییابد ، هوای داخل کره که فشار آن ثابت مانده و از فشار هوای خارج بیشتر است ، منبسط میشود و قسمتی از آب کره را از راه لوله به قیف میراند . وقتی فشار هوای خارج زیاد بشود ، مقداری از آب داخل ظرف تحت فشار هوای خارج به درون کره میریزد . هر یک درجه تغییر حرارت به اندازهٔ $\frac{۷۶۰}{۲۷۳}$ ، یعنی در حدود ۲/۵ میلیمتر تغییر ارتفاع ستون جیوه فشارسنج در حجم هوای داخل کره تغییر بوجود می‌آورد . در مسکو نوسانات فشارسنج به ۲۰ میلیمتر و بیش از آن میرسد و این نوسانات با ۸ درجه سانتیگراد ترموسکوپ هرون برابر است . پس این مقدار کاهش فشار اتمسفر را به آسانی میتوان با ۸ درجه افزایش حرارت هوا اشتباه کرد !

ملاحظه میکنید که این ترموسکوپ باستانی به همان اندازه که گرماسنج است ، فشارسنج نیز میباشد . زمانی در مغازه‌های ما فشارسنج‌های آبی به فروش میرسید و این فشارسنج‌ها به همان اندازه گرماسنج نیز بودند . اما نه فقط خریداران ، بلکه ظاهراً ، مخترعین آنها به این مطلب پی نبرده بودند .

لولهٔ چراغ چه خدمتی میکند ؟

کمتر کسی میداند که لولهٔ چراغ قبل از آنکه به صورت کنونی درآید ، چه راه طویل و درازی را پیموده است . هزاران سال مردم برای روشنائی از شعله استفاده میکردند و لولهٔ چراغ را به خدمت نمیگماردند . نبوغ لئوناردو داوینچی (۱۵۱۹ — ۱۴۵۲) لازم بود تا این تکمیل مهم را در چراغ

عملی سازد . اما لئوناردو داوینچی شعله را با لولهٔ فلزی احاطه میکرد ، نه با لوله شیشه‌ای . سه قرن دیگر هم گذشت تا بالاخره پی بردند بجای لولهٔ فلزی از لولهٔ شیشه‌ای شفاف استفاده کنند . بطوری که مشاهده میکنید ، لولهٔ چراغ اختراعی است که دهها نسل روی آن کار کرده‌اند .

بالاخره ، لولهٔ چراغ چه نقشی دارد ؟

تقریباً همه برای این سؤال ساده و طبیعی جواب درستی حاضر و آماده دارند و میگویند : نقش لولهٔ چراغ محافظت شعله از باد است . اما این فقط نقش درجهٔ دوم لولهٔ چراغ است . نقش اصلی لولهٔ چراغ در افزایش نور شعله و تسریع جریان احتراق است . نقش لولهٔ چراغ عیناً همان نقش لولهٔ بخاری و دودکش کارخانه است ، یعنی « کشش » و جریان هوا را به شعله تشدید میکند .

این مطلب را مورد بررسی قرار میدهیم . شعلهٔ چراغ هوای داخل لولهٔ چراغ را بمراتب زودتر از هوای اطراف چراغ گرم میکند . هوای داخل لوله در نتیجهٔ گرم شدن سبک میشود ، هوای گرم نشده و سنگین‌تر خارج ، طبق قانون ارشمیدس ، از سوراخ های سرپیچ چراغ داخل لوله میشود ، بر هوای آنجا فشار میاورد و آن را به بالا میراند . بدین ترتیب ، جریان دائمی هوا از پائین به بالا برقرار میشود ، این جریان گازهائی را که در نتیجهٔ احتراق تولید شده ، پی در پی بیرون میبرد و هوای تازه می‌آورد . هر چه لولهٔ چراغ بلندتر باشد ، تفاوت وزن ستون هوای گرم‌شده و گرم‌نشده بیشتر است و هوای تازه با سرعت و شدت بیشتری به شعله میرسد و در نتیجه احتراق را تسریع میکند . در اینجا نیز عملی عیناً مانند عمل دودکش‌های کارخانه‌ها صورت میگیرد . به این دلیل است که دودکش‌های کارخانه‌ها را بسیار بلند میسازند .

جالب است که لئوناردو داوینچی نیز این پدیده‌ها را بدقت در نظر مجسم میکرد . در دست‌نویس‌های او مطلب زیر یادداشت شده است : « هر جا آتشی روشن شود ، در اطراف آن جریان هوا به وجود می‌آید ، این جریان هوا آتش را حفظ و تشدید میکند » .

چرا شعله خود بخود خاموش نمیشود ؟

اگر عمیقاً به پدیده احتراق بیاندیشیم بی اختیار چنین سؤالی برای ما پیش می‌آید : چرا شعله خود بخود خاموش نمیشود . میدانیم که در نتیجهٔ احتراق گاز کربنیک و بخار آب تولید میشود که قابل احتراق نیستند و نمیتوانند به ادامه بقای شعله کمکی بکنند . بنا بر این ، شعله باید از نخستین لحظهٔ احتراق از مواد غیر قابل احتراقی احاطه شود که از رسیدن هوا به آن جلوگیری میکنند . احتراق بدون هوا نمیتواند ادامه یابد و شعله باید خاموش شود .

پس چرا این عمل صورت نمیگیرد ؟ چرا تا زمانی که مادهٔ سوخت تمام نشده است ، احتراق پیوسته ادامه مییابد ؟ فقط به این دلیل که گازها در نتیجهٔ گرم شدن منبسط و در نتیجه سبک میشوند . فقط به این دلیل است که گازهای تولید شده در اثر احتراق در محلی که بوجود آمده‌اند ، یعنی در مجاورت مستقیم شعله نمی‌مانند ، فوراً هوای تازه جای آنها را میگیرد و آنها را به بالا میراند . اگر قانون ارشمیدس در باره گازها صدق نمیکرد (یا اگر ثقل وجود نمیداشت) هر شعله‌ای کمی میسوخت و سپس خود بخود خاموش میشد .

به آسانی میتوان یقین حاصل کرد که گازهای تولید شده در اثر احتراق برای شعله چه تأثیر مهلکی دارند . شما اغلب بی‌آنکه خود بدان بیاندیشید ، از این واقعیت استفاده میکنید . لامپا را چطور اخاموش میکنید ؟ از بالا توی لولهٔ لامپا فوت میکنید ، یعنی مواد غیر قابل احتراقی را که در اثر احتراق تولید شده ، به پائین ، به طرف شعله میرانید . هوای تازه دیگر به شعله نمیرسد و شعله خاموش میشود .

فصلی که رمان ژول ورن کم دارد .

ژول ورن برای ما به تفصیل توضیح داده است که سه مرد دلیر در درون گلوله‌ای که به سوی ماه در پرواز بود ، وقت خود را چگونه میگذرانده‌اند . اما شرح نداده است که میشل آردان چگونه در این شرایط غیر عادی وظیفه آشپزی خود را انجام میداده است . لابد نویسنده میپنداشته است که آشپزی در درون گلولهٔ در حال پرواز هیچ چیز جالبی که قابل شرح و توصیف باشد ، ندارد . اگر چنین باشد ، ژول ورن اشتباه میکرده است . مطلب در آنستکه در درون گلولهٔ در حال پرواز کلیه اجسام بی وزن میشوند * . ژول ورن این پدیده را از نظر دور داشته بود . اما بدانید که آشپزی در آشپزخانهٔ بی‌وزن موضوعی است کاملاً شایسته قلم توانای این نویسندهٔ باقریحه ، و فقط باید متأسف بود که ژول ورن در رمان « مسافرت به ماه » به این موضوع عطف توجه نکرده است . میکوشیم به قدر توانائی خویش فصلی را که رمان کم دارد ، تکمیل کنیم ، تا خوانندگان تصوری داشته باشند که اگر این موضوع به قلم شخص ژول ورن توصیف میشد ، چقدر جالب و موثر بود .

خوانندگان گرامی ضمن مطالعهٔ این قسمت باید هرگز از یاد نبرند که ، بطوریکه گفته شد ، در داخل گلوله نیروی ثقل وجود ندارد ، همهٔ اشیاء بی‌وزن هستند .

صبحانه در آشپزخانهٔ بی‌وزن

میشل آردان به همراهان مسافرت فضائی خود گفت :

— دوستان عزیز ، آخر ما هنوز صبحانه نخورده‌ایم . از اینکه ما در داخل گلولهٔ توپ وزنمان را از دست داده‌ایم بهیچوجه نتیجه نمیشود که اشتهایمان را هم از دست داده باشیم . دوستان عزیز ، من دست بکار آماده کردن صبحانهٔ بی‌وزنی برای شما میشوم که بدون شک ، از سبک‌ترین خوراک‌هائی که تا کنون در جهان وجود داشته ، تشکیل خواهد شد .

و آردان فرانسوی بی‌آنکه منتظر جواب رفقایش بشود دست بکار پخت و پز شد . ضمن آنکه در بطری بزرگی را باز میکرد ، قر زد :

---

* این پدیده جالب در کتاب اول « فیزیک برای سرگرمی » و نیز در کتاب‌های « مسافرت‌های بین ستارگان » ، « با موشک به سوی ستارگان » و « با موشک به ماه » تألیف اینجانب مفصلاً توضیح داده شده است.

— بطری پر آب ما میخواهد وانمود کند که خالی است ... سر من نمیتوانی کلاه بگذاری ، من میدانم چرا سبک هستی ... خوب ، چوب‌پنبه هم درآمد . لطفاً آب‌های بی‌وزنت را بریز توی قابلمه .

اما هر چه بطری را کج کرد ، آب نریخت که نریخت . نیکل به یاری او آمد و گفت :

— آردان عزیز ، به خودت زحمت نده . بدان که در گلولهٔ ما که ثقل وجود ندارد ، آب خودش نمیریزد . تو باید بطری را ، مثل اینکه پر از شیره غلیظ باشد ، تکان بدهی تا آب بیرون بریزد .

آردان فوراً با کف دست به ته بطری وارونه زد . باز هم واقعهٔ غیر منتظره‌ای روی داد : در همان لحظه کره‌ای به بزرگی مشت جلو دهانهٔ بطری بوجود آمد . آردان با تعجب گفت :

— چه به سر این آب آمده است؟ باید اعتراف بکنم که هیچ انتظار این قوز بالا قوز را نداشتم. آخر دوستان دانشمند ، توضیح بدهید ببینم چه شده است ؟

— آردان عزیز ، این یک قطره آب است ، یک قطره آب معمولی است . در جهان بدون ثقل قطره آب هر قدر دلت بخواهد ، میتواند بزرگ باشد . بیاد بیاور که مایعات فقط در اثر نیروی ثقل به شکل ظرف درمی‌آیند ، به صورت رشته میریزند و امثال آن . اما اینجا که ثقل نیست ، آب فقط تحت تأثیر نیروهای ملکولی داخلی خودش است و باید مانند روغن در آزمایش مشهور پلاتو ، به شکل گلوله در آید .

آردان با خشم فراوان گفت :

— من به پلاتو و آزمایش‌هایش هیچ کاری ندارم . من باید برای بولیون آب جوش بیاورم و سوگند میخورم که هیچ نیروی ملکولی نمیتواند مانع کار من بشود !

و با حرارت زیاد به تکان دادن بطری روی قابلمه که در هوا پرواز میکرد ، پرداخت ، اما گوئی همهٔ چیزها بر علیه او توطئه کرده بودند . گلوله‌های بزرگ آب همینکه با قابلمه تماس پیدا میکردند ، فوراً در سطح آن پخش میشدند : اما کار به این هم تمام نمیشد ، آب از دیواره‌های داخلی قابلمه به دیواره‌های خارجی میلغزید و در سطح خارجی روان میگردید ، بزودی قشر ضخیمی از آب تمام سطح قابلمه را پوشاند . بهیچوجه ممکن نبود آب را در این وضع جوش آورد .

نیکل با خونسردی عادی خودش به آردان که داشت از عصبانیت دیوانه میشد ، گفت :

— آزمایش بسیار جالبی است که ثابت میکند نیروی هم‌چسبی چقدر عظیم است . تو ناراحت نشو ، این همان پدیده معمولی است که مایعات اجسام جامد را تر میکنند ، فقط در اینجا نیروی ثقل مانع نمیشود که این پدیده با تمام نیرو گسترش بیابد .

آردان با لحنی اعتراض‌آمیز گفت :

— افسوس ، صد افسوس که مانع نمیشود ! تر کردن باشد یا چیز دیگری ، تفاوت ندارد ، برای من لازم است که توی قابلمه آب داشته باشم ، نه در اطراف آن . اینهم شد کار ! هیچ آشپزی در جهان حاضر نیست در چنین شرایطی بولیون حاضر کند !

مستر باربیکن داخل صحبت شد و با لحن آرامش‌دهنده‌ای گفت :

— اگر این تر کردن تا این اندازه مزاحم کار تو است ، به آسانی میتوانی مانع آن بشوی . به یاد بیاور که آب اجسامی را که حتی از یک ورقه بسیار نازک چربی پوشیده شده باشند ، تر نمیکند . روی سطح خارجی قابلمه‌ات کمی روغن بمال ، آب توی قابلمه میماند .

آردان ضمن آنکه به اندرز مستر باربیکن عمل میکرد ، با شادی گفت :

— آفرین ! این شد دانشمندی واقعی ! — و بعد به گرم کردن آب روی چراغ گاز پرداخت .
گوئی همهٔ عوامل بر علیه آردان دست بیکی شده بودند . حتی چراغ گاز هم بازی در آورد . چند ثانیه با شعلهٔ کم‌نوری سوخت و به علت نا معلومی خاموش شد .
آردان جلو چراغ گاز کند و کاو میکرد ، با حوصله با شعله ور میرفت ، اما تمام زحمات او بی نتیجه بود ، شعله نمیسوخت که نمیسوخت . بالاخره ناامید شد و خطاب به دوستانش گفت :
— باربیکن ! نیکل ! واقعاً هیچ وسیله‌ای نیست که این شعله لجوج را مجبور کنیم که موافق قوانین فیزیک شما و طبق دستورالعمل شرکت‌های گاز بسوزد ؟ !
نیکل توضیح داد :
— اما اینجا هیچ چیز غیر عادی و هیچ چیز غیر منتظره‌ای وجود ندارد. این شعله درست همانطور که طبق قوانین فیزیک باید بسوزد ، میسوزد . و اما آنچه مربوط به شرکت‌های گاز است ، گمان میکنم اگر نیروی ثقل وجود نمیداشت ، همهٔ آن شرکت‌ها ورشکست میشدند . تو میدانی که در نتیجهٔ احتراق گاز کربنیک و بخار آب ، خلاصه ، گازهای غیر قابل احتراق تولید میشوند . معمولاً این گازها در مجاورت شعله نمیمانند و چون گرم و سبک هستند ، هوای تازه جای آنهارا میگیرد و آنهارا به بالا میراند . اما اینجا ثقل وجود ندارد ، به این دلیل گازهائی که در نتیجه احتراق تولید میشوند ، همانجا میمانند و شعله را از هر سو با قشری از گازهای غیر قابل احتراق احاطه میکنند و مانع رسیدن هوای تازه میشوند . به این دلیل است که شعله در اینجا چنین کم‌نور میسوزد و زود خاموش میشود . عمل دستگاههای آتش‌خاموش‌کن نیز بر این اساس است که شعله را با گازهای غیر قابل احتراق احاطه میکنند .
آردان حرف او را قطع کرد و گفت :
— پس به عقیده تو ، اگر در زمین نیروی ثقل وجود نمیداشت ، گروههای آتش‌نشانی هم لازم نبودند ، آتش‌سوزی خود بخود خاموش میشد و خودش خودش را خفه میکرد ؟
— کاملاً درست است . اما حالا برای اینکه کار روبراه بشود ، یک بار دیگر چراغ گاز را روشن کن و بیا باهم به شعله فوت کنیم . امیدوارم بتوانیم کشش مصنوعی به وجود بیاوریم و شعله را مجبور کنیم که « مثل در روی زمین » بسوزد .
همین کار را کردند . آردان چراغ گاز را از نو روشن کرد و به پخت و پز پرداخت و با پوزخند تماشا میکرد که چطور نیکل و باربیکن بنوبت به شعله فوت میکردند و باد میزدند تا مرتباً هوای تازه به آن برسانند . او در ته دل دوستان خود و علم آنها را گناهکار و مسئول « همهٔ این درد سرها » میدانست و گفت :
— شما تا حدودی وظیفه دودکش کارخانه را انجام میدهید ، به کشش هوا کمک میکنید . دوستان دانشمند عزیزم ، خیلی دلم به حالتان میسوزد ، اما اگر ما میخواهیم صبحانهٔ گرم داشته باشیم ، باید به اوامر فیزیک شما گردن بنهیم . اما یک ربع ، نیم ساعت ، یک ساعت گذشته است و آب اصلاً خیال ندارد جوش بیاید .
نیکل گفت :
— آردان عزیز ، باید صبر و حوصله داشته باشی . میدانی آب معمولی ، آب با وزن چرا زود گرم میشود ؟ فقط به این دلیل زود گرم میشود که قشرهای آن جای یکدیگر را میگیرند و مخلوط میشوند ،

قشرهای سرد بالائی به قشرهای گرم و سبک پائینی فشار میآورند و آنها را به بالا میرانند و در نتیجه حرارت تمام آب بسرعت زیاد میشود. آیا هرگز برایت اتفاق افتاده است که آب را نه از زیر، بلکه از بالا گرم کنی؟ آنوقت قشرهای آب باهم مخلوط نمیشوند، زیرا قشرهای گرم و سبک بالائی در جای خود میمانند. قابلیت انتقال حرارت آب هم فوق العاده کم است. قشرهای بالائی را میتوان حتی جوش آورد، در حالیکه در قشرهای پائینی تکه‌های یخ آب‌نشده باقی میماند. اما در جهان بی‌وزن ما هیچ تفاوت ندارد که آب را از کجا گرم کنیم، گردش دوره‌ای نمیتواند در آب صورت بگیرد و آب باید فوق‌العاده آهسته گرم شود. اگر میل داری آب زود گرم شود باید مرتب آن را هم بزنی.

نیکل به آردان یادآوری کرد که حرارت آب را به ۱۰۰ درجه نرساند و به کمی پائین تر از ۱۰۰ درجه اکتفا کند. زیرا در ۱۰۰ درجه مقدار زیادی بخار تولید میشود و چون در آنجا وزن مخصوص بخار و آب مساوی است (هر دو صفر است) باهم مخلوط میشوند و کف همگنی به وجود می‌آورند.

برای نخود نیز حادثه ناگهانی و تأسف‌آوری روی داد. وقتی آردان سر کیسهٔ نخود را باز کرد و کیسه را کمی تکان داد، نخودها در هوا پخش و پلا شدند و در داخل اطاق به پرواز درآمدند، پی در پی به دیوارها میخوردند و به عقب میپریدند و چیزی نمانده بود که بدبختی بزرگی به بار بیاورند. نیکل ضمن نفس کشیدن یکی از نخودها را بی اختیار فرو برد و چنان به سرفه افتاد که چیزی نمانده بود خفه شود. دوستان ما برای رهائی از خطر و تمیز کردن هوا دست بکار شدند، کیسهٔ توری دسته‌داری را که آردان «برای جمع‌آوری کلکسیون پروانه‌های ماه» همراه داشت، برداشتند و با جد و جهد تمام به گرفتن نخودها پرداختند.

پخت و پز در این شرایط کار آسانی نبود. آردان حق داشت که میگفت: «در اینجا ماهرترین آشپز هم لنگ می‌اندازد». سرخ کردن بیفتک نیز درد سر و زحمت زیادی داشت. میبایست گوشت را مرتب با چنگال نگه داشت، و الا بخارهای قابل انبساط روغن که زیر بیفتک بوجود می‌آمدند، بیفتک را از ماهیتابه بیرون می‌انداختند و گوشت سرخ‌نشده به «بالا» میپرید — البته اگر در جائی که نه «بالائی» هست و نه «پائینی» بتوان کلمه «بالا» را بکار برد.

خود جریان ناهار هم در این جهان فاقد نیروی ثقل منظرهٔ عجیبی داشت. دوستان با حالت‌های فوق‌العاده گوناگون که ضمناً منظرهٔ بدی هم نداشت، در هوا معلق بودند و هر دقیقه کله‌هایشان به هم میخورد. البته از نشستن خبری نبود. وسائلی از قبیل صندلی و کاناپه و نیمکت در جهانی که نیروی ثقل وجود ندارد، بکلی بیفایده هستند. اگر اصرار آردان که باید حتماً «سر میز» صبحانه بخورند، نبود، اصولاً به میز هیچ احتیاجی نداشتند.

پختن بولیون کار دشواری بود، اما معلوم شد که خوردن بولیون از پختنش هم دشوارتر است. از آنجا شروع میکنیم که ریختن بولیون بی‌وزن در فنجان اصلاً ممکن نبود. چیزی نمانده بود که آردان محصول زحمات تمام صبح آن روز را فدای این کار بکند. قابلمه را وارونه کرد تا بولیون را در فنجان بریزد، بولیون نریخت، آردان فراموش کرد که بولیون بی‌وزن است، به ستوه آمد و مشتی به ته قابلمه زد. در نتیجه یک قطرهٔ عظیم گلوله‌مانند از قابلمه بیرون پرید — بولیون به شکل شبه‌کره. آردان میبایست هنر مهره‌بازان سیرک را از خود نشان بدهد تا بتواند بولیونی را که با آنهمه زحمت و مرارت پخته بود، دوباره به قابلمه برگرداند.

کوشش برای حوردن بولیون با قاشق بیهوده بود. بولیون تمام قاشق را، تا انگشت‌های دوستان ما، تر میکرد و به صورت پوشش یکپارچه‌ای روی قاشق پخش میشد. به قاشق‌ها روغن مالیدند تا از تر شدن آنها جلوگیری کنند، اما با این عمل وضع بهتر نشد. بولیون در قاشق به صورت گلوله‌ای درمی‌آمد و هیچ امکان نداشت که این حب بی‌وزن را به خیر و سلامت به دهان برسانند.

بالاخره نیکل راه حل این مسأله را پیدا کرد. از کاغذ موم‌اندود چند لوله درست کرد و بوسیله آن بولیون را به دهان میمکیدند و میخوردند. دوستان ما مجبور بودند در تمام مدت مسافرت آب، شراب و بطور کلی همهٔ آشامیدنی‌ها را به همین وضع میل بفرمایند*.

چرا آب آتش را خاموش میکند؟

به این سئوال بسیار ساده همیشه نمیتوانند جواب درست بدهند، امیدواریم اگر بطور خلاصه توضیح بدهیم که این تأثیر خاموش‌کننده آب بر روی آتش در چیست، خوانندگان گرامی از ما گله نفرمایند.

اولاً — وقتی آب با جسم در حال احتراق تماس پیدا میکند، تبدیل به بخار میشود و ضمن بخار شدن مقدار زیادی حرارت از جسم در حال احتراق میگیرد. برای تبدیل مقدار معینی آب جوش به بخار ۵ برابر حرارت لازم برای رساندن همان مقدار آب سرد به ۱۰۰ درجه، حرارت لازم است.

ثانیاً — حجم بخاری که در این جریان تولید میشود، صدها برابر حجم آبی است که تبدیل به آن بخار شده است. بخار تولیدشده جسم در حال احتراق را احاطه میکند و هوا را بیرون میراند، و احتراق بدون هوا ممکن نیست.

گاهی برای آنکه آب بهتر و با شدت بیشتری آتش را خاموش کند، مقداری باروت با آب مخلوط میکنند! این کار ممکن است عجیب به نظر بیاید، اما کاملاً معقول است، زیرا باروت به سرعت میسوزد و مقدار بسیار زیادی گازهای غیر قابل احتراق تولید میکند و این گازها اجسام در حال احتراق را احاطه میکنند و مانع احتراق میشوند.

---

* بسیاری از خوانندگان چاپ‌های پیشین این کتاب به اینجانب نامه نوشتند و در نامه‌های خود اظهار تعجب کردند که در محیط بدون نیروی ثقل، حتی به طرزی که هم اکنون گفته شد نیز نمیتوان چیزی نوشید، زیرا در گلولهٔ در حال پرواز هوا بی‌وزن است و بنا بر این فشار نمی‌آورد و وقتی فشار نباشد نمیتوان مایعی را مکید و نوشید. برخی از منقدین نیز همین اعتراض را به شکل عجیبی در مطبوعات ابراز داشتند. اما کاملا روشن است که بی‌وزنی هوا در این شرایط هیچ ارتباطی با نبودن فشار ندارد، زیرا هوا در محیط مسدود نه به آن دلیل که وزن دارد، فشار می‌آورد، بلکه به آن دلیل که، مانند هر گازی، میخواهد بینهایت منبسط شود. در فضای غیر مسدود روی زمین، نیروی ثقل نقش دیوارهائی را بازی میکند که مانع انبساط میشود. همین بستگی که ما بدان عادت کرده‌ایم، منقدین مرا گمراه کرده بود.

چگونه آتش را به کمک آتش خاموش میکنند ؟

لابد شنیده‌اید که بهترین و گاهی یگانه وسیله مبارزه با آتش‌سوزی در جنگل یا دشت ، آتش زدن جنگل یا دشت از طرف مقابل است . شعلهٔ تازه به سوی دریای جوشان و خروشان آتش میشتابد و مواد سوزنده ، یعنی طعمه آتش را نابود میسازد . دو دیوار آتشین همینکه به هم رسیدند ، در آن واحد خاموش میشوند ، گوئی یکدیگررا میبلعند .

لابد بسیاری از خوانندگان در رمان « پرری » (« مرغزار ») تألیف کوپر خوانده‌اند که چگونه هنگام آتش‌سوزی در دشت‌های امریکا از این شیوه آتش‌نشانی استفاده میکنند . مگر میتوان آن لحظهٔ غم‌انگیزی را که پیرمرد دشتبان راه‌نوردانی را که در دشت غافلگیر شده بودند و خطر آن میرفت که طعمهٔ آتش شوند، از مرگ در میان زبانه‌های آتش نجات داد! این قسمت از رمان « پرری» را عیناً نقل میکنیم :

« ناگهان پیرمرد قیافه مصممی به خود گرفت و گفت :

— هنگام عمل فرا رسیده است .

میدلتون فریاد زد :

— پیرمرد بیچاره ، خیلی دیر به فکر افتادید ! آتش با ما یک چهارم میل فاصله دارد و باد با سرعت سرسام‌آوری آن را به سوی ما می‌آورد !

— عجب ! آتش ! من از آتش چندان بیمی ندارم . خوب ، جوانان دلیر ، بس است ! دست بکار بشوید و زمین را از این علف‌های خشک پاک کنید .

در مدت بسیار کمی قطعه زمینی به قطر در حدود بیست پا از علف پاک شد . دشتبان زنها را به یک انتهای این محوطه کوچک برد و گفت که پتوها را به روی پیراهن‌هایشان که ممکن بود زود آتش بگیرد ، بکشند . پیرمرد پس از اتخاذ این تدابیر احتیاطی ، به انتهای دیگر محوطه که زبانه‌های بلند و خطرناک آتش حلقه‌ای به دور راه‌نوردان کشیده بود ، رفت و کمی علف کاملا خشک برداشت و روی لولهٔ تفنگ گذاشت و آتش زد . علف خشک که خوب میسوزد ، فوراً شعله‌ور شد . آنوقت پیرمرد علف شعله‌ور را در میانه بوته‌زار بلندی انداخت، به مرکز دایره رفت و با صبر و حوصله منتظر نتیجه کار خود شد .

بلیهٔ فلاکت‌بار مانند ددی خونخوار به سوی طعمهٔ تازه حمله برد و شعله در یک آن علف‌های خشک را به کام کشید . پیرمرد گفت :

— خوب ، حالا خواهید دید که چگونه آتش آتش را خاموش میکند .

میدلتون با قیافه‌ای حیرت‌زده ندا برآورد :

— آخر مگر این کار خطرناک نیست ؟ شما به عوض آنکه دشمن را از ما دور کنید ، به ما نزدیکش نمیکنید ؟

آتش دمبدم زبانه میکشید و به سه سو گسترش مییافت ، اما در سوی چهارم چون طعمه‌ای نداشت ، خاموش میشد . هر چه آتش شدیدتر میشد و بیشتر زبانه میکشید ، تمام منطقه‌ای را که سر راهش بود ، بمراتب بهتر از آنکه علف را درو کرده باشند ، پاک میکرد و زمین سیاهی را که از آن دود برمیخاست ، در عقب خود باقی میگذاشت .

شکل ۸۶ — خاموش کردن آتش‌سوزی در دشت با آتش.

شعله از سه سو محوطه‌ای را که پاک کرده بودند، دمبدم بیشتر، احاطه میکرد و بر وسعت محوطه می‌افزود، اگر این افزایش وسعت محوطه نبود، وضع راهنوردان که به گوشهٔ محوطه پناه برده بودند، باز هم خطرناک‌تر میشد.

پس از چند دقیقه شعله شروع به دور شدن کرد و آدم‌ها را در میان تودهٔ انبوهی از دود، اما در امن و امان کامل از خطر سیل خروشان آتشی که همانطور به پیش میرفت، بر جای گذاشت.

رهنوردان با حیرت و تعجب به شیوه ساده‌ای که دشتبان به کار برده بود، مینگریستند، درست همانطور که درباریان فردیناند با حیرت و تعجب نگاه میکردند که چگونه کریستف کلمب تخم مرغ را قائم گذاشت».

اما این طرز خاموش کردن آتش‌سوزی در جنگل و دشت، آنقدرها هم که در نظر اول گمان میرود، ساده نیست.

کسی که آتش از روبرو را برای آتش‌نشانی به کار میبرد باید بسیار کارآزموده باشد، در غیر اینصورت ممکن است بلیه حتی شدیدتر بشود.

اگر به خود چنین سؤالی بدهید: چرا آتشی که دشتبان روشن کرد، به سوی آتش‌سوزی رفت، نه به طرف مقابل؟ آنوقت می‌فهمید برای این کار چقدر مهارت و ورزیدگی لازم است. باد از طرف آتش‌سوزی میوزید و آتش را به سوی راهنوردان میراند. ظاهراً به نظر میرسید که آتشی که دشتبان روشن کرده بود، نه به سوی دریای آتش، بلکه به طرف مقابل در دشت گسترش بیابد. اگر چنین میشد، راهنوردان در میان حلقه‌ای از آتش محاصره و حتماً نابود میگردیدند.

راز این کار دشتبان در چیست؟

در دانستن یک قانون ساده فیزیک. با اینکه باد از دشت شعله‌ور به سوی راهنوردان میوزید، ولی در جلو، نزدیک آتش، میبایست هوا در جهت عکس، به سوی شعله جریان داشته باشد.

واقعاً هم ، هوای بالای دریای آتش گرم و سبک میشود و هوای تازهٔ آن قسمت از دشت که آتش نگرفته از هر سو به هوای گرم فشار می‌آورد ، آن را به بالا میراند و جای آن را میگیرد . به این دلیل در نزدیک سرحد آتش کشش هوا به سوی شعله برقرار میشود . آتش از روبرو را باید وقتی روشن کرد که آتش‌سوزی به حد کافی نزدیک شده باشد و کشش هوا احساس شود . به این دلیل بود که دشتبان عجله نمیکرد و با صبر و حوصله منتظر لحظهٔ مناسب بود تا دست بکار شود . اگر علف‌ها را کمی زودتر ، وقتی که هنوز کشش از روبرو برقرار نشده بود ، آتش میزد ، آتش در جهت عکس گسترش مییافت و راهنوردان به بن‌بست گرفتار میشدند . اما تأخیر نیز ممکن بود فلاکت‌های بیشتری به بار بیاورد ، زیرا آتش بیش از حد نزدیک میشد .

آیا میشود با آب جوش آب را جوش آورد ؟

یک بطری کوچک (یا بانکه یا ظرف شیشه‌ای کوچکی) را بردارید ، توی آن آب بریزید و در قابلمه پر از آب خالص که روی آتش است ، بگذارید ، بطوریکه ته ظرف شیشه با ته قابلمه تماس پیدا نکند ، البته باید ظرف شیشه‌ای را با سیمی آویزان کنید . وقتی آب قابلمه جوش می‌آید ، ظاهراً باید آب ظرف شیشه‌ای هم جوش بیاید . میتوانید هر چه دلتان بخواهد منتظر بشوید ، اما آب ظرف شیشه‌ای جوش نخواهد آمد . آب ظرف شیشه‌ای داغ میشود ، خیلی هم داغ میشود ، اما جوش نمی‌آید . معلوم میشود آب جوش آنقدر داغ نیست که برای جوش آوردن آب کافی باشد .

ظاهراً این پدیده غیرمنتظره است ، اما میبایست آن را پیش‌بینی کرد و منتظر آن بود . برای آنکه آب جوش بیاید ، کافی نیست که آن را فقط تا ۱۰۰ درجهٔ سانتیگراد گرم بکنیم ، باید باز هم مقدار زیادی به آن حرارت داد تا به حالت دیگر ، یعنی به حالت بخار درآید .

آب خالص در ۱۰۰ درجه سانتیگراد جوش می‌آید . در شرایط معمولی هر قدر هم آن را گرم بکنیم ، حرارتش از ۱۰۰ درجه بالاتر نمیرود . بنابر این ، منبع حرارتی که ما با آن آب ظرف شیشه‌ای را گرم میکنیم ، ۱۰۰ درجه حرارت دارد و میتواند حرارت آب ظرف شیشه‌ای را فقط به ۱۰۰ درجه برساند . وقتی میان درجه حرارت آب قابلمه و آب ظرف شیشه‌ای تعادل برقرار شد ، دیگر حرارت از آب قابلمه به آب ظرف شیشه‌ای نمیرود .

بنا بر این ، وقتی آب ظرف شیشه‌ای را به این طریق گرم میکنیم ، نمیتوانیم حرارت اضافی لازم برای تبدیل آب به بخار را به آن بدهیم (برای آنکه یک گرم آب با حرارت ۱۰۰ درجه تبدیل به بخار بشود ، بیش از ۵۰۰ کالری دیگر حرارت لازم است) . به این دلیل است که آب ظرف شیشه‌ای گرم میشود ، اما جوش نمی‌آید .

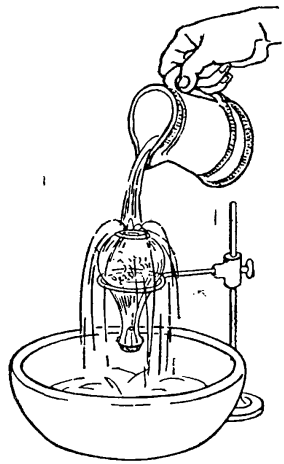
ممکن است چنین سؤالی پیش بیاید : آب ظرف شیشه‌ای با آب قابلمه چه تفاوت دارد ؟ در ظرف شیشه‌ای نیز همان آب است ، منتهی با دیواره شیشه‌ای از آب قابلمه جدا شده است . پس چرا این آب هم ، مثل آب قابلمه ، جوش نمی‌آید ؟

زیرا دیواره مانع میشود که آب ظرف شیشه‌ای در جریانی که آب قابلمه را بهم میزند ، شرکت داشته باشد . هر ذرهٔ آب قابلمه میتواند با ته بسیار داغ قابلمه مستقیماً تماس پیدا کند ، اما آب ظرف شیشه‌ای فقط با آب جوش تماس پیدا میکند .

بدین ترتیب ، دیدیم که با آب جوش خالص نمیتوان آب را جوش آورد . اما کافی است که در مابلمه یک مشت نمک بریزیم تا وضع بکلی عوض شود . آب شور نه در صد درجه حرارت ، بلکه قدری بیشتر ، جوش می‌آید ، بنا بر این میتواند بنوبهٔ خود آب خالص ظرف شیشه‌ای‌را جوش بیاورد .

آیا میشود آب را با برف جوش آورد ؟

برخی از خوانندگان جواب خواهند داد : « وقتی آب جوش برای این منظور مناسب نیست ، دیگر چه جای صحبت از برف میتواند در میان باشد ؟ ! » در دادن جواب عجله نکنید ، بهتر است همان ظرف شیشه‌ای را بردارید و با آن آزمایش زیر را انجام بدهید .



شکل ۸۷ — جوش آمدن آب در قرعی که روی آن آب سرد میریزند.

شکل ۸۸ — نتیجهٔ غیر منتظرهٔ سرد کردن قوطی حلبی.

نصف ظرف را از آب پر کنید و سپس آن را در آب شوری که میجوشد ، فرو ببرید . وقتی آب ظرف شیشه‌ای جوش آمد ، ظرف را در بیاورید و فوراً در آن را با چوب‌پنبه محکم ببندید . بعد ظرف را وارونه کنید و بایستید تا آب آن از جوش بیافتد . وقتی آب از جوش افتاد ، روی ظرف آب جوش بریزید ، آب ظرف جوش نخواهد آمد . اما کمی برف روی ته ظرف بگذارید یا ، بطوریکه در شکل ۸۷ نشان داده شده ، آب سرد روی آن بریزید ، آنوقت خواهید دید که آب ظرف جوش می‌آید ... برف کاری را انجام داد که آب جوش نتوانست انجام بدهد !

ضمناً اگر به ظرف دست بزنید ، چندان داغ نخواهد بود و این امر پدیده را بیشتر معماآمیز میکند . زیرا شما با چشم خود می‌بینید که آب ظرف میجوشد !

شکل ۸۹ — «پژوهش‌های علمی» مارک تواین.

کلید حل این معما در آنستکه برف دیواره‌های ظرف شیشه‌ای را سرد میکند و در نتیجه بخار داخل ظرف تبدیل به قطرات آب میشود. و چون وقتی آب میجوشید هوای داخل ظرف خارج شده بود، حالا آب داخل ظرف تحت فشار بمراتب کمتری قرار دارد. اما میدانیم که مایعات تحت فشار کمتری با درجهٔ حرارت کمتری جوش می‌آیند. بنا بر این، ما در ظرف آب جوش داریم، اما آب جوشی که داغ نیست.

چنانچه دیواره‌های ظرف زیاد نازک باشند، ممکن است در اثر انقباض ناگهانی بخار داخل ظرف، چیزی شبیه به انفجار روی بدهد. فشار هوای خارج که از داخل ظرف با واکنش کافی روبرو نمیشود، میتواند ظرف را له کند (ضمناً مشاهده میکنید که در اینجا کلمه «انفجار» بیمورد است). به این دلیل بهتر است ظرف شیشه‌ای گردی (قرعی یا ته محدب) انتخاب کنیم تا هوا بر طاق فشار بیاورد.

بی‌خطرتر از همه آنستکه این آزمایش را با چلیک یا قوطی حلبی کوچکی انجام بدهید. قدری آب در آن جوش بیاورید، درش را محکم و کیپ ببندید و آب سرد رویش بریزید. بخار آب داخل قوطی ضمن سرد شدن تبدیل به آب میشود و فشار هوای خارج چنان قوطی را کج و کوله و له میکند که گوئی با چکش سنگینی بر آن ضربه وارد آورده‌اند (شکل ۸۸).

«سوپ فشارسنج»

مارک تواین نویسنده فکاهی‌نویس امریکائی در کتاب «سیر و سیاحت در خارجه» در باره حادثه‌ای، البته حادثه من‌درآوردی، که هنگام کوه‌نوردی برایش اتفاق افتاده، حکایت میکند:

«حوادث ناگوار و دردسرهای ما پایان یافتند. به این دلیل اشخاص میتوانستند استراحت کنند و من بالاخره امکان یافتم به بررسی جنبهٔ علمی مسافرت بپردازم قبل از هر چیز خواستم بوسیلهٔ فشارسنج ارتفاع محلی را که بودیم، تعیین کنم، اما متأسفانه به هیچ نتیجه‌ای نرسیدم. از مطالعات علمی‌ام میدانستم که برای تعیین ارتفاع باید یا گرماسنج یا فشارسنج را جوشاند. اما بطور قطع نمیدانستم که کدام یک از آن دو را باید جوشاند. به این دلیل تصمیم گرفتم هر دو را بجوشانم.

باوجود این، هیچ نتیجه‌ای به دست نیاوردم. وقتی به آن دو اسباب نگاه کردم، دیدم که هر دو بکلی خراب هستند. از فشارسنج فقط عقربه مسی آن باقی مانده بود و در کره پائین گرماسنج گلولهٔ کوچک جیوه‌ای میغلتید...

یک فشارسنج دیگر برداشتم که کاملاً نو و بسیار خوب بود. آن فشارسنج را نیم ساعت در سوپ لوبیائی که آشپز می‌پخت، جوشاندم. نتیجه‌ای که به دست آمد، غیر منتظره بود. فشارسنج

بکلی از کار افتاد ، اما سوپ چنان مزه فشارسنج میداد که سرآشپز ، که مردی بسیار عاقل بود ، نام سوپ را در صورت خوراک‌ها تغییر داد . خوراک نو مورد پسند همه قرار گرفت، بطوریکه من دستور دادم هر روز سوپ فشارسنج بپزند . البته ، فشارسنج بکلی خراب شده بود ، اما من چندان متأسف نبودم . وقتی فشارسنج نمیتوانست ارتفاع محل را تعیین کند ، پس دیگر برای من لازم نبود » .

شوخی را کنار میگذاریم و میکوشیم جواب بدهیم که در واقع چه چیز را میبایست « جوشاند » ، گرماسنج یا فشارسنج را ؟

گرماسنج را . به این دلیل :

در آزمایش پیش دیدیم که هر چه فشار هوا بر آب کمتر باشد ، درجه حرارت جوش آمدن آب پائین‌تر است . و چون هر چه از کوه بالا برویم فشار اتمسفر کم‌تر میشود ، پس باید متناسب با آن درجهٔ حرارت جوش آمدن آب نیز پائین‌تر باشد . واقعاً هم چنین است . جدول زیر درجهٔ حرارت جوش آمدن آب را تحت فشارهای مختلف اتمسفر نشان میدهد :

درجهٔ حرارت جوش آمدن آب به سانتیگراد	فشار اتمسفر به میلیمتر
۱۰۱	۷۸۷/۷
۱۰۰	۷۶۰
۹۸	۷۰۷
۹۶	۶۵۷/۵
۹۴	۶۱۱
۹۲	۵۶۷
۹۰	۵۲۹/۵
۸۸	۴۸۷
۸۶	۴۵۰

در برن (سوئیس) که فشار متوسط اتمسفر ۷۱۳ میلیمتر است ، آب در ظرف‌های سرباز در ۹۷/۵ درجه جوش می‌آید ، در قله منبلان که فشارسنج ۴۲۴ میلیمتر را نشان میدهد ، حرارت آب جوش فقط ۸۴/۵ درجه است . هر یک کیلومتر که بالا برویم ، حرارت جوش آمدن آب ۳ درجهٔ سانتیگراد پائین می‌آید . بنا بر این ، اگر حرارتی را که آب جوش می‌آید ، اندازه بگیریم (یا بقول مارک تواین ، اگر « گرماسنج را بجوشانیم » ، میتوانیم با استفاده از جدول مربوطه ارتفاع محل را تعیین کنیم . البته ، برای این منظور باید جدول هائی را که از پیش تهیه شده است ، در اختیار داشت ، و مارک تواین این مطلب را « بطور ساده » فراموش کرده بود.

اسباب‌هائی به نام ارتفاع یاب که به این منظور بکار میروند ، هم برای حمل و نقل از فشارسنج‌های فلزی مناسب‌ترند و هم دقت بمراتب بیشتری دارند .

البته ، از فشارسنج نیز میتوان برای تعیین ارتفاع محل استفاده کرد ، زیرا فشارسنج بی هیچگونه « جوشاندن » فشار اتمسفر را نشان میدهد ، هر چه بالاتر برویم ، به همان نسبت فشار کم‌تر میشود . اما در این مورد نیز یا باید جدول‌هائی را که تناسب میان ازدیاد ارتفاع از سطح دریا و تقلیل فشار اتمسفر را نشان میدهند ، در اختیار داشت ، یا فرمول مربوطه را دانست . گوئی تمام این مطالب در مغز فکاهی‌نویس امریکائی درهم آمیخته و او را واداشته بود تا « سوپ فشارسنج بپزد » .

آیا همیشه آب جوش داغ است ؟

لابد خوانندگان گرامی رمان ژول ورن به نام « هکتور سرواداک » را مطالعه کرده‌اند و با بن‌زوف گماشته دلاور سرواداک آشنا هستند . بن‌زوف اعتقاد راسخ داشت که آب جوش همیشه و در همه جا به یک اندازه داغ است . اگر تصادف نمیکرد که او و فرماندهش در روی ستارهٔ دنباله‌داری بیافتند ، حتماً بن‌زوف تا آخر در اعتقاد خود باقی میماند . این جسم آسمانی بوالهوس با زمین اصابت کرد و درست همان قسمتی را که دو قهرمان کتاب آنجا بودند از سیارهٔ ما کند و آن دورا باخود برد و در مسیر بیضی شکلش به گردش درآورد . آنوقت بود که بن‌زوف برای نخستین بار با تجربهٔ شخصی یقین حاصل کرد که آب جوش بهیچوجه در همه جا به یک اندازه داغ نیست . او وقتی صبحانه می پخت ، بطور غیر منتظره این کشف را کرد.

« بن‌زوف در قابلمه آب ریخت ، قابلمه را روی اجاق گذاشت و منتظر شد تا وقتی آب جوش بیاید ، تخم مرغ ها را در آب بیاندازد ، ضمناً تخم مرغ ها بقدری سبک بودند که بن‌زوف خیال میکرد خالی هستند .

هنوز دو دقیقه نگذشته بود که آب جوش آمد . بن‌زوف ندا برآورد :

— بر شیطان لعنت ! حالا آتش عجب گرم میکند !

سرواداک پس از اندکی فکر جواب داد :

— آتش شدیدتر از معمول گرم نمیکند ، بلکه آب زودتر جوش می‌آید .

سپس گرماسنج را برداشت و در آب جوش فرو کرد .

گرماسنج فقط شصت و شش درجه نشان داد . افسر ندا برآورد :

— اهو ! آب بجای صد درجه در شصت و شش درجه جوش می‌آید !

— پس ، سرکار سروان ؟..

— پس بن‌زوف ، صلاح می‌بینم که بگذاری تخم مرغ ها یک ربع ساعت در آب حوش بمانند .

— آخر سفت میشوند !

— نه ، داداش ، فقط نیم‌بند میشوند .

روشن است که علت این پدیده کم بودن ارتفاع قشر هوا بود . ستون هوای بالای منطقه تقریباً به اندازهٔ یک سوم کوتاه شده بود و به این دلیل آب که تحت فشار کمتری قرار داشت ، بجای صد درجه در شصت و شش درجه جوش آمد. در روی کوهی که ارتفاع آن به ۱۱۰۰۰ متر برسد ، نیز عین این پدیده ممکن است روی بدهد . اگر سروان با خود فشارسنج داشت ، فشارسنج همین میزان تقلیل فشار هوا را به او نشان میداد » .

ما مشاهدات قهرمانانمان را مورد شک و تردید قرار نمیدهیم . آنها میگویند که آب در ۶۶ درجه جوش آمده بود ، و ما قبول میکنیم که این عین واقعیت بوده است . اما بسیار جای شک است که حال آنها در داخل چنان هوای رقیق و کم‌فشاری خوب بوده باشد .

ژول ورن به درستی یادآور میشود که این پدیده در ارتفاع ۱۱۰۰۰ متر نیز مشاهده خواهد

شد، بطوریکه محاسبه نشان میدهد*، آنجا آب باید واقعاً در ۶۶ درجه جوش بیاید. اما فشار اتمسفر در این حالت باید مساوی ۱۹۰ میلیمتر ستون جیوه، یعنی درست یک چهارم فشار معمولی باشد. در هوائی که تا این حد رقیق شده باشد، تقریباً نمیتوان نفس کشید. زیرا صحبت از ارتفاعاتی است که در ماورأ جو قرار دارند! میدانیم که خلبانانی که بدون ماسک تا این ارتفاعات بالا رفته‌اند، در اثر کمبود هوا بیهوش شده‌اند، در صورتیکه حال سرواداک و گماشته‌اش بد نبوده است. خوب شد که سرواداک فشارسنج دم دست نداشت و الا ژول ورن میبایست این اسبات را مجبور کند که آن عددی را که بایست طبق قوانین فیزیک نشان دهد، نشان نداده، بلکه عدد دیگری را نشان بدهد.

اگر قهرمانان ما به ستارهٔ دنباله‌دار خیالی نمی‌افتادند و مثلاً به کره مریخ که فشار اتمسفرش بیش از ۶۰ — ۷۰ میلیمتر نیست، میرفتند، مجبور میشدند آب جوش از آن هم کمتر داغ، یعنی فقط ۴۵ درجه بنوشند!

بر عکس، در ته چاههای عمیق که فشار هوا به میزان قابل ملاحظه‌ای بیش از سطح زمین است، میتوان آب جوش بسیار داغ به دست آورد. آب در ته چاه به عمق ۳۰۰ متر در ۱۰۱ درجه و در ته چاه به عمق ۶۰۰ متر در ۱۰۲ درجه جوش می‌آید.

آب در دیک ماشین بخار نیز تحت فشار بسیار زیاد میجوشد. مثلاً، آب تحت فشار ۱۴ اتمسفر در حرارت ۲۰۰ درجه جوش می‌آید! بر عکس، میتوان آب را در زیر سرپوش تلمبهٔ هوائی با حرارت معمولی اطاق چنان جوش آورد که غل بزند و «آب جوش» ۲۰ درجه به دست آورد.

یخ داغ

در بالا از آب جوش خنک بحث کردیم. چیز دیگری وجود دارد که از آن هم حیرت‌آورتر است و آن یخ داغ میباشد. ما عادت داریم فکر کنیم که آب در حرارت بیش از صفر درجه نمیتواند به حالت جامد وجود داشته باشد. پژوهش‌های بریجمن فیزیسین انگلیسی نشان داد که چنین نیست. آب تحت فشارهای بسیار زیاد در حرارت بمراتب بیش از صفر درجه یخ می‌بندد و به حالت جامد باقی میماند. بریجمن نشان داد که فقط یک نوع یخ وجود ندارد، بلکه میتواند چند نوع یخ وجود داشته باشد. یخی را که او «یخ شماره ۵» مینامد، تحت فشار فوق‌العاده زیاد یعنی ۲۰۶۰۰ اتمسفر به دست می‌آید و در حرارت ۷۶ درجه با حالت جامد باقی میماند. اگر ما میتوانستیم به این یخ دست بزنیم، انگشتانمان میسوخت. اما نمیتوان به آن دست زد، زیرا یخ شمارهٔ ۵ در ظرف‌های با دیواره‌های کلفت که از بهترین فولاد ساخته شده، تولید میشود. این یخ را نمیتوان دید یا به دست گرفت. از ویژگی‌های «یخ داغ» فقط از طریق غیر مستقیم اطلاع حاصل میکنند.

جالب است که «یخ داغ» از یخ معمولی و حتی از آب متراکم تر است و وزن مخصوص آن ۱/۰۵ میباشد. این یخ میبایست زیر آب برود، در صورتیکه یخ معمولی روی آب میماند.

---

* واقعاً هم، بطوریکه قبلاً (صفحه ۱۴۱) گفته شد، وقتی با هر کیلومتری که بالا برویم، نقطهٔ جوش آمدن آب ۳ درجه پائین می‌آید، پس برای آنکه درجهٔ حرارت جوش آمدن آب تا ۶۶ پائین بیاید، باید به اندازهٔ $\frac{34}{3}$، یعنی در حدود ۱۱ کیلومتر بالا رفت.

اینکه از زغال نه گرما ، بلکه برعکس، سرما تولید کنند ، کار خارق‌العاده‌ای نیست . این کار را همه‌روزه در کارخانه‌های به نام کارخانه « یخ خشک» انجام میدهند . زغال را در دیگ‌ها میسوزانند و دودی را که تولید میشود تصفیه میکنند ، یعنی گاز کربنیک موجود در دود را بوسیله محلول قلیائی میگیرند . سپس آن را گرم میکنند و گاز کربنیک بصورت خالص از آن جدا میشود . بعد دوباره گاز را سرد میکنند و تحت فشار قرار میدهند و گاز تحت فشار ۷۰ اتمسفر تبدیل به مایع میشود . این همان گاز کربنیک مایعی است که در بالن‌های کلفت به کارخانه‌های نوشابه‌سازی میبرند و برای احتیاجات صنعتی مورد استفاده قرار میدهند . برودت گاز کربنیک مایع بقدری است که برای یخ بستن قشرهای آبده زیر زمین کافی است . در ساختمان مترو‌ی مسکو آن را به کار میبردند . اما در موارد زیادی گاز کربنیک جامد که یخ خشک نام دارد ، لازم است .

یخ خشک ، یعنی گاز کربنیک جامدرا بوسیله تبخیر سریع گاز کربنیک مایع تحت فشار کم تولید میکنند . تکه‌های یخ خشک بیشتر به برف فشرده شبیه است تا به یخ ، و بطور کلی با یخ تفاوت‌های زیاد دارد . یخ انیدرید کربنیک از یخ معمولی سنگین‌تر است و زیر آب میرود . با وجود اینکه یخ خشک فوق‌العاده سرد است (منهای ۷۸ درجه) اگر یک تکه از آن را با احتیاط برداریم ، سرمای آن بوسیله انگشت احساس نمیشود . گاز کربنیک که هنگام تماس یخ خشک با بدن ما تولید میشود ، پوست بدن را از تأثیر سرما محافظت میکند . فقط اگر یک تکه یخ خشک را در مشت بفشاریم خطر آن هست که انگشتانمان را سرما بزند .

نام « یخ خشک» بسیار اسم با مسمائی است که مهمترین ویژگی‌های فیزیکی این یخ را نشان میدهد . این یخ واقعاً هرگز تر نیست و هیچ چیز را در اطراف خود خیس نمیکند . تحت تأثیر حرارت از حالت جامد، بی‌آنکه به حالت مایع درآید ، یکسرتبه بخار میشود ، زیرا گاز کربنیک تحت یک اتمسفر نمیتواند به حالت مایع وجود داشته باشد .

یخ خشک به علت این ویژگی و نیز حرارت بسیار پائینی که دارد ، مادهٔ مبردهٔ بی‌همتائی است که در احتیاجات عملی و روزمره هیچ ماده دیگری نمیتواند جای آن را بگیرد . محصولات و مواد خوراکی که بوسیله یخ انیدرید کربنیک نگهداری میشوند، نه فقط خیس و مرطوب نمیشوند، بلکه از فاسد شدن آنها نیز جلوگیری به عمل می‌آید ، زیرا گاز کربنیک که تولید میگردد ، محیطی به وجود می‌آورد که میکروب‌ها نمیتوانند در آن رشد و نمو کنند. به این دلیل محصولات و مواد خوراکی کپک نمیزنند و روی آنها باکتری و میکرب رشد و نمو نمیکند . حشرات و جوندگان نیز نمیتوانند در چنین محیطی زندگی کنند . بالاخره ، گاز کربنیک وسیلهٔ آتش‌نشانی بسیار قابل اطمینانی است . اگر در بنزینی که آتش گرفته است چند تکه یخ خشک بیاندازیم ، آتش خاموش میشود . مجموعهٔ این ویژگی‌ها سبب شده است که یخ خشک در صنایع و در امور خانه‌داری به مقیاس بسیار وسیعی مورد استفاده قرار گیرد .

فصل هشتم

مغناطیس ـ برق

«سنگ عاشق»

این نام شاعرانه را چینی‌ها به آهن‌ربای طبیعی داده‌اند. چینی‌ها میگویند: همان گونه که مادر مهربان کودکانش را در آغوش میفشارد، سنگ عاشق (تشو-شی) آهن را جذب میکند. جالب است که فرانسوی‌ها، ملتی که در انتهای دیگر عالم قدیم زندگی میکنند، نامی شبیه به این به آهن‌ربا داده‌اند. در زبان فرانسه کلمهٔ «aimant» هم به معنای «آهن‌ربا» و هم به معنای «عاشق» به کار میرود.

نیروی این «عشق» آهن‌رباهای طبیعی بسیار کم است، به این دلیل نام یونانی مغناطیس ـ «سنگ هرکولس» خیلی ساده‌لوحانه به نظر میرسد. ساکنان یونان باستان که از نیروی کم آهن‌ربای طبیعی چنین واله و حیران میشدند، اگر در کارخانه‌های ذوب آهن معاصر آهن‌رباهائی را که قطعات اهن به وزن چند تن را بلند میکنند، میدیدند، آنوقت چه میگفتند؟! البته این آهن‌رباها آهن‌ربای طبیعی نیستند، بلکه «آهن‌ربای الکتریکی» یعنی قطعات بزرگ آهن هستند که برق از سیم‌پیچ های دور آنها میگذرد و آنها را مغناطیسی میکند. اما در هر دو حالت نیروئی که دارای طبیعت یکسانی است، یعنی مغناطیس عمل میکند.

شکل ۹۰ ـ شعلهٔ شمع میان دو قطب آهن‌ربای الکتریکی.

نباید خیال کرد که آهن‌ربا فقط روی آهن اثر میکند. اجسام دیگری نیز هستند که آهن‌ربای قوی روی آنها اثر میکند، البته نه به آن شدت که روی آهن. آهن‌ربا فلزهائی از قبیل نیکل، کبالت، منگنز، پلاتین، طلا، نقره و آلومینیوم را بطور ضعیف جذب میکند. خصوصیت اجسامی از قبیل روی، سرب، گوگرد و بیسموت که اجسام دیاماگنیتیک نام دارند، از این هم جالب تر است. این اجسام از آهن‌رباهای قوی دور میشوند!

مایعات و گازها نیز بوسیلهٔ آهن‌ربا جذب یا

دفع میشوند، البته به میزان بسیار ضعیف. آهن‌ربا باید بسیار قوی باشد تا بتواند روی این اجسام اثر کند. مثلاً اکسیژن خالص بوسیله آهن‌ربا جذب میشود. اگر حباب صابون را از اکسیژن پر کنیم و آن را میان دو قطب یک آهن‌ربای قوی الکتریکی قرار بدهیم، نیروهای مغناطیسی نامرئی آن را از دو سو میکشند و در میان دو قطب دراز میکنند. اگر شمع روشنی را میان دو انتهای یک آهن‌ربای قوی بگیریم، شکل معمولی شعله تغییر میکند و معلوم میشود که شعله در برابر نیروهای مغناطیسی حساسیت دارد (شکل ۹۰).

مسالهٔ قطب‌نما

ما عادت داریم فکر کنیم که همیشه یک سر عقربهٔ قطب‌نما به سوی شمال و سر دیگرش به طرف جنوب متوجه است. به این دلیل سؤال زیر بکلی بی‌معنی به نظر می‌آید: در چه نقطه‌ای از کرهٔ زمین هر دو سر عقربهٔ قطب‌نما شمال را نشان میدهند؟

سؤال پائین از این هم بی‌معنی‌تر به نظر می‌آید: در چه نقطه‌ای از کرهٔ زمین هر دو سر عقربهٔ قطب‌نما جنوب را نشان میدهند؟

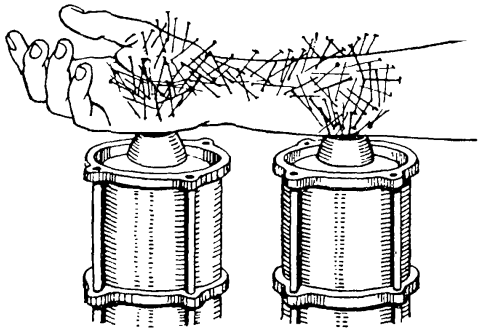
شما آماده‌اید جواب بدهید که چنین نقاطی در کرهٔ ما وجود ندارد و نمیتواند وجود داشته باشد. ولی چنین نقاطی وجود دارد.

به یاد بیاورید که قطب‌های مغناطیسی زمین با قطب‌های جغرافیائی آن منطبق نیستند، و لابد خودتان پی میبرید که در مسأله چه نقاطی مورد بحث است. قطب‌نمائی که در قطب جنوب جغرافیائی قرار داشته باشد، دو سر عقربهٔ آن چه سمتی را نشان خواهند داد؟ یکی از دو سر آن به طرف نزدیکترین قطب مغناطیسی متوجه خواهد بود و سر دیگرش به طرف مقابل. اما از قطب جنوب جغرافیائی به هر سو برویم، همیشه فقط به طرف شمال خواهیم رفت. در قطب جنوب جغرافیائی سمت دیگری وجود ندارد، در اطراف آن همه جا شمال است. پس قطب‌نمائی که در قطب جنوب جغرافیائی قرار داشته باشد، هر دو سر عقربهٔ آن شمال را نشان میدهد.

و نیز قطب‌نمائی که در قطب شمال جغرافیائی قرار داشته باشد، درست همین طور، هر دو سر عقربهٔ آن قطب جنوب را نشان خواهد داد.

خطوط نیروهای مغناطیسی

شکل ۹۱ که از عکس اقتباس شده منظره جالبی را نشان میدهد. روی دستی که روی دو قطب آهن‌ربای الکتریکی گذاشته شده تعداد زیادی میخ بزرگ، مانند موهای زبر، راست ایستاده‌اند. دست نیروی مغناطیسی را ابداً حس نمیکند، رشته‌های نامرئی از آن میگذرند و هیچ عاملی وجود آنها را نشان نمیدهد. اما میخ های آهنی تحت تأثیر نیروی مغناطیسی به ترتیب معین قرار میگیرند و سمت نیروهای مغناطیسی را به ما نشان میدهند.



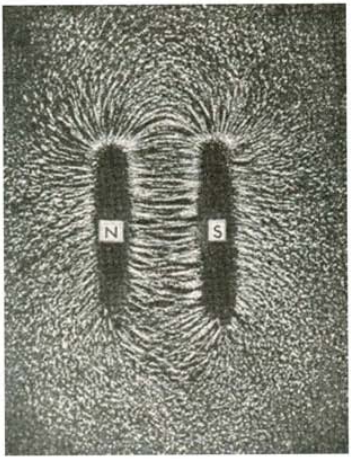
شکل ۹۱ — نیروهای مغناطیسی از دست عبور میکنند.

انسان عضوی که نیروی مغناطیسی را حس کند ندارد، به این دلیل ما فقط میتوانیم به وجود نیروهائی که آهن‌ربا را احاطه میکند پی ببریم*. اما از طریق غیر مستقیم به آسانی میتوان منظرهٔ سمت این نیروها را آشکار ساخت. این کار را بوسیله براده آهن بهتر از هر چیز میتوان انجام داد. یک ورقهٔ نازک و هموار براده آهن روی یک تکه مقوای صاف یا شیشه بریزید، یک آهن‌ربای معمولی زیر مقوا یا شیشه بگیرید و با ضربه‌های کوچک به مقوا یا شیشه براده‌ها را تکان بدهید. نیروهای مغناطیسی از مقوا و شیشه به آزادی عبور میکنند. بنا بر این، براده‌های آهن تحت تأثیر آهن‌ربا مغناطیسی میشوند، وقتی آنها را تکان میدهیم برای یک لحظه از صفحه جدا میشوند و میتوانند تحت تأثیر نیروهای مغناطیسی به آسانی بپیچند و به وضعی درآیند که عقربهٔ مغناطیسی در آن نقطه به خود می‌گرفت، یعنی در امتداد خط نیروی مغناطیسی قرار بگیرند. در نتیجه، براده‌ها به صورت ردیف‌هائی قرار میگیرند که سمت خطوط مغناطیسی نامرئی را نشان میدهند.

---

* جالب است در نظر مجسم کنیم که اگر عضوی میداشتیم که بوسیله آن نیروهای مغناطیسی را مستقیماً حس کنیم، چه حالاتی به ما دست میداد. کریدل موفق شد حسی که میتوان آن را حس مغناطیسی نامید، به خرچنگ‌ها تلقیح کند. او متوجه شد که خرچنگ‌های جوان در گوش‌های خود ریگ‌های کوچک میگذارند. این ریگ‌ها بوسیلهٔ وزن خود روی تار حساسی که جزء عضو حفظ تعادل خرچنگ است، تأثیر می بخشند. در گوش انسان نیز در نزدیکی عضو اصلی شنوائی چنین سنگ‌هائی هست. این سنگ‌ها در سمت خط قائم عمل میکنند و سمت نیروی ثقل را نشان میدهند. کریدل بجای ریگ در گوش خرچنگ‌ها براده آهن گذاشت و خرچنگ‌ها متوجه این کار نشدند. وقتی آهن‌ربا را به خرچنگ نزدیک میکرد، خرچنگ در سطح عمود بر منتجهٔ نیروی مغناطیسی و نیروی ثقل می‌ایستاد.

«در این اواخر موفق شده‌اند آزمایش‌های نظیر آزمایش بالارا روی آدم هم بکنند. «کلر» ذرات کوچک آهن‌را به پرده گوش می‌چسباند و در نتیجهٔ این عمل، گوش نوسانات نیروی مغناطیسی را مانند صوت حس میکرد» (پروفسور وینر).



شکل ۹۲ — وضع قرار گرفتن براده‌های آهن روی مقوائی که قطب‌های آهن‌ربا را پوشانده است.

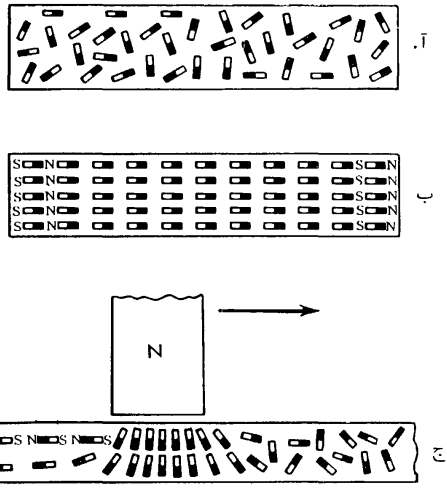
وقتی صفحه‌ای را که روی آن براده آهن ریخته شده روی آهن‌ربا بگیریم و تکان بدهیم، براده‌های آهن به صورتی در می‌آیند که در شکل ۹۲ ملاحظه میکنید. نیروهای مغناطیسی سیستم مرکبی از خطوط منحنی تشکیل میدهند. ملاحظه میکنید که این خطوط چگونه از هر قطب آهن‌ربا مانند اشعه به اطراف پخش میشوند و براده‌ها به یکدیگر میچسبند و قوس‌های کوتاه و دراز بیشماری بین دو قطب آهن‌ربا تشکیل میدهند. براده‌های آهن آن نقش‌هائی را که فیزیسین‌ها در مغز خود مجسم میکنند و بطور نامرئی در اطراف هر آهن‌ربائی وجود دارد، عیناً نشان میدهند. هر چه خطوط براده‌ها به قطب‌های آهن‌ربا نزدیک‌تر باشند، به همان نسبت متراکم‌تر و دقیق‌تر هستند، بر عکس، با دور شدن از قطب تعداد خطوط کاهش مییابد و دقت آنها کم میشود و این بطور آشکار نشان میدهد که با ازدیاد فاصله از قطب‌های آهن‌ربا نیروهای مغناطیسی ضعیف میشوند.

فولاد چگونه مغناطیسی میشود؟

برای جواب به این سؤال که اغلب خوانندگان میدهند، باید قبل از هر چیز توضیح داد که آهن‌ربا با یک تکه فولاد غیر مغناطیسی چه تفاوت دارد. هر اتم آهن را که در ترکیب فولاد — اعم از فولاد مغناطیسی شده یا مغناطیسی نشده — وجود دارد، میتوان مانند یک آهن‌ربای کوچک تصور کرد. در فولاد مغناطیسی شده آهن‌رباهای اتمی به وضع نامرتب قرار دارند، بطوری که عمل هر یک از آنها با عمل متقابل آهن‌ربای اتمی دیگری که در جهت عکس آن قرار دارد، خنثی میشود (شکل ۹۳ — الف). اما در آهن‌ربا، بطوریکه در شکل ۹۳ — ب نشان داده شده، همه آهن‌رباهای کوچک اتمی مرتب قرار گرفته‌اند و قطب مثبت آنها به یک سو و قطب منفی به سوی دیگر متوجه است.

وقتی به یک تکه فولاد آهن‌ربا میمالند، در فولاد چه روی میدهد؟ آهن‌ربا با نیروی جاذبهٔ خود آهن‌رباهای کوچک اتمی را میچرخاند بطوریکه قطب مثبت همهٔ آنها در یک جهت و قطب منفی در جهت دیگر قرار گیرد. در شکل ۹۳ — ج نشان داده شده است که این عمل چه‌گونه صورت میگیرد: اول آهن‌رباهای کوچک اتمی طوری می‌پیچند که قطب جنوب آنها به طرف قطب شمال آهن‌ربا متوجه باشد، بعد که آهن‌ربا از آنها دور میشود در طول خود در سمت حرکت آهن‌ربا قرار میگیرند، بطوریکه قطب جنوبشان به طرف وسط تکهٔ فولاد متوجه باشد.

از اینجا به آسانی میتوان فهمید که برای مغناطیسی کردن تکهٔ فولاد، آهن‌ربا را چگونه باید حرکت داد: باید یک قطب آهن‌ربا را به انتهای تکهٔ فولاد چسباند، محکم فشرد و آهن‌ربا را

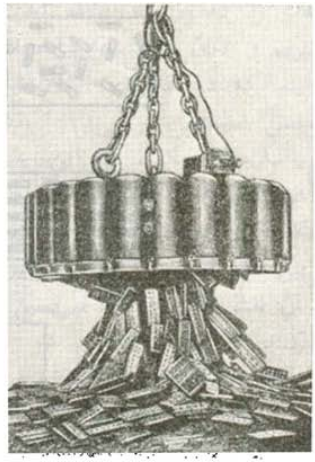


شکل ۹۳ :
الف — وضع قرار داشتن آهن‌رباهای کوچک اتمی در یک تکه فولاد مغناطیسی نشده؛
ب — وضع قرار داشتن آهن‌رباهای کوچک اتمی در فولاد مغناطیسی شده ؛
ج — عمل قطب آهن‌ربا روی آهن‌رباهای کوچک اتمی فولادی که آن‌را مغناطیسی میکنند.

در طول تکهٔ فولاد حرکت داد . این یکی از ساده‌ترین و قدیم‌ترین طرق مغناطیسی کردن فولاد است ، اما فقط برای ساختن آهن‌رباهای کوچک و ضعیف میتوان آن را بکار برد . آهن‌رباهای قوی را میتوان با استفاده از جریان برق ساخت .

آهن‌رباهای الکتریکی عظیم

در کارخانه‌های ذوب آهن جرثقیل‌های آهن‌ربای الکتریکی هست که بارهای بسیار سنگین‌را حمل و نقل میکنند . اینگونه جرثقیل ها برای بلند کردن و تغییر مکان توده‌های عظیم آهن در کارخانه‌های فولادریزی و امثال آن خدمات گرنبهائی انجام میدهند . بوسیله این جرثقیل‌های مغناطیسی میتوان تکه‌های عظیم آهن یا قطعات ماشین به وزن دهها تن را بدون بستن به آسانی تغییر مکان داد . این جرثقیل‌ها میتوانند آهن ورقه ، سیم ، میخ ، آهن‌پاره و امثال آن را که با وسائل دیگر حمل و نقل آنها زحمت و دردسر فراوان دارد ، بدون جعبه و بسته‌بندی از جائی به جای دیگر ببرند .
در شکل‌های ۹۴ و ۹۵ این خدمت سودمند آهن‌ربا را به چشم خود می‌بینید . در شکل ۹۴ دیده میشود که چگونه یک جرثقیل مغناطیسی نیرومند توده انبوه ورقه‌های آهن را یکباره جمع کرده



شکل ۹۴ — جرثقیل آهن‌ربای الکتریکی هنگام حمل ورقه‌های آهن .

شکل ۹۵ — جرثقیل آهن‌ربائی هنگام حمل وزنه آهنی

و میبرد ، مجسم کنید که با وسائل دیگر برای جمع‌آوری و حمل این توده انبوه چقدر زحمت و درد سر لازم بود. این وسیلهٔ حمل و نقل نه فقط از لحاظ صرفه‌جوئی در نیرو بلکه از نظر سادگی کار نیز سود فراوان دارد. در شکل ۹۵ می‌بینید که چگونه جرثقیل مغناطیسی یک وزنهٔ بسیار سنگین را یکباره بلند میکند و به جای دیگر میبرد . فقط در یک کارخانهٔ ذوب آهن چهار جرثقیل مغناطیسی که هر یک میتواند در آن واحد ده ریل حمل کند ، کار دویست کارگر را انجام میدهند. لازم نیست برای بستن و محکم کردن این اجسام سنگین به جرثقیل هیچ زحمتی کشید، زیرا تا وقتی در سیم‌پیچ آهن‌ربای الکتریکی برق جریان دارد، حتی یک تکه آهن از آن نمی‌افتد .

اما اگر به دلیلی جریان برق در سیم‌پیچ قطع شود ، وقوع حادثهٔ ناگوار اجتناب‌ناپذیر است . در ابتدا گاهی اینگونه حوادث روی میداد . در یک مجله تکنیکی نوشته شده بود : « در یکی از کارخانه‌های امریکا آهن‌ربای الکتریکی شمش‌های آهنی را که با واگن میاوردند ، برمیداشت و در کوره می‌انداخت . ناگهان در کارخانهٔ برق آبشار نیاگارا که برق میداد ، حادثه‌ای رخ داد و برق قطع شد . تودهٔ انبوه و سنگین فلز از آهن‌ربای الکتریکی جدا شد و روی سر کارگری فرو

ریخت. برای اجتناب از تکرار اینگونه حادثه‌های فلاکت‌آور و نیز به منظور صرفه‌جویی در نیروی برق، روی آهن‌رباهای الکتریکی دستگاههای ویژه‌ای کار میگذارند. پس از آنکه آهن‌ربا چیزهائی را که میخواهند به جای دیگر ببرند، بلند کرد، چند گیره فولادی محکم از کناره‌های آهن‌ربا پائین می‌آیند و کیپ بسته میشوند و پس از آن خود گیره‌ها بار را نگاه میدارند و جریان برق در تمام مدت حمل و نقل قطع میشود».

قطر آهن‌رباهای الکتریکی که در شکل‌های ۹۴ و ۹۵ نشان داده شده، به ۱/۵ متر میرسد. هر یک از این آهن‌رباها میتواند ۱۶ تن بار (یک واگن باری) را بلند کند. یک چنین آهن‌ربائی در یک شبانه‌روز بیش از ۶۰۰ تن بار حمل میکند. آهن‌رباهای الکتریکی هست که میتوانند هر دفعه ۷۵ تن بار، یعنی یک لکوموتیو بزرگ را بلند کنند.

ممکن است برخی از خوانندگان با مشاهدهٔ کار این آهن‌رباهای الکتریکی فکر کنند که چه خوب بود اگر از این آهن‌رباها در حمل و نقل تبرهای آهن گداخته استفاده میشد. متأسفانه این کار فقط تا درجهٔ حرارت معینی مقدور است، زیرا آهن گداخته مغناطیسی نمیشود. آهن‌ربائی که تا ۸۰۰ درجه گرم شود خاصیت مغناطیسی خود را از دست میدهد.

در صنعت فلزسازی معاصر برای نگاه داشتن و تغییر مکان فراورده‌های فولادی و آهنی و چدنی از آهن‌رباهای الکتریکی به مقیاس وسیع استفاده میشود. صدها صفحهٔ نظام و میز و سایر وسائل ساخته شده که کار ساختن فراورده‌ها را به میزان قابل ملاحظه‌ای ساده و سریع میکند.

شعبده‌بازی‌های مغناطیسی

شعبده‌بازها نیز گاهی از نیروی آهن‌رباهای الکتریکی استفاده میکنند. به آسانی میتوان مجسم کرد که آنها با استفاده از این نیروی نامرئی چه شعبده‌های حیرت‌آوری نشان میدهند. داری، مؤلف کتاب معروف «برق و موارد استعمال آن» حکایت یکی از شعبده‌بازهای فرانسوی را نقل میکند. این شعبده‌باز فرانسوی هنگام نمایش در الجزایر شعبده‌ای نشان داد که در بینندگان بی‌اطلاع مانند یک معجزهٔ حقیقی تأثیر بخشید. شعبده‌باز حکایت میکند:

«صندوقی آهن‌کوب شده که دستهٔ آن به درش نصب شده بود، در صحنه قرار داشت. من به تماشاچیان پیشنهاد کردم که یک نفر نیرومند به صحنه بیاید. یک عرب میانه‌بالا، اما با بدن نیرومند، گوئی هرکولس عرب ها، به دعوت من لبیک گفت و برخاست. با قیافهٔ شاداب و پرمدعا و با لبخندی کمی تمسخرآمیز جلو آمد و در کنار من ایستاد. من سر تا پای او را وارانداز کردم و پرسیدم:

— شما خیلی قوی هستید؟

او با لحنی بی‌اعتنا جواب داد:

— بلی

— اطمینان دارید که همیشه نیرومند خواهید بود؟

— یقین دارم.

— اشتباه میکنید. من میتوانم در یک چشم برهم زدن نیروی شما را بگیرم، بطوریکه مانند کودک خردسالی ضعیف و ناتوان بشوید.

لبخندی تحقیرآمیز حاکی از ناباوری عرب به سخنان من، بر لبان وی نقش بست. من گفتم:

— اینجا بیائید و این صندوق را بلند کنید .
عرب خم شد ، صندوق را بلند کرد و با غرور و نخوت پرسید :
— همین ؟
— من جواب دادم :
— کمی صبر کنید .
سپس قیافهٔ جدی و آمرانه به خود گرفتم و با صدای رسائی گفتم :
— حالا شما از یک زن هم کم‌زورترید. اگر میتوانید یک بار دیگر صندوق را بلند کنید .
پهلوان بدون ذره‌ای ترس از سحر و جادوی من ، دستهٔ صندوق را گرفت تا بلند کند ، اما این بار صندوق مقاومت نشان داد و با وجود تمام سعی و کوشش های عرب ، از جا تکان نخورد ، گوئی به زمین میخکوب شده بود . عرب چنان زور میزد که برای بلند کردن بار عظیم و سنگینی کافی بود ، اما کوشش او بی‌نتیجه ماند و صندوق از جا تکان نخورد . بالاخره ، پس از آنکه بکلی از رمق افتاد و نفسش بند آمد ، ایستاد . از خجالت مثل لبو سرخ شده بود و به نیروی سحر و جادو اعتقاد پیدا میکرد » .

راز سحر و جادوی نمایندهٔ « توسعه دهندگان تمدن » بسیار ساده بود . ته آهنی صندوق روی پایه‌ای قرار داشت که قطب یک آهن‌ربای الکتریکی قوی بود . تا وقتی جریان برق وجود نداشت ، بلند کردن صندوق کار آسانی بود ، اما همینکه برق در سیم‌پیچ آهن‌ربای الکتریکی جریان مییافت ، نیروی دو سه نفر آدم هم برای جدا کردن صندوق از پایه کافی نبود .

آهن‌ربا در کشاورزی

خدمت سودمندی را که آهن‌ربا در امور کشاورزی انجام میدهد، از این هم جالب تر است . آهن‌ربا به کشاورزان کمک میکند تا تخم‌های گیاهان زراعتی را از تخم‌های علف‌های هرزه پاک کنند . معمولاً تخم‌های علف‌های هرزه از پرزها و رشته‌هائی پوشیده شده‌اند که به پشم دامها می‌چسبند و در نتیجه در جاهای دور از علف اصلی پخش میشوند . این ویژگی علف‌های هرزه طی میلیون‌ها سال تنازع بقا در آنها بوجود آمده است و تکنیک کشاورزی برای جدا کردن تخم‌های پرزدار علف‌های هرزه از تخم‌های صاف و صیقلی گیاهان سودمندی از قبیل کنف ، شبدر و یونجه از این ویژگی استفاده میکند . اگر در داخل تخم‌های گیاهان کشاورزی که با تخم‌های علف هرزه مخلوط است ، مقداری پودر آهن بریزیم ، مقدار زیادی ذرات آهن به تخم‌های علف‌های هرزه می‌چسبد ، اما به تخم‌های صاف گیاهان کشاورزی نمی‌چسبد . اگر این مخلوط تخم‌ها در میدان عمل یک آهن‌ربای الکتریکی قوی قرار بگیرد ، خود بخود به دو قسمت تقسیم میشود ، آهن‌ربا کلیه تخم‌هائی را که ذرات آهن به آنها چسبیده است جذب میکند و در نتیجه تخم‌های گیاهان کشاورزی از تخم‌های علف‌های هرزه پاک میشود .

ماشین پرنده مغناطیسی

من در آغاز این کتاب به رمان جالب سیرانو دو برژراک نویسندهٔ فرانسوی به نام « تاریخ دولت‌ها در ماه و خورشید » استناد کردم . در این کتاب ضمن سایر مطالب ، توصیف ماشین پرنده

جالبی نیز آمده است که بر اساس قوهٔ جاذبهٔ آهن‌ربا کار میکند و یکی از قهرمانان داستان با آن ماشین به ماه پرواز کرد. اکنون این قسمت از کتاب را عیناً نقل میکنم:

«من دستور دادم یک گاری سبک آهنی بسازند. سوار گاری شدم، روی نشیمنگاه راحت نشستم و شروع به بالا انداختن گلولهٔ مغناطیسی کردم. همینکه گلولهٔ مغناطیسی را بالا می‌انداختم، گاری هم به دنبال آن بالا میرفت. هر بار پس از آنکه به جائی که گلوله مرا کشیده بود، میرسیدم، دو باره گلوله را به بالا پرتاب میکردم، حتی وقتی گلوله را با دست روی سرم بلند میکردم، گاری هم بالا میرفت تا به گلوله نزدیک شود. پس از آنکه بارها گلوله را به بالا پرتاب کردم و گاری نیز بالا رفت، به جائی رسیدم که سقوط به روی ماه شروع شد. چون در این موقع گلوله را محکم گرفته بودم، گاری به من چسبیده بود و از من جدا نمیشد. برای آنکه هنگام فرود آمدن روی کره ماه گاری نشکند و خودم کشته نشوم، گلوله را طوری بالا می‌انداختم که سرعت گاری با نیروی جاذبهٔ گلوله تقلیل بیابد. وقتی به فاصلهٔ فقط پانصد — ششصد متر از سطح ماه رسیدم، شروع به بالا انداختن گلوله در جهت عمود به سمت سقوط کردم، تا اینکه گاری کاملاً به سطح ماه نزدیک شد. آنوقت از گاری بیرون پریدم و به آرامی روی شن فرود آمدم».

البته هیچ کس — چه مؤلف رمان و چه خوانندگان آن — شک ندارد که ممکن نیست این ماشین پرنده بتواند پرواز کند. اما گمان نمیکنم عدهٔ زیادی بتوانند علت عملی نبودن این طرح را به درستی توضیح بدهند. آیا علت عملی نبودن این طرح آن است که وقتی در گاری آهنی باشیم نمیتوانیم آهن‌ربا را به بالا پرتاب کنیم، یا اینکه آهن‌ربا گاری را جذب نخواهد کرد، و یا اصولاً علت دیگری دارد؟

نه، آهن‌ربا را میتوان پرتاب کرد و اگر آهن‌ربا به حد کافی قوی باشد، گاری را جذب میکند، با وجود این، ماشین پرنده ابداً بالا نخواهد رفت.

آیا برایتان پیش‌آمد کرده است که جسم سنگینی را از قایق به ساحل بیاندازید؟ بی‌شک متوجه شده‌اید که ضمن انداختن جسم، خود قایق هم از ساحل دور میشود. عضلات شما که جسم را در سمت معینی به حرکت درمی‌آورند، در عین حال بدن شما را (و با بدن شما قایق را) در سمت عکس آن به حرکت در می‌آورند. در اینجا همان قانون تساوی نیروهای کنش و واکنش که بارها از آن سخن گفته‌ایم، ظاهر میشود. هنگام پرتاب آهن‌ربا نیز همین عمل صورت میگیرد، یعنی کسی که در گاری آهنی نشسته و گلولهٔ مغناطیسی را به بالا پرتاب میکند (البته با نیروی زیاد، زیرا گلوله به طرف گاری آهنی جذب میشود)، ناگزیر گاری آهنی را نیز به پائین حرکت میدهد. وقتی که پس از آن گلوله و گاری در اثر نیروی جاذبهٔ متقابل دوباره به یکدیگر نزدیک شدند، فقط به جای اولیهٔ خود برمیگردند. بنا بر این، روشن است که اگر گاری حتی اصلاً وزن نداشته باشد، با پرتاب گلولهٔ مغناطیسی فقط میتوان در حول یک موضع میانه به آن حرکت نوسانی داد. با این کار ممکن نیست گاری را در سمت معینی به حرکت آورد.

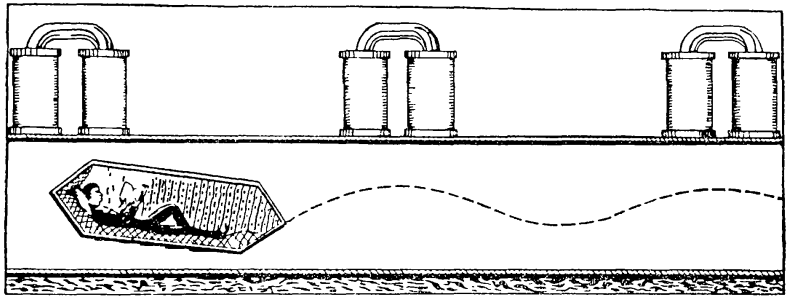
در دوره سیرانو دو برژراک (اواسط قرن ۱۷ میلادی) هنوز قانون کنش و واکنش کشف نشده بود. به این دلیل گمان نمیرود که نویسندهٔ فکاهی‌نویس فرانسوی میتوانسته است علت عملی نبودن طرح شوخی‌آمیز خود را بطور دقیق توضیح بدهد.

روزی هنگام کار با جرثقیل مغناطیس برقی حادثه جالبی روی داد. یکی از کارگران متوجه شد که مغناطیس برقی یک گلولهٔ آهنی سنگین را جذب کرده و چون گلوله به وسیلهٔ زنجیری به زمین وصل شده بود، کاملاً به مغناطیس برقی نچسبیده و میان گلوله و مغناطیس به اندازهٔ عرض کف دست فاصله وجود داشت. منظرهٔ خارق‌العاده‌ای به وجود آمده بود. زنجیر به حالت عمودی به طرف بالا راست ایستاده بود! نیروی آهن‌ربا بقدری زیاد بود که وقتی کارگر از زنجیر آویزان شد، باز هم زنجیر به حالت عمودی باقی ماند*. عکاسی که در آن حوالی بود فوراً از این منظرهٔ فوق‌العاده جالب عکس برداشت. ما این عکس آدمی‌را که در هوا معلق است چاپ میکنیم (شکل ۹۶).

ضمناً با استفاده از دفع متقابل دو آهن‌ربا میتوان پدیده جالبی به وجود آورد. (این مطلب را که آهن‌رباها نه فقط جذب بلکه دفع هم میکنند، اغلب حتی کسانی که تا چندی پیش فیزیک می‌آموخته‌اند، نیز از یاد میبرند). بطوری که میدانیم قطب‌های هم‌نام آهن‌رباها یکدیگر را دفع میکنند. اگر دو میلهٔ مغناطیسی شده را طوری روی هم بگذاریم که قطب‌های هم‌نام آنها روی یکدیگر قرار بگیرند، آن دو میله یکدیگر را دفع میکنند. چنانچه وزن میلهٔ بالائی بطور مناسبی انتخاب شود به آسانی میتوان حالتی به وجود آورد که میله بالائی حتی بدون تماس با میله پائینی روی آن معلق بماند و تعادل پایداری داشته باشد. فقط باید بوسیله پایه‌هائی از ماده مغناطیسی نشونده — مثلاً شیشه — از امکان چرخش میله بالائی در سطح افقی جلوگیری کرد.

شکل ۹۶ — زنجیری که با بار بطور قائم راست ایستاده است.

* این واقعه میرساند که نیروی مغناطیس برقی فوق‌العاده زیاد است، زیرا اثر جاذبهٔ آهن‌ربا متناسب با فاصلهٔ میان آهن‌ربا و جسمی که جذب میشود، بشدت تقلیل مییابد. آهن‌ربای نعلی شکلی که وقتی جسم مستقیماً به آن چسبیده باشد میتواند صد گرم بار را بلند کند، اگر میان آن آهن‌ربا و جسم یک ورق کاغذ قرار بدهیم نیروی بالابرنده آهن‌ربا به نصف کاهش مییابد. به این دلیل است که با وجود اینکه رنگ مانع زنگ‌زدن آهن‌ربا میشود، معمولاً دو سر آهن‌ربا را با ورقه‌ای از رنگ نمیپوشانند.



شکل ۹۷ — واگنی که بدون اصطکاک حرکت میکند. راهی که طرح آن‌را پروفسور وینبرگ تهیه کرده است.

این پدیده را میتوان با استفاده از نیروی جاذبهٔ آهن‌ربا نیز به وجود آورد ، ولی برای جسم متحرک . طرح بسیار جالب راه‌آهن مغناطیس برقی (شکل ۹۷) بر اساس همین فکر از طرف فیزیسین معروف شوروی وینبرگ تدوین و پیشنهاد شده است . این طرح بقدری جالب و آموزنده است که آشنائی با آن برای کلیه کسانی که به فیزیک علاقه دارند ، سودمند است .

وسیله نقلیه با آهن‌ربای الکتریکی

در راه‌آهنی که پروفسور وینبرگ پیشنهاد میکرد بسازند ، واگن‌ها بکلی بی‌وزن خواهند بود . وزن واگن ها با نیروی جاذبهٔ آهن‌ربای الکتریکی خنثی میشود . به این دلیل تعجب نکنید که طبق طرح پروفسور وینبرگ واگن‌ها روی ریل حرکت نمیکنند ، در آب شناور نیستند و حتی در هوا نمی‌لغزند ، بلکه بی‌آنکه به چیزی اتکا داشته باشند یا به چیزی بچسبند ، با رشته‌های نامرئی نیروی عظیم آهن‌ربا آویزان خواهند بود . کوچکترین اصطکاکی نخواهند داشت ، به این دلیل وقتی یک بار آنها را به حرکت درآوریم ، بی‌آنکه به لکوموتیو احتیاج داشته باشند ، با اینرسی سرعت خود را حفظ میکنند.

این طرح به طریق زیر عملی میشود . واگن‌ها در داخل لولهٔ مسی که هوای آن تخلیه شده است حرکت میکنند تا مقاومت هوا مانع حرکت واگن‌ها نشود . اصطکاک نیز به این طریق از بین میرود که واگن‌ها با نیروی آهن‌رباهای الکتریکی در خلأ معلق میمانند و بدون تماس با دیوارهٔ لوله حرکت میکنند . برای این منظور در تمام طول راه بالای لوله ، در فاصله معینی از یکدیگر آهن‌رباهای الکتریکی بسیار قوی کار میگذارند . این آهن‌رباها واگن‌های آهنی‌را که در داخل لوله در حرکتند ، جذب میکنند و مانع افتادن آنها میشوند . نیروی آهن‌رباها طوری حساب شده است که واگن آهنی که در لوله حرکت میکند ، همیشه میان «سقف» و «کف» لوله میماند و با هیچ یک از آنها تماس پیدا نمیکند . یک آهن‌ربای الکتریکی واگنی‌را که از زیر آن میگذرد ، به بالا جذب میکند ، اما واگن به سقف نمیخورد ، زیرا نیروی ثقل آن را به پائین میکشد . همینکه واگن میخواهد به کف لوله بخورد ، نیروی جاذبهٔ آهن‌ربای الکتریکی بعدی واگن را به بالا جذب میکند و الی آخر . بدین ترتیب ، مرتباً

به وسیله آهن‌رباهای الکتریکی به بالا جذب میشود ، مانند سیاره‌ها در فضای کیهانی ، بدون اصطکاک و بدون تکان‌های ضربه‌ای روی یک خط موجی در خلأ حرکت میکند .

پس واگن‌ها چگونه واگن‌هائی هستند ؟ واگن‌ها استوانه‌هائی به شکل سیگار ، به ارتفاع ۹۰ سانتیمتر و به طول ۲/۵ متر میباشند . البته چون واگن‌ها در خلأ حرکت میکنند ، هر واگن کاملاً بسته و غیر قابل نفوذ است و به دستگاههائی برای تصفیهٔ خود بخود هوا مجهز میباشد .

طرز راه انداختن واگن‌ها نیز با آنچه تا کنون به کار میرفته است ، از ریشه و بن متفاوت است ، و فقط میتوان آن را با تیراندازی توپ مقایسه کرد . واقعاً هم ، این واگن‌ها عیناً مثل گلوله توپ پرتاب میشوند ، فقط « توپی » که آنها را پرتاب میکند ، آهن‌ربای الکتریکی است . ایستگاه مبدأ بر اساس خصوصیت سیم‌پیچ به شکل بوبین (« سلنوئید ») ساخته شده است ، که وقتی برق در آن جریان داشته باشد ، میلهٔ آهنی را به درون خود میکشد . کشش با چنان شدتی صورت میگیرد که اگر سیم‌پیچ به حد کافی دراز و جریان برق به حد کافی قوی باشد ، سرعت میله فوق‌العاده زیاد میشود . در راه‌آهن مغناطیسی جدید ، همین نیرو است که واگن‌ها را پرتاب میکند . از آنجا که در داخل تونل اصطکاک وجود ندارد ، سرعت واگن‌ها کم نمیشود و واگن‌ها با اینرسی حرکت خواهند کرد تا سلنوئید ایستگاه مقصد آنها را متوقف سازد .

اینک برخی جزئیات از زبان خود تدوین‌کننده طرح در زیر نقل میشود :

« آزمایش‌هائی را که در سال‌های ۱۹۱۱ — ۱۹۱۳ در آزمایشگاه فیزیک دانشکدهٔ تکنولوژی شهر تمسک انجام میدادم ، در لولهٔ مسی به قطر ۳۲ سانتیمتر صورت میگرفتند ، بالای لولهٔ مسی چند آهن‌ربای الکتریکی و زیر آهن‌رباها ، واگن کوچکی روی پایه قرار داشت ، واگن عبارت از یک لولهٔ آهنی بود که در قسمت جلو و عقب آن چرخ کار گذاشته شده بود و نوک تیزی داشت که هنگام توقف به تخته‌ای اصابت میکرد و تخته به یک کیسهٔ پر از شن اتکأ داشت . وزن این واگن کوچک ۱۰ کیلوگرم بود . سرعت واگن را ممکن بود به ۶ کیلومتر در ساعت رساند ، اما چون مساحت اطاق و محیط لولهٔ حلقه‌ای (قطر حلقه ۶/۵ متر بود) محدود بود، سرعت را بیش از ۶ کیلومتر در ساعت نمیشد افزایش داد . اما در طرحی که من تهیه کرده‌ام ، طول سلنوئیدهای ایستگاه مبدأ بیش از ۳ کیلومتر است و در اینصورت سرعت را میتوان به آسانی از ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر در ساعت رساند و چون در لوله هوا وجود ندارد و واگن به کف یا سقف لوله اصطکاک پیدا نمیکند ، برای حفظ سرعت هیچگونه نیازی به صرف انرژی نیست .

با وجود اینکه ارزش ساختمان ، بویژه خود لولهٔ مسی بسیار زیاد است ، اما چون احتیاجی به صرف نیرو برای حفظ سرعت و نیازی به لکوموتیوران و مأمور واگن و سایر خدمه نیست و مخارجی ندارد ، ارزش هر کیلومتر از چند هزارم کپک تا ۲ صدم کپک و ظرفیت راه دولوله‌ای در هر شبانه‌روز ۱۵۰۰۰ نفر مسافر یا ۱۰۰۰۰ تن باردر یک جهت میباشد » .

رزم مریخی‌ها با ساکنان زمین

پلینی عالم طبیعت‌شناس رومی داستانی‌را که در عهد وی ، در دوران باستان شایع بوده است ، نقل میکند و میگوید که در نقطه‌ای در هندوستان در ساحل دریا صخرهٔ مغناطیسی بوده‌است که کلیه

اجسام آهنی‌را با نیروی فوق‌العاده زیادی جذب میکرده است . وای بر آن دریانوردی که جسارت میکرد با کشتی خود به آن صخره نزدیک شود ! صخره همهٔ میخ‌ها و چفت و بست‌های آهنی را بیرون میکشید و کشتی به تخته‌پاره‌های جدا از هم تبدیل میشد .

بعدها این روایت را در قصه‌های هزار و یک شب نیز آورده‌اند .

البته این چیزی جز افسانه نیست . اکنون ما میدانیم که کوه‌های مغناطیسی ، یعنی کوه‌هائی که در آن سنگ آهن مغناطیسی فراوان است ، واقعاً وجود دارد ، مثلا کوه مغناطیسی معروفی را که اکنون کوه‌های ذوب‌آهن ماگنیتوگورسک در آنجا سر به آسمان کشیده‌اند بیاد بیاوریم . اما نیروی جاذبه اینگونه کوه‌ها فوق‌العاده کم و تقریباً ناچیز است . چنان کوه‌ها یا صخره‌هائی که پلینی نوشته ، هرگز در کرهٔ زمین وجود نداشته است .

اگر هم در دوران معاصر کشتی‌هائی میسازند که در آن قسمت‌های آهنی و فولادی وجود ندارد ، نه از ترس صخره‌های مغناطیسی ، بلکه برای آسان و دقیق کردن بررسی و آموزش نیروی مغناطیسی زمین است .

در سال‌های ۱۹۵۷ — ۱۹۵۸ در کارهای برنامهٔ سال بین‌المللی ژئوفیزیک از اتحاد شوروی کشتی « زاریا » شرکت داشت که نیروهای مغناطیسی در آن تأثیر نمیکنند و در موتور ، لنگرها و کیه چفت و بست‌های آن بجای فولاد و آهن فلزات غیر مغناطیسی از قبیل مس ، برنز ، آلومینیوم و غیره به کار رفته است .

کورت لاسویتس نویسندهٔ رمان‌های علمی با استفاده از نظریهٔ افسانهٔ پلینی ، در رمان خود به نام « در دو سیاره » اسلحهٔ مدهش خیالی را توصیف میکند ، که وقتی مریخی‌ها به زمین آمدند ، در رزم با ارتش‌های ساکنان زمین از آن استفاده کردند . مریخی‌ها که این اسلحهٔ مغناطیسی (یا صحیحتر مغناطیس الکتریکی) را در اختیار داشتند ، با ارتش‌های زمینی داخل نبرد نمیشدند ، بلکه بی‌آنکه به نبرد بپردازند ، آنها را خلع سلاح میکردند .

نویسنده جریان نبرد مریخی ها با ساکنان زمین را چنین توصیف میکند :

« صفوف درخشان سواران با عزمی راسخ به پیش تاختند . به نظر آمد که دلاوری جانبازانه سپاهیان ، بالاخره ، خصم نیرومند (مریخی ها — پرلمان) را وادار به هزیمت کرد ، زیرا ناوهای هوائی وی از نو به حرکت درآمدند و به هوا بلند شدند ، گوئی میخواستند راه باز کنند .

اما در همان حال سادهٔ سیاه رنگی بر روی میدان نبرد پدیدار شد و سایه افکند . این تودهٔ سیاه‌رنگ که ناوهای هوائی از هر سو آن را احاطه کرده بودند ، مانند پوشش جنبانی ، به سرعت بر فراز میدان نبرد گسترش مییافت . همینکه نخستین صف سواران در میدان عمل آن قرار گرفت ، این ماشین عجیب بر روی سر تمام هنگ باز شد . کاری که این ماشین کرد ، غیر منتظره و وحشتناک بود . فریادهای گوش‌خراش ترس و وحشت در میدان نبرد طنین انداخت . اسب‌ها و سواران به زمین می‌افتادند و روی هم توده میشدند ، نیزه‌ها و شمشیرها و تفنگ‌های کوتاه مانند تودهٔ ابری در هوا به پرواز درآمدند و با صداهائی رعدآسا به سوی ماشین رفتند و به آن چسبیدند .

ماشین از روی میدان نبرد کمی کنار رفت و تمام توده آهنی را که درو کرده بود ، روی زمین ریخت . دو بار دیگر برگشت و همهٔ اسلحه‌هائی را که در میدان بود ، مانند علف درو کرد . دستی نبود که نیروی آن را داشته باشد شمشیر یا نیزه را نگهدارد .

این ماشین اختراع جدید مریخی‌ها بود و همهٔ چیزهای آهنی یا فولادی را با نیروی مقاومت‌ناپذیری

جذب میکرد. مریخی ها به وسیلهٔ این آهن‌ربا که در هوا بر فراز سرها میگشت، اسلحه را از دست دشمنانشان میربودند، اما به آنها هیچ صدمه‌ای وارد نمی‌آوردند.

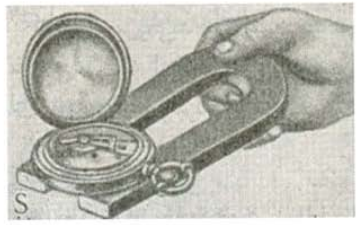
آهن‌ربای هوائی به سوی پیاده‌ها پیش رفت. سربازان با تمام نیرو میکوشیدند، تفنگ‌های خود را نگهدارند، اما کوشش آنها بیهوده بود. نیروی مقاومت‌ناپذیر تفنگ ها را از دست آنها میربود. باوجود این، بسیاری از سربازان تفنگ را رها نمیکردند، اما خودشان به هوا بلند میشدند. نخستین هنگ در چند دقیقه خلع سلاح شد. ماشین به تعاقب هنگ‌هائی که در شهر گام برمیداشتند، پرداخت تا آنها را نیز به همان سرنوشت دچار سازد.

توپخانه نیز به همین بلیه گرفتار شد».

ساعت و مغناطیس

ضمن مطالعهٔ آنچه هم اکنون گفته شد، طبیعتاً چنین سؤالی پیش می‌آید: آیا نمیتوان خود را از تأثیر نیروهای مغناطیسی محفوظ داشت و به پشت سدی که نیروهای مغناطیسی نتوانند از آن بگذرند، پناه برد؟

این امر کاملاً امکان‌پذیر است و اگر از پیش تدابیر لازم اتخاذ میگردید، از تأثیرات سوء اسلحه خیالی مریخی‌ها نیز جلوگیری به عمل می‌آمد.



شکل ۹۸ — چه چیز مکانیسم فولادی ساعت را از مغناطیسی شدن حفظ میکند؟

با اینکه بسیار عجیب به نظر می‌آید، اما ماده‌ای که نیروهای مغناطیسی در آن نفوذ نمیکنند، همان آهن است که به آسانی مغناطیسی میشود! عقربهٔ قطب‌نما در داخل حلقهٔ آهنی تحت تأثیر آهن‌ربائی که در خارج حلقه باشد، منحرف نمیشود. مکانیسم فولادی ساعت جیبی را میتوان در داخل قاب آهنی از تأثیر نیروهای مغناطیسی محفوظ داشت. اگر ساعت طلا را روی قطب‌های آهن‌ربای نعلی قوی بگذارید، کلیهٔ اجزاء فولادی مکانیسم ساعت، و قبل از همه فنر موئی* نازک رقاصک، مغناطیسی میشوند و ساعت دیگر دقیق کار نمیکند. وقتی آهن‌ربا را دور ببرید، ساعت به حال سابق برنمیگردد، اجزاء فولادی مکانیسم ساعت مغناطیسی شده باقی میمانند و ساعت به تعمیر اساسی احتیاج دارد و باید بسیاری از اجزاء مکانیسم را عوض کرد. به این دلیل با ساعت طلا نباید چنین آزمایشی کرد، زیرا بسیار گران تمام میشود.

بر عکس، با ساعتی که مکانیسم آن در داخل قاب و در آهنی یا فولادی محکم و کیپ قرار دارد، با جرئت میتوانید این آزمایش را انجام بدهید، زیرا نیروهای مغناطیسی از آهن و فولاد

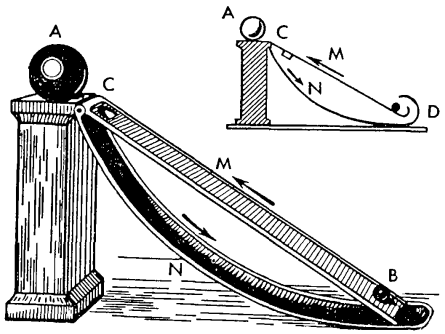
---

* البته اگر فنر موئی از همبسته ویژه‌ای به نام اینوار ساخته نشده باشد، زیرا با اینکه در ترکیب آن آهن و نیکل وجود دارد، همبسته مغناطیسی نمیشود.

عبور نمیکنند. اگر اینگونه ساعت‌ها را به سیم‌پیچ نیرومندترین دینام‌ها نزدیک کنید، در دقت کار ساعت کوچکترین خللی وارد نمی‌آید. ساعت‌های ارزان آهنی برای تکنیسین‌های برق بهترین ساعت هستند، در صورتیکه ساعت‌های طلا و نقره در نتیجهٔ تأثیر مغناطیس بزودی خراب میشوند.

محرک «دائمی» مغناطیسی

آهن‌ربا در تاریخ کوشش برای اختراع محرک دائمی نقش مهمی داشته است. مخترعین ناکام انواع و اقسام سعی و کوشش را به کار بردند تا با استفاده از آهن‌ربا دستگاهی بسازند که دائماً خود بخود حرکت کند. یکی از طرح‌های اینگونه «مکانیسم» را که جون ویلکنس اسقف انگلیسی در قرن ۱۷ میلادی توصیف کرده است در زیر نقل میکنیم.



شکل ۹۹ — محرک دائمی خیالی.

آهن‌ربای قوی A روی پایه‌ای قرار دارد (شکل ۹۹). دو ناو M و N که یکی زیر دیگری است، به پایه تکیه دارند، ضمناً در قسمت فوقانی ناو بالائی M سوراخ کوچک C تعبیه شده و ناو پائینی N قوسی شکل است. مخترع خیال میکرد که اگر روی ناو بالائی گلولهٔ کوچک آهنی B را بگذاریم، گلوله در اثر نیروی جاذبهٔ آهن‌ربای A به بالا می‌غلتد. اما همینکه به سوراخ C رسید، روی ناو پائینی N می‌افتد و به پائین می‌غلتد و از قسمت منحنی D این ناو بالا می‌رود و روی ناو بالائی M می‌افتد. از آنجا تحت تأثیر نیروی جاذبه آهن‌ربا دو باره به بالا می‌غلتد، از سوراخ روی ناو پائینی می‌افتد و به پائین می‌غلتد و روی ناو بالائی می‌افتد و از نو همین حرکت را ادامه میدهد. بدین ترتیب، گلوله بدون توقف به بالا و پائین خواهد غلتید و «حرکت دائمی» انجام خواهد داد.

اشتباه این اختراع در کجاست؟

اشتباه را به آسانی میتوان نشان داد. چرا مخترع خیال میکرد که وقتی گلوله روی ناو پائینی N تا انتهای پائینی آن غلتید، باز هم چنان سرعتی خواهد داشت که برای بالا رفتن از قسمت منحنی

D این ناو کافی خواهد بود ؟ اگر گلوله فقط تحت تأثیر نیروی ثقل به پائین می‌غلتید ، واقعاً سرعت کافی برای بالا رفتن را داشت : در آنصورت با شتاب می‌غلتید . اما این گلوله تحت تأثیر دو نیرو است : نیروی ثقل و نیروی جاذبه آهن‌ربا . طبق فرض مخترع ، نیروی جاذبهٔ آهن‌ربا بقدری زیاد است که گلوله را از حالت B تا حالت C بالا میبرد . بنا بر این گلوله در ناو N نه با شتاب مثبت ، بلکه با شتاب منفی به پائین خواهد غلتید ، و اگر هم حتی به قسمت پائینی ناو برسد ، در هر صورت سرعت لازم برای بالا رفتن از قسمت منحنی D را کسب نخواهد کرد .

بعدها این طرح بارها به انواع و اشکال ممکنهٔ تازه به منصهٔ ظهور رسید . گرچه بسیار عجیب است ، اما در سال ۱۸۷۸ میلادی ، یعنی سی سال پس از کشف قانون بقای انرژی ، در آلمان به یکی از این طرح‌ها پاتنت داده شد ! مخترع ایدهٔ اساسی پوچ « محرک دائمی مغناطیسی » خود را چنان استتار کرده بود که کمیسیون فنی مأمور دادن پاتنت را گمراه کرد . با اینکه طبق نظامنامه ، به اختراعاتی که ایدهٔ آنها با قوانین طبیعت متضاد است ، نباید پاتنت داده شود ، این بار به این اختراع رسماً پاتنت دادند . لابد صاحب سعادتمند این پاتنت که در نوع خود یگانه پاتنت بود ، بزودی از آفریده خویش قطع امید کرد ، زیرا پس از دو سال دیگر مالیات پاتنت را نپرداخت و این پاتنت شگفت قوت قانونی خود را از دست داد و « اختراع » در دسترس عموم مردم قرار گرفت ، اما برای هیچ کس لازم نبوده و نیست .

مسألهٔ موزه

گاهی در کارهای موزه احتیاج به خواندن طومارهای قدیمی و بسیار کهنه پیدا میشود که هر قدر هم بکوشی آهسته و با احتیاط برگ‌های دستنویس را از یکدیگر جدا کنی باز هم میشکنند و پاره میشوند . اینگونه برگ‌ها را چگونه میتوان از یکدیگر جدا کرد ؟

در آکادمی علوم اتحاد شوروی آزمایشگاه ترمیم اسناد و مدارک هست که وظیفهٔ حل و انجام اینگونه مسائل را بر عهده دارد . آزمایشگاه ، در مورد بالا با استفاده از برق این وظیفه را انجام میدهد . طومار را الکتریکی میکنند و به برگ‌هائی که به هم چسبیده‌اند یک نوع بار الکتریکی (مثبت یا منفی) میدهند ، در نتیجه برگ‌ها از یکدیگر دور و جدا میشوند . آنوقت دستهای ماهر به آسانی میتوانند طومار را باز کنند و روی کاغذ کاغذ بچسبانند.

باز هم یک محرک دائمی خیالی

در این اواخر جویندگان محرک دائمی به ایدهٔ اتصال دینام با موتور برقی علاقهٔ خاصی نشان میدهند و هر روز چند طرح از اینگونه طرح‌ها برای من میفرستند . ایدهٔ اساسی همه این طرح‌ها به قرار زیر است : باید فلکه موتور برقی و فلکه دینام را بوسیله تسمهٔ انتقال حرکت به یکدیگر وصل کرد و از دینام به موتور سیم کشید . اگر به دینام تکان اولیه را بدهیم و آن را به حرکت درآوریم ، برقی که دینام تولید میکند به موتور میرود و آن را به حرکت درمی‌آورد . نیروی حرکت موتور بوسیله تسمه انتقال حرکت به فلکه دینام داده میشود و آن را به حرکت درمی‌آورد . مخترعین خیال میکنند

که دو ماشین یکدیگر را به حرکت در می‌آورند و تا زمانی که ماشین‌ها کهنه و فرسوده نشده‌اند، این حرکت هرگز قطع نخواهد شد.

این ایده به نظر مخترعین بسیار فریبا می‌آید، اما آنهائی که کوشیدند به آن جامهٔ عمل بپوشانند، با تعجب یقین حاصل کردند که با این شرایط هیچ یک از ماشین‌ها کار نمیکند. از این ایده هیچ انتظار دیگری هم نمیبایست داشت. حتی اگر ضریب کار مفید هر یک از این دو ماشین که به هم متصل شده‌اند، صد در صد میبود، با این شرایط فقط در صورتی بدون توقف حرکت میکردند که اصطکاک اصلاً وجود نمیداشت. مجموعه این دو ماشین (یا به اصطلاح مهندسین، «دستگاه مختلط») در واقع عبارت از یک ماشین است که باید خودش خود را به حرکت درآورد. اگر اصطکاک وجود نداشته باشد، این دستگاه مانند هر فلکه‌ای، دائم حرکت میکند، اما از اینگونه حرکت کوچکترین سودی نمیتوان به دست آورد، زیرا همینکه بخواهیم این «محرک» برای ما کاری خارج از خودش انجام دهد، فوراً متوقف میشود. در اینصورت ما «حرکت دائمی» داشتیم نه محرک دائمی. اما وقتی اصطکاک وجود دارد، دستگاه اصلاً حرکت نمیکند.

عجیب است که چرا کسانی که شیفته این ایده هستند، به سرشان نمیزند که همین فکر را از راه ساده‌تری عملی کنند: دو فلکه را بوسیله تسمه انتقال حرکت به هم متصل کنند و یکی از آنهارا به چرخش درآورند. اگر همان منطق اتصال دو ماشین‌را ملاک قرار دهیم، باید انتظار داشته باشیم که فلکهٔ اول فلکهٔ دوم را به چرخش در می‌آورد و فلکهٔ دوم فلکهٔ اول را می‌چرخاند. حتی میتوان به یک فلکه هم اکتفا کرد: فلکه را به چرخش در می‌آوریم قسمت سمت راست آن قسمت سمت چپ را می‌چرخاند و قسمت سمت چپ قسمت سمت راست را. در این دو مورد احمقانه بودن ایده فوق‌العاده واضح و آشکار است و به این دلیل کسی به اینگونه طرح ها علاقه‌ای نشان نمیدهد. اما در واقع، سرچشمه گمراهی در طرح هر سه «محرک دائمی» یکی است.

تقریباً محرک دائمی

برای کسی که با ریاضیات سر و کار دارد، عبارت «تقریباً دائمی» هیچ معنا و اهمیتی ندارد. حرکت میتواند یا دائمی باشد یا غیر دائمی، حرکت «تقریباً دائمی»، در واقع یعنی غیردائمی.

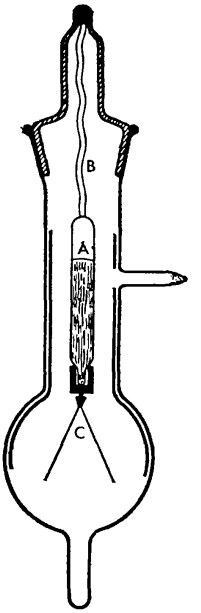
اما در زندگی و در کارهای عملی مسأله چنین نیست. لابد، بسیاری از اشخاص اگر محرک نه کاملاً دائمی، بلکه محرک «تقریباً دائمی» که مثلاً هزار سال کار کند، در اختیار داشتند، کاملاً راضی و قانع بودند. عمر انسان کوتاه است و هزار سال برای ما با ابدیت تفاوتی ندارد. کسانی که اهل عمل و زندگی عملی هستند، لابد، مسألهٔ محرک دائمی‌را حل‌شده میشمردند و بر آن بودند که دیگر مسأله‌ای نیست که برای حل آن سر و کله نرم کنند.

به اینگونه اشخاص میتوان مژده داد که محرک ۱۰۰۰ ساله اختراع شده است و هر کس میتواند با صرف مبلغی چنین محرک دائمی‌را داشته باشد. این اختراع سری نیست و هیچ کس برای آن پاتنت نگرفته است. ساختمان این دستگاه که در سال ۱۹۰۳ میلادی بوسیله پروفسور استرت اختراع شده و معمولاً «ساعت رادیوئی» نامیده میشود، بسیار ساده است (شکل ۱۰۰).

در داخل حباب شیشه‌ای که هوای آن‌را تخلیه کرده‌اند، از نخ کوارتزی B (که جریان برق از آن عبور نمیکند) لولهٔ کوچک A آویزان است. در داخل این لوله چند هزارم گرم ملح رادیوم قرار دارد و به انتهای آن، مانند الکتروسکوپ، دو ورقهٔ نازک و کوچک طلا آویزان است.

بطوریکه معلوم است، رادیوم سه نوع اشعه پخش میکند: اشعه آلفا و بتا و گاما. در این دستگاه نقش اساسی‌را اشعهٔ بتا بازی میکنند که از شیشه میگذرند و از جریان ذرات دارای بار منفی (الکترون) عبارتند. ذراتی که رادیوم به همه سو پخش میکند، بار منفی‌را با خود میبرند و به این دلیل خود لوله که در آن رادیوم هست، بتدریج با بار مثبت شارژ میشود. این بار مثبت به ورقه‌های طلا منتقل میشود و آنها را از یکدیگر دور میکند.

وقتی ورقه‌های طلا از یکدیگر دور شدند، به دیواره حباب شیشه‌ای میخورند و بار خود را از دست میدهند (در جاهائی از دیواره‌ها که با ورقه‌های طلا تماس پیدا میکنند، نوارهای نازک فلزی چسبانده شده است که برق بوسیله آنها به خارج میرود) و از نو به هم می‌چسبند. پس از اندک زمانی بار تازه جمع میشود، ورقه‌ها از نو از هم دور میشوند و بار خودرا به دیواره‌ها میدهند و به هم می‌چسبند و باز هم الکتریزه میشوند. ورقه‌های طلا در هر دو — سه دقیقه یک بار نوسان میکنند. نوسان ورقه‌ها مانند نوسان پاندول ساعت منظم است و به همین دلیل این دستگاه را «ساعت رادیومی» مینامند. این عمل سال‌ها و قرن‌ها، تا زمانیکه رادیوم اشعه پخش کند، ادامه مییابد.



شکل ۱۰۰ — ساعت رادیومی با کوک «تقریباً دائمی» برای ۱۶۰۰ سال.

البته خوانندگان ملاحظه میفرمایند که این دستگاه محرک دائمی نیست، بلکه محرک رایگان است.

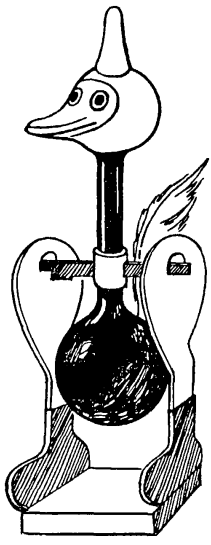
آیا پخش اشعهٔ رادیوم مدت زیادی ادامه دارد؟ حساب شده است که پخش اشعهٔ رادیوم پس از ۱۶۰۰ سال دو بار ضعیف میشود. به این دلیل ساعت رادیومی بیش از هزار سال بدون توقف کار خواهد کرد، فقط به علت تضعیف بار الکتریکی بسامد نوسانات آن بتدریج کم خواهد شد. اگر در عصر آغاز دولت روس* چنین ساعت رادیومی ساخته میشد، در زمان ما هنوز هم کار میکرد!

آیا میتوان از این محرک رایگان برای کارهای عملی استفاده کرد؟ متاسفانه، خیر. توان این محرک، یعنی مقدار کاری که در یک ثانیه انجام میدهد، بقدری ناچیز است که هیچ دستگاهی‌را نمیتواند به حرکت درآورد. برای آنکه به نتایج کمی محسوس برسیم، باید مقدار بمراتب بیشتر رادیوم در اختیار داشته باشیم. اگر به یاد بیاوریم که رادیوم عنصری است بسیار کم‌یاب و گرانبها، آنوقت قبول خواهیم کرد که اینگونه محرک رایگان فوق‌العاده ورشکست‌کننده است.

* قرن ۹ میلادی. (مترجم)

در میان اسباب‌بازی‌های کودکان یک اسباب‌بازی هست که از چین آمده و هر کس آن‌را هنگام کار می‌بیند، تعجب میکند. این اسباب‌بازی را «مرغ سیرآب‌نشونده» مینامند. مرغ جلو پیالهٔ آبی ایستاده است، خم میشود، منقارش را در آب فرو میبرد و پس از آنکه «سیرآب شد» راست میشود. مدتی می‌ایستد، آهسته خم میشود، منقارش را در آب فرو میکند، آب میخورد و دو باره راست میشود. این مرغ نمونهٔ بارز محرک‌های رایگان است. طرز کار آن بسیار جالب است (شکل ۱۰۱). «بدن» مرغ عبارت از یک لولهٔ شیشه‌ای است که در بالا به کرهٔ کوچکی به شکل سر مرغ با منقار منتهی میشود. انتهای پائینی لوله باز است و در داخل کرهٔ بزرگ‌تری قرار دارد که هوا به آن نفوذ نمیکند. در این کره بقدری مایع ریخته شده که سطح مایع کمی بالاتر از انتهای باز لوله است.

برای آنکه مرغ جان بگیرد، باید سرش‌را با آب خیس کرد. پس از آنکه سر مرغ خیس شد، مرغ مدتی به حالت قائم میماند، زیرا کرهٔ بزرگ پائینی با مایع از سر مرغ سنگین‌تر است. حالا دقت کنیم و ببینیم پس از آن چه روی میدهد. می‌بینیم که مایع بتدریج در لوله بالا میرود (شکل ۱۰۲). وقتی مایع به انتهای بالائی لوله رسید، قسمت بالائی لوله از قسمت پائینی آن سنگین‌تر میشود و مرغ به جلو روی پیاله خم میشود. وقتی مرغ به حالت افقی در آمد، سر باز لوله بالاتر از سطح مایع داخل کرهٔ پائینی قرار میگیرد و مایع از لوله دو باره به کره میریزد. از نو «دم» مرغ از سر آن سنگین‌تر میشود و مرغ به حالت قائم درمی‌آید. حالا ما جنبهٔ مکانیکی مسأله‌را فهمیدیم: حرکت مایع سبب تغییر تقسیم ثقل نسبت به محور میشود، یعنی مرکز ثقل را بالا میبرد. اما چه چیز سبب بالا رفتن مایع میشود؟

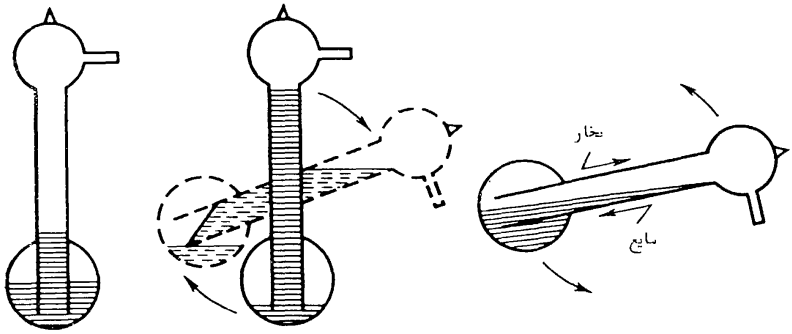


شکل ۱۰۱ — مرغ سیرآب نشونده.

مایع داخل مرغ اتر است که در حرارت معمولی اطاق بسهولت بخار میشود و فشار بخار اشباع‌شدهٔ اتر در اثر تغییر حرارت بشدت تغییر میکند.

وقتی مرغ به حالت قائم قرار میگیرد، در دو جا بخار اتر هست: در لوله و کرهٔ بالائی و در کرهٔ پائینی، که در این حالت به یکدیگر راه ندارند.

سر مرغ خصوصیت بسیار خوبی دارد، زیرا وقتی خیس شد درجهٔ حرارت آن از درجهٔ حرارت محیط اطراف پائین‌تر است. برای این منظور سطح سر مرغ‌را از مادهٔ پرخلل و فرجی میسازند که آب را خوب به خود بکشد و بشدت بخار کند. آنچه‌را در فصل هفتم گفتیم، به یاد بیاورید. تبخیر شدید سبب میشود که درجهٔ حرارت سر مرغ از درجهٔ حرارت لوله و کرهٔ پائینی کمتر شود. این امر بنوبه خود سبب تقلیل فشار بخار اشباع شده در کرهٔ بالائی میشود و مایع داخل اسباب‌بازی تحت فشار بیشتر بخار کرهٔ پائینی بالا میرود. مرکز ثقل نیز بالا میرود و بالاخره مرغ به حالت



شکل ۱۰۲ — «راز» ساختمان مرغ سیرآب‌نشونده.

افقی درمی‌آید. در این حالت دو جریان مستقل از یکدیگر صورت میگیرد. اولاً — «منقار» مرغ در آب فرو میرود و در نتیجه روکش پنبه‌ای سر مرغ یک بار دیگر خیس میشود. ثانیاً — بخارهای اشباع‌شدهٔ قسمت پائین و بالا مخلوط میشوند و فشار در همه جا یکسان میگردد (بخار داخل لوله از محیط اطراف حرارت میگیرد و درجه حرارت آن کمی بالا میرود) و مایع تحت تأثیر وزن خود از لوله به کرهٔ پائینی میریزد. مرغ از نو به حالت قائم درمی‌آید.

تا زمانی که روکش پنبه‌ای سر مرغ خیس بشود، اسباب‌بازی بدون توقف کار خواهد کرد، فقط به شرط آنکه رطوبت محیط اطراف بیش از حد زیاد نباشد، زیرا وقتی رطوبت محیط اطراف زیاد نباشد، تبخیر بطور عادی صورت میگیرد و بنا بر این درجهٔ حرارت نسبی سر مرغ پائین می‌آید. بدین ترتیب، حرارت هوای اطراف که بطور مداوم به اسباب‌بازی وارد میشود، منبع نیروئی است که مرغ شگفت‌انگیز را به حرکت درمی‌آورد. این اسباب‌بازی یک نمونه بسیار خوب محرک رایگان است، اما بهیچوجه محرک «دائمی» نیست.

چند سال است که زمین وجود دارد؟

آموزش قانون تجزیهٔ عناصر رادیواکتیو وسیلهٔ خوبی به دست محققین داده است تا بتوانند به طریق اطمینان‌بخشی سن زمین‌را حساب کنند.

تجزیهٔ رادیواکتیو چیست؟ تجزیهٔ رادیواکتیو عبارت است از تبدیل «خود بخود» (یعنی بدون دخالت هیچ عامل خارجی) اتم‌هائی به اتم‌های دیگر. جالب است که هیچ عامل خارجی در این تبدیل نمیتواند تأثیر کند. کاهش یا افزایش حرارت، فشار و غیره در سرعت جریان تبدیل کوچکترین تأثیری ندارد*. عناصر اورانیوم، توریوم و آکتینیوم که در برخی از مواد معدنی وجود دارند، عضوهای ابتدائی سری‌های عناصر رادیواکتیو هستند. هر یک از سری‌ها نیز بنوبه خود توالی تبدیل

* برای آنکه تأثیری داشته باشد، باید حرارت به دهها میلیارد درجه برسد.

عناصر رادیوآکتیو به یکدیگر هستند. محصول نهائی این تبدیل‌ها در هر سه مورد سرب است که «وزن اتمی» آن در هر سری با سرب معمولی کمی تفاوت دارد: اتم سرب معمولی ۲۰۷ بار و خرده‌ای از اتم هیدرژن سنگین‌تر است، اتم سرب انتهای سری اورانیوم ۲۰۶ بار، سری توریوم ۲۰۸ بار و سری آکتینیوم ۲۰۷ بار از اتم هیدرژن سنگین‌تر است. به این دلیل، تمیز دادن یک نوع از نوع دیگر کاری است کاملاً امکان‌پذیر.

ضمن این تبدیلات اتم‌هائی که تجزیه میشوند، تشعشع میکنند و اشعهٔ آلفا میپراکنند که عبارت است از جریان ذرات مادی بارشده، یعنی اتم‌های هلیوم که گازی است سبک و خنثی. این اتم‌ها که در لحظهٔ آزاد شدن سرعت فوق‌العاده زیادی دارند، بار مثبت الکتریکی خود را از دست میدهند و به صورت هلیوم معمولی در داخل مادهٔ معدنی میمانند. علت وجود هلیوم در بسیاری از مواد معدنی رادیوآکتیو همین است.

اما تخمین سن مواد معدنی از روی مقدار هلیوم آنها نتایج بسیار تقریبی و غیر دقیق میدهد، زیرا هلیوم، مانند هر گاز سبکی، فرار است. ظاهراً تخمین سن مادهٔ معدنی از روی مقدار سربی که در آن جمع شده است، نتایج دقیق‌تری میدهد. هلمس زمین‌شناس انگلیسی در اوایل سال‌های ۴۰ قرن ۲۰ میلادی با حساب مقدار انواع سرب معادن مختلف به این نتیجه رسید که سن زمین ۳/۵ میلیارد سال است.

اما هلمس در واقع، نه سن زمین، بلکه سن قشر فوقانی زمین را تعیین کرد، ضمناً بر اساس فرضیه‌های کهنه‌شده در باره بوجود آمدن زمین از تودهٔ گازهای گداخته‌ای که از خورشید جدا شده است.

آکادمیسین وینوگرادوف در سال‌های ۱۹۵۱ — ۱۹۵۲ تمام معلومات را بدقت مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که تعیین سن زمین تنها بر اساس معلومات در بارهٔ سرب، ممکن نیست. فقط میتوان گفت که سن زمین بیش از ۵ میلیارد سال نیست. در عین حال برخی مواد معدنی یافت شده است که سن آنهارا ۳ میلیارد سال تخمین زده‌اند. سن زمین‌را بر اساس معلومات سرعت تجزیه و مقدار دو ایزوتوپ اورانیوم (با وزن اتمی ۲۳۵ و ۲۳۸) در حدود ۵ تا ۷ میلیارد سال تخمین زده‌اند.

میتوان بر اساس این معلومات و معلومات دیگر، سن زمین‌را در حدود ۶ میلیارد سال تخمین زد. از آنجا که میتوان با متدهای بکلی مختلف به یک نتیجه رسید، صحت این تخمین تأیید میشود*.

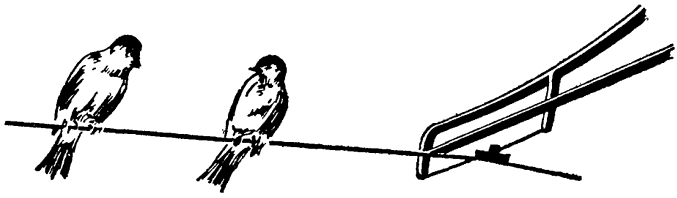
شش هزار میلیون سال نه فقط نسبت به عمر انسان بلکه نسبت به سراسر تاریخ بشریت رقمی است سرسام‌آور.

پرندگان روی سیم‌ها

همه میدانند که دست زدن به سیمهای برق تراموای و شبکه‌های با ولتاژ زیاد، وقتی برق در آنها جریان دارد، نه فقط برای انسان بلکه برای جانوران بزرگ هم خطرناک است وسنجر به مرگ میشود. بارها اتفاق افتاده است که سیم برقی که پاره شد، به بدن اسب یا گاوی تماس پیدا کرده و آنها را کشته است.

---

* مسائل پیدایش زمین و ستارگان، سن، ترکیب و ساختمان آنها در کتاب لوین به نام «پیدایش زمین و ستارگان» (چاپ سال ۱۹۵۶) بطور مفصل و به زبان قابل فهمی شرح داده شده‌اند (هیأت تحریریه).

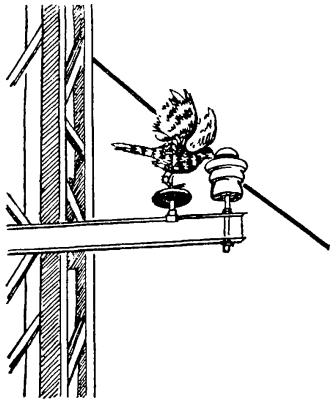


شکل ۱۰۳ — پرندگان روی سیم برق نشسته‌اند و هیچ صدمه‌ای نمی‌بینند. چرا؟

پس علت اینکه پرندگان آسوده و آرام روی سیم‌ها مینشینند و هیچ صدمه‌ای نمی‌بینند، چیست؟ اینگونه مناظررا میتوان هر دم و ساعت در شهرها دید (شکل ۱۰۳).

برای آنکه علت اینگونه تضادها را بفهمیم، باید به مسأله زیر توجه کرد: بدن پرنده‌ای که روی سیم نشسته مانند یک شاخهٔ مدار است که مقاومت آن نسبت به شاخهٔ دیگر (قطعه سیم کوتاه میان دو پای پرنده) فوق‌العاده زیاد میباشد. به این دلیل شدت جریان برق در این شاخه (بدن پرنده) ناچیز است و صدمه‌ای نمیرساند. اما اگر پرنده‌ای که روی سیم نشسته است، بال، دم یا منقارش با آهنی تماس پیدا کند و یا بطور کلی به نحوی با زمین اتصال بیابد، آنوقت برقی که از راه بدن پرنده به زمین میرود، آناً پرنده‌را خواهد کشت. چنین حادثه‌هائی اغلب اتفاق می‌افتد.

پرندگان عادت دارند که وقتی روی میله‌های افقی تیرهای شبکه‌های برق با ولتاژ زیاد می‌نشینند منقار خود را با سیم برق پاک کنند. از آنجا که این قسمت و پرنده‌ای که روی آن نشسته است مستقیماً با زمین اتصال دارد، وقتی پرنده با سیم برق تماس پیدا کند، حتماً کشته خواهد شد. اینگونه حوادث بقدری زیاد اتفاق می‌افتد که زمانی در آلمان برای جلوگیری از تلف شدن پرندگان تدابیر ویژه‌ای اتخاذ کردند. برای این منظور روی میله‌های افقی تیرهای شبکه برق با ولتاژ زیاد نشیمنگاههائی به شکل مقره‌های عایق نصب میکنند تا پرندگان هم بتوانند روی آن بنشینند و هم منقارشان را با سیم پاک کنند و هیچ صدمه‌ای نبینند (شکل ۱۰۴). در موارد دیگر جلو نقاط خطرناک‌را با وسائل مخصوص سد میکنند تا بدن پرندگان به آن تماس نیابد.



شکل ۱۰۴ — نشیمنگاه عایق برای پرندگان روی میلهٔ افقی تیر انتقال برق با ولتاژ زیاد.

در اتحاد شوروی که شبکهٔ انتقال برق با ولتاژ زیاد با سرعت دائم التزایدی توسعه مییابد، ما باید برای حفظ جان پرندگان از خطر برق تدابیر جدی اتخاذ کنیم، زیرا بدین وسیله به جنگل‌داری و کشاورزی نیز کمک قابل توجهی کرده‌ایم.

در روشنائی برق

آیا برایتان اتفاق افتاده است که هنگام رعد و برق در لحظات کوتاهی که برق میزند، منظرهٔ خیابان شلوغ و پرجنب و جوش شهر را تماشا کنید؟ فرض کنید که در خیابان یک شهر قدیمی هستید و ناگهان رعد و برق شروع میشود. البته، وقتی برق میزند، چیز عجیبی خواهید دید: خیابان که تا آن دقیقه پرجنب و جوش بود، گوئی در لحظهٔ برق زدن از حرکت باز می‌ایستد. اسب‌ها با حالت متشنجی متوقف میشوند و پاهایشان را در هوا بی‌حرکت نگاه میدارند. گاری‌ها و درشکه‌ها بی‌حرکتند و هر پره و سیم چرخ‌هایشان به وضوح تمام دیده میشود...

علت آنکه همه چیز بی‌حرکت به نظر می‌آید، آنستکه مدت برق زدن بسیار کوتاه است. برق، مانند هر جرقهٔ الکتریکی، مدت فوق‌العاده ناچیزی به طول می‌انجامد، این مدت بقدری کم است که حتی نمیتوان با وسائل و ابزارهای معمولی اندازه گرفت. اما از طرق غیر مستقیم توانسته‌اند تعیین کنند که برق گاهی فقط چند هزارم ثانیه به طول می‌انجامد*. در این مدت فوق‌العاده کوتاه کمتر چیزی میتواند آنقدر تغییر مکان بدهد که با چشم دیده شود. به این دلیل تعجب‌آور نیست که خیابان پرجنب‌وجوش و مملو از انواع حرکت‌ها در نور برق به نظر ما بکلی بی‌حرکت می‌آید، زیرا وقتی برق میزند ما فقط آن چیزی را می‌بینیم که چند هزارم ثانیه طول میکشد! هر سیم و هر پره ارابه‌ای که با سرعت زیاد حرکت میکند، در این مدت فقط چند صدم میلیمتر تغییر مکان میدهد، و برای چشم این تغییر مکان با سکون کامل هیچ تفاوتی ندارد.

برق چند می‌ارزد؟

در دوران باستان، زمانی که برق را به خدایان نسبت میدادند، چنین پرسشی کفر بود. اما در زمان ما که نیروی الکتریک تبدیل به کالا شده است و آن‌را مانند هر کالائی اندازه میگیرند و قیمت میگذارند، این سؤال که برق چقدر ارزش دارد، بهیچوجه نباید بیمعنی به نظر بیاید. مسأله‌ای که در برابر ما قرار دارد، عبارت از آنستکه نیروی الکتریکی لازم برای برق زدن هنگام صاعقه‌را حساب کنیم و ببینیم با نرخ نیروی الکتریکی که برای روشنائی مصرف میشود، ارزش آن چقدر است.

اینک حساب. اختلاف سطح تخلیه هنگام صاعقه، یعنی برق زدن، در حدود ۵۰ میلیون ولت است. در این حالت حداکثر شدت جریان برق را ۲۰۰ هزار آمپر ارزیابی میکنند (ضمناً یادآور میشویم که این نیروی حداکثررا از روی درجهٔ مغناطیسی شدن میلهٔ فولادی در نتیجهٔ جریان الکتریک که ضمن برخورد برق به برق‌گیر، از سیم‌پیچ آن میگذرد، تعیین میکنند). برای تعیین مقدار نیروی برق به وات، باید اختلاف سطح به ولت را در شدت به آمپر ضرب کرد. اما باید در نظر داشت که اختلاف سطح در طول مدت تخلیه (برق زدن) به صفر میرسد. به این دلیل، برای محاسبهٔ نیروی

---

* برق‌هائی هست که مدت بیشتری، تا چند صدم و چند دهم ثانیه طول میکشند. برق‌های مکرر، یعنی برق‌هائی هست که در راهی (کانالی) که نخستین برق «باز کرده» یکی پس از دیگری میزند و مدت کلی اینگونه برق‌های مکرر گاهی به ۱/۵ ثانیه میرسد. (هیأت تحریریه)

تخلیه باید اختلاف سطح متوسط، یا بعبارت دیگر نصف اختلاف سطح اولیه را برداشت. بنا بر این خواهیم داشت:

$$\frac{۵۰۰۰۰۰۰۰۰ \times ۲۰۰۰۰۰۰}{۲} = ۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ \text{ نیروی تخلیه یا ۵ میلیارد کیلو وات.}$$

وقتی عددی با اینهمه صفر به دست آوردیم، طبیعتاً انتظار داریم که ارزش پولی برق طبیعی نیز رقم بسیار بزرگی باشد. اما برای آنکه مقدار نیروی برق‌را به کیلوات ساعت (یعنی آنچه در کنتورهای برق منازل حساب میشود) به دست بیاوریم، باید زمان‌را نیز در نظر بگیریم. بازده این نیروی عظیم فقط در حدود یک هزارم ثانیه طول میکشد. در این مدت $\frac{۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰}{۳۶۰۰ \times ۱۰۰۰}$ یعنی در حدود ۱۴۰۰ کیلووات ساعت برق مصرف میشود. در اتحاد شوروی قیمت هر کیلو وات ساعت برق برای مصرف‌کننده ٤ کپک است. بنا بر این، ارزش پولی برقی‌را که در آسمان میزند، به آسانی میتوان حساب کرد:

$$\text{روبل } ۵۶ = \text{کپک } ۵۶۰۰ = ٤ \times ۱۴۰۰$$

این نتیجه حیرت‌آور است. برقی که نیروی آن در حدود صد بار بیشتر از نیروی تیراندازی با یک توپ سنگین است، طبق نرخ اداره برق فقط ۵۶ روبل ارزش دارد!

جالب است که الکتروتکنیک معاصر تا چه حد به امکان ایجاد برق طبیعی نزدیک شده است. در آزمایشگاهها اختلاف سطح تا ۱۰ میلیون ولت به دست آورده و جرقه‌هائی به طول ۱۵ متر ایجاد کرده‌اند. فاصله فوق‌العاده زیاد نیست...

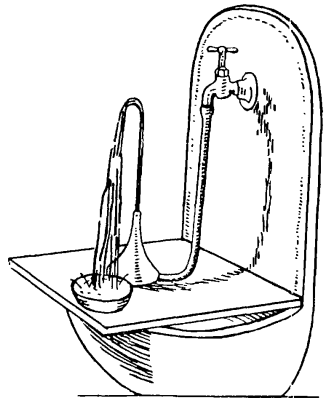
رگبار صاعقه‌ای در اطاق

با یک لوله‌ٔ کائوچوئی که یک سر آن را در سطل آبی که در جای بلندی قرار دارد، فرو کرده یا به شیر آب وصل کنید، به آسانی میتوانید در خانه فواره‌ای تهیه کنید. دهانهٔ لوله که آب از آن خارج میشود باید خیلی تنگ باشد تا آب به صورت رشته‌های باریک فواره بزند. برای نیل به این منظور ساده‌ترین کار آنستکه مغز یک تکه مدادرا در بیاورید و مداد بی‌مغزرا به سر لوله وصل کنید. برای آنکه کار کردن با فواره راحت باشد، سر آزاد لوله‌را در داخل قیف وارونه‌شده‌ای کار میگذارند (شکل ۱۰۵).

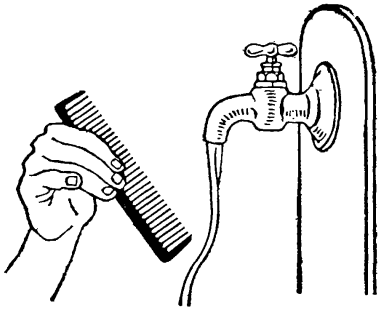
فواره‌را باز کنید و طوری قرار بدهید که آب آن بطور قائم در حدود نیم متر بالا برود، بعد یک تکه لاک آب بندی یا شانهٔ ابونیتی را به ماهوت بمالید و به فواره نزدیک کنید. فوراً پدیده غیر منتظره‌ای خواهید دید: رشته‌های جداگانه آب آن قسمت از فواره که سرازیر شده، به یکدیگر میچسبد و به صورت یکپارچه‌ای پائین می‌آید و با صدای محسوسی به ته ظرفی که زیر فواره گذاشته‌اید، میخورد. این صدا شبیه به صدای رگبار هنگام رعد و برق است. بویس دانشمند فیزیک‌دان در این باره میگوید:

«بدون شک، به همین دلیل است که هنگام رعد و برق قطرات باران تا این حد بزرگ هستند».

همینکه لاک‌را از فواره دور کنید، فواره از نو به رشته‌های باریک جداگانه تقسیم میگردد و صدای شبیه به صدای رگبار، صدای نرم و ملایمی میشود.



شکل ۱۰۵ — رگبار صاعقه‌ای به مقیاس بسیار کوچک.



شکل ۱۰۶ — وقتی شانهٔ الکتریکی شده را به آبی که از شیر میریزد نزدیک کنیم، جریان آب از حالت قائم منحرف میشود.

شما میتوانید در برابر کسانی که به مطلب وارد نیستند، با این تکه لاک همان کاری‌را بکنید که شعبده‌باز با چوبدستی شعبده‌بازیش انجام میدهد.

علت این عمل غیر منتظرهٔ بار الکتریکی بر فواره آنستکه قطرات آب الکتریکی میشوند، ضمناً آن قسمت از قطره‌های آب که رو به لاک هستند، بار مثبت و قسمت مقابل بار منفی میگیرند. بدین ترتیب، قسمت‌های قطرات آب که بار الکتریکی مختلف دارند و نزدیک به هم هستند، یکدیگر را جذب میکنند و در نتیجه قطرات به هم میچسبند.

تأثیر برق‌را بر فواره آب میتوان به طریق ساده‌تری مشاهده کرد. شانه ابونیتی‌را به موهایتان بکشید و به جریان آب باریکی که از شیر میریزد، نزدیک کنید. جریان آب یکپارچه میشود و بطور محسوسی به طرف شانه می‌پیچد و از حالت قائم خارج میشود (شکل ۱۰۶). توضیح این پدیده از پدیدهٔ بالائی دشوارتر است و با تغییر کشش سطحی تحت تأثیر بار الکتریکی بستگی دارد.

ضمناً یادآور میشویم که علت الکتریکی شدن تسمه‌های انتقال حرکت که به فلکه‌ها مالیده میشوند، نیز آنستکه ضمن مالش بسرعت بار الکتریکی تولید میشود. جرقه‌های الکتریکی که در این تسمه‌ها ایجاد میشود، از لحاظ آتش‌سوزی برای برخی از مؤسسات تولیدی خطرات جدی در بر دارد. برای جلوگیری از این خطر تسمه‌های انتقال حرکت را آب نقره میدهند. قشر نازک نقره تسمه‌را هادی برق میکند و در نتیجه ممکن نیست بار الکتریکی در آن انباشته شود.

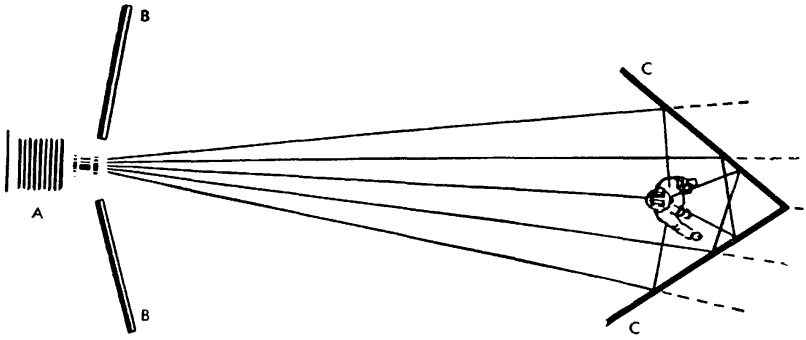
فصل نهم

انعکاس و انکسار نور • بینائی

عکس از پنج طرف

یکی از شگفتی‌های هنر عکاسی عکس‌هائی است که از یک نفر در آن واحد از پنج طرف گرفته میشود. در شکل ۱۰۷ که از روی اینگونه عکس چاپ شده است، میتوان این پنج حالت‌را دید. برتری مسلم اینگونه عکس‌ها بر عکس‌های معمولی آنستکه این عکس‌ها ویژگی‌های کسی‌را که عکسش برداشته شده، بطور کامل‌تری مجسم میکنند. میدانیم که عکاس‌ها چقدر میکوشند به صورت کسی که عکس اورا برمیدارند، سمت و حالت مناسبی بدهند. در اینگونه عکس‌ها در آن واحد از صورت در چند حالت و از چند سمت مختلف عکس برداشته میشود که امکان پیدا کردن مناسب‌ترین حالت از میان آنها بمراتب بیشتر است.

شکل ۱۰۷ — عکسی که از یک نفر در آن واحد از پنج طرف برداشته شده است.



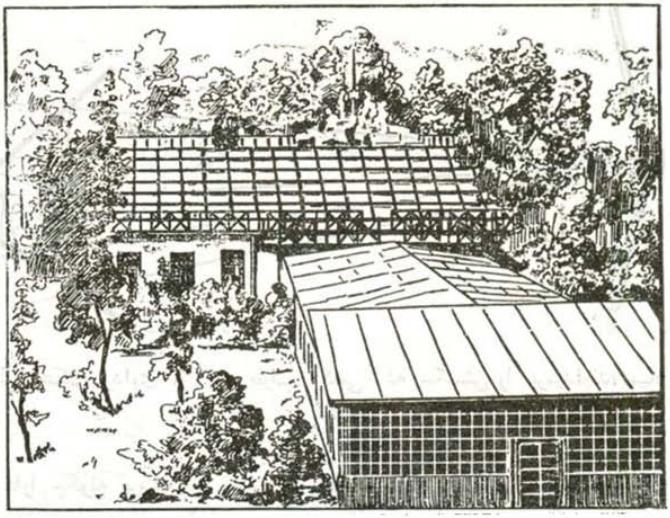
شکل ۱۰۸ — طرز عکس برداری از پنج طرف. کسی که عکسش را برمیدارند، میان دو آئینه CC می‌نشیند.

این عکس‌هارا چگونه برمیدارند؟ البته به کمک آئینه (شکل ۱۰۸). کسی که عکسش را برمیدارند، پشت به دوربین عکاسی A و رو به دو آئینه مسطح و قائم C می‌نشیند، زاویه میان دو آئینه یک پنجم ۳۶۰ درجه، یعنی ۷۲ درجه است. این دو آئینه چهار تصویر میدهند که سمت تصویرها نسبت به دوربین عکاسی متفاوت است. عکس این چهار تصویر، بعلاوه عکس خود آن شخص بوسیله دوربین برداشته میشود، ضمناً آئینه‌ها (که قاب ندارند) البته در عکس نمی‌افتند. برای آنکه دوربین عکاسی در آئینه‌ها منعکس نشود، جلو آن دو پرده (BB) را میکشند که سوراخ کوچکی برای عدسی دوربین دارد.

تعداد تصویرها به زاویهٔ میان دو آئینه بستگی دارد، هر چه زاویه کوچکتر باشد، تعداد تصویرها بیشتر خواهد بود. با زاویه $\frac{۳۶۰}{۴}$ یعنی ۹۰ درجه چهار تصویر، با زاویه $\frac{۳۶۰}{۶}$ یعنی ۶۰ درجه شش تصویر، با زاویه $\frac{۳۶۰}{۸}$ یعنی ۴۵ درجه هشت تصویر خواهیم داشت، و قس علی هذا. اما وقتی تعداد انعکاس‌ها زیاد باشد، تصویرها مات و ضعیف خواهند بود. به این دلیل معمولاً به عکس‌های از پنج طرف اکتفا میکنند.

موتورها و گرم‌کننده‌های آفتابی

فکر استفاده از نیروی اشعهٔ خورشید برای گرم کردن دیگ موتور بسیار فریبا است. یک حساب ساده میکنیم. نیروئی که هر سانتیمتر مربع قسمت خارجی اتمسفر زمین که اشعهٔ خورشید با زاویه قائمه به آن میتابد، از خورشید میگیرد، به دقت حساب شده است. این مقدار ظاهراً ثابت است و به همین دلیل آن را «ضریب ثابت خورشیدی» مینامند. مقدار ضریب ثابت خورشیدی تقریباً دو کالری کوچک بر یک سانتیمتر مربع در دقیقه میباشد تمام این نیروی حرارتی که بطور مداوم از خورشید فرستاده میشود، به سطح زمین نمیرسد، در حدود نیم کالری آن‌را اتمسفر جذب میکند.

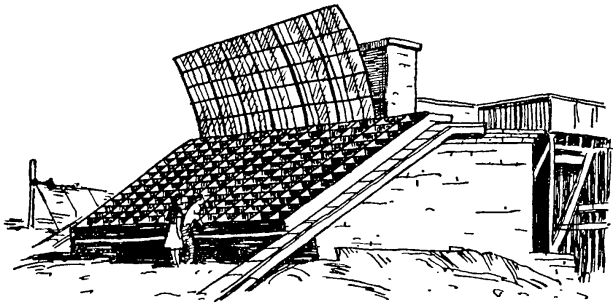


شکل ۱۰۹ — دستگاه آب‌گرم‌کن آفتابی در جمهوری شوروی سوسیالیستی ترکمنستان.

میتوان حساب کرد که هر سانتیمتر مربع سطح زمین، عمود بر اشعه خورشید، در هر دقیقه ۱/٤ کالری کوچک میگیرد. بنا بر این هر متر مربع در هر دقیقه ۱٤۰۰ کالری کوچک یا ۱٤ کالری بزرگ، و در هر ثانیه تقریباً $\frac{۱}{٤}$ کالری بزرگ میگیرد. و چون یک کالری بزرگ وقتی تماماً به کار مکانیکی تبدیل شود، ٤۲۷ کیلوگرم‌متر کار میدهد، پس اشعهٔ خورشید که به یک متر مربع از سطح زمین بطور عمودی میتابد، میتواند در هر ثانیه بیش از ۱۰۰ کیلوگرم‌متر نیرو، یا بعبارت دیگر بیش از $۱\frac{۱}{۳}$ نیروی اسب بدهد.

نیروی تابشی خورشید در بهترین شرایط، یعنی در صورتیکه عمود بتابد و صد در صد تبدیل به کار شود، میتواند چنین کاری‌را انجام دهد. اما تمام کوشش‌هائی که تا کنون برای استفادهٔ مستقیم از خورشید بعنوان نیروی محرک انجام گرفته از این شرایط کمال مطلوب بسیار دور بوده است. کار مفید آنها از ٥ تا ٦ درصد تجاوز نمیکرده است. در میان دستگاه‌هائی که تا کنون ساخته شده، ضریب کار مفید موتور آفتابی آبوت فیزیسین معروف از همه بیشتر، یعنی ۱٥ درصد است.

استفاده از نیروی تابشی خورشید برای گرم کردن از استفاده از آن برای کار مکانیکی آسان‌تر است. در اتحاد شوروی به این مسأله توجه زیادی معطوف میشود. در سمرقند بنگاه مخصوصی به نام هلیو انستیتوی سراسر شوروی وجود دارد که در آن کارهای تحقیقاتی وسیعی صورت میگیرد. در تاشکند یک گرمابهٔ آفتابی وجود دارد که در هر شبانه‌روز ۷۰ نفر میتوانند از آن استفاده کنند. در همان تاشکند روی بام یکی از خانه‌ها یک دستگاه آفتابی کار گذاشته شده که از ۲۰



شکل ۱۱۰ — سردخانهٔ آفتابی در جمهوری شوروی سوسیالیستی ترکمنستان.

دیگ، هر یک به گنجایش ۲۰۰ سطل آب، عبارت است و احتیاجات خانه را از لحاظ آب گرم کاملاً تأمین میکند. طبق گفته متخصصین، در ۷ — ۸ ماه از سال آفتاب بدون وقفه دیگ‌ها را گرم خواهد کرد، و در ٤ — ٥ ماه دیگر فقط در روزهای آفتابی. ضریب کار مفید متوسط آب‌گرم‌کن‌ها نسبتاً زیاد، در حدود ٤٧ درصد (حد اکثر ٦١ درصد) است.

در ترکمنستان شوروی یخچال آفتابی مورد آزمایش قرار گرفت. حرارت باطری‌های سردکننده در محفظه‌های یخچال ۲ — ۳ درجه زیر صفر بود، در حالیکه حرارت هوای اطراف در سایه ٤۲+ درجه سانتیگراد بود. این نخستین نمونهٔ دستگاه سردکنندهٔ آفتابی صنعتی میباشد.

آزمایش‌های ذوب گوگرد (حرارت ذوب شدن ۱۲۰ درجه سانتیگراد) نتایج بسیار خوبی داده است. بعلاوه یادآور میشویم که دستگاههای نمک‌گیر آفتابی برای به دست آوردن آب شیرین در سواحل دریای خزر و دریاچه آرال، تلمبه‌های آفتابی برای بالا آوردن آب بجای چاه‌های ماقبل تاریخ در آسیای میانه، دستگاههای خشک‌کن آفتابی برای میوه و ماهی، آشپزخانه‌هائی که در آن تمام خوراک‌ها «با اشعهٔ خورشید» پخته میشوند، و دستگاههای دیگر نیز ساخته شده و میشوند. آنچه گفته شد موارد مختلف استفاده از اشعهٔ خورشید را که بطور مصنوعی گرفته میشود، دربر نمیگیرد، استفاده از نیروی اشعهٔ خورشید در اقتصادیات آسیای میانه، قفقاز، کریمه، ولگای سفلی و اوکرائین جنوبی در آینده نقش برجسته‌ای خواهد داشت.

آرزوی کلاه نامرئی‌کننده

از دوران بسیار قدیم برای ما افسانه‌ای در باره کلاه اعجازآمیزی باقی مانده است که هر کس آن را به سر بگذارد نامرئی میشود. پوشکین در داستان «روسلان و لودمیلا» این افسانهٔ کهن‌را از نو زنده کرده و با زبانی شیوا خصوصیات اعجازآمیز کلاه نامرئی‌کننده‌را نگاشته است:

دوشیزه را به سر زد، در گیرودار افکار
تا خود کلاه «چورنومر» را، بر سر کند به اطوار...

بر سر نهاد و چرخاند، آن را چو «لودمیلا»،
بر روی ابروان برد، کج کرد و برد بالا،
وانگه [به عکس معمول، پوشید آن کله‌را،
برآینه چو انداخت، یک دم به خود نگه‌را،
اعجاز عهد پیشین، او دید و گشت حیران،
عکسش در آینه شد، از چشم خویش پنهان.
چرخاند بار دیگر، پوشید مثل معمول،
در آینه نمایان، گردید شاد و مقبول،
پوشید باز، برعکس، از دیده گشت پنهان.
برداشت تا کله‌را، در آینه نمایان
گردید و گفت با خود، اینک کلاه جادو
از هر خطر مرا حفظ، سازد به بخت نیکو

توانائی نامرئی شدن برای لودمیلای اسیر یگانه وسیلهٔ دفاع بود. او در زیر پرده قابل اطمینان نامرئی بودن از نظر دقیق و دائمی نگهبانانش پنهان میشد. تنها از روی حرکاتش میتوانستند به حضور اسیر نامرئی پی ببرند:

در هر قدم همه وقت، آثار کار اورا،
دیدند گاه اینجا، گاه دگر در آنجا.
گه میوه‌های زرین، از شاخه درختان،
نابود و نیست میگشت، هر ساعتی به یک آن.
گه قطره‌های چون در، از آب چشمه‌ساران،
میریخت همچو باران، بر روی مرغزاران.
معلوم بود آنگه، در کاخ بهر آنان،
شهزاده میخورد آب، یا میوه درختان...
تا تیرگی شب‌را، میبرد صبحگاهان،
میگشت لودمیلا، راهی به آبشاران.
با آب سرد چون یخ، می‌شست هر سحرگاه،
در زیر آبشاران، او دست و روی چون ماه.
یک روز شخص «کارلا»، از خوابگاه راحت
با چشم خویشتن دید، صبح سحر به حیرت:
در زیر دست‌هائی، کز دیده بود پنهان،
لپر زدی به هر سو، بس آب آبشاران.

مدتهاست که بسیاری از آرزوهای فریبای دوران باستان جامه عمل پوشیده و علم بر بسیاری از مسائل سحرآمیز دست یافته است. سینه کوه‌هارا میشکافند، برق‌را در بند اسارت درمی‌آورند و روی

قالیچه‌های حضرت سلیمان بر فراز ابرها پرواز میکنند و... آیا نمیشود «کلاه نامرئی‌کننده» را نیز اختراع کرد، یعنی آیا نمیشود وسیله‌ای یافت که بتوان با آن بکلی نامرئی شد؟ ما هم اکنون به بحث در این مسأله میپردازیم.

آدم نامرئی

ولس نویسنده انگلیسی در رمان «آدم نامرئی» کوشیده است به خوانندگان خویش بباوراند که نامرئی شدن کاملاً امکان‌پذیر است. قهرمان رمان (سوُلف او را مانند نابغه‌ترین فیزیسینی که در تاریخ بشریت وجود داشته، معرفی میکند) وسیله نامرئی کردن بدن انسان‌را کشف کرد. او اصول کشف خویش را برای پزشک آشنای خود چنین شرح میدهد:

«نمایان بودن به تأثیر اجسام مرئی روی نور بستگی دارد. شما میدانید که اجسام یا نور را جذب میکنند، یا منعکس و یا منکسر. اگر جسمی نور را نه جذب کند، نه منعکس و نه منکسر، آن جسم خود بخود نمیتواند مرئی باشد. مثلاً یک قوطی غیر شفاف‌را قرمز می‌بینی، زیرا رنگ قسمتی از نور را جذب و بقیهٔ شعاع‌ها را منعکس (پخش) میکند. اگر قوطی هیچ جزئی از نور را جذب نمیکرد و نور را تماماً منعکس میساخت، آنوقت سفید و شفاف و سیمین‌فام به نظر می‌آمد. اما اگر قوطی از برلیان باشد نور را کم جذب میکند و سطح عمومی آن نوررا کم منعکس میسازد. فقط در برخی نقاط لبه‌های آن نور منعکس و منکسر میشود و بصورت انعکاس‌های درخشان یا چیزی شبیه به چهارچوب نورانی به نظر می‌آید. قوطی شیشه‌ای کمتر میدرخشد و مانند قوطی برلیان واضح دیده نمیشود، زیرا نوررا کمتر منعکس میکند. اگر یک تکه شیشه سفیدرا در آب یا، بخصوص، اگر در مایعی غلیظتر از آب بگذاریم، تقریباً بکلی ناپدید میشود، زیرا نوری که از راه آب به شیشه می‌افتد، فوق‌العاده کم منعکس و منکسر میشود. شیشه به همان درجه نامرئی میشود که جریان گاز کربنیک یا هیدرژن در هوا نامرئی میگردد و علت هر دو پدیده یکی است.

کمپ (پزشک) گفت:

— بله، همهٔ این مطالب بسیار ساده است و در دورهٔ ما هر دانش‌آموزی آن‌را میداند.

— یک واقعیت دیگر که آن نیز هر دانش‌آموزی میداند اینستکه اگر یک تکه شیشه‌را خرد کنیم و به صورت پودر درآوریم به صورت پودر سفید غیر شفافی درمی‌آید و در هوا بمراتب بهتر دیده میشود. علت این امر آنستکه وقتی شیشه‌را خرد کنیم لبه‌های شیشه که نوررا منعکس و منکسر میکنند، بمراتب زیادتر میشوند. شیشهٔ مسطح فقط دو لبه دارد، اما در پودر شیشه، نور از هر ذره‌ای که میگذرد منعکس و منکسر میشود و از میان تمام پودر فوق‌العاده کم میگذرد. اما اگر پودر شیشه سفیدرا در آب بگذاریم، فوراً ناپدید میشود. ضریب انکسار آب و پودر شیشه تقریباً یکی است، به این دلیل وقتی نور از یکی از آنها به دیگری میرود، فوق‌العاده کم منعکس و منکسر میشود.

اگر شیشه‌را در مایعی که ضریب انکسارش با شیشه تقریباً مساوی است بگذاریم، شیشه نامرئی میشود. بطور کلی هر جسم شفاف وقتی در محیطی که ضریب انکسارش با ضریب انکسار جسم یکی باشد، قرار بگیرد، نامرئی میشود. یک ذره فکر لازم است تا یقین حاصل کنیم که شیشه‌را میتوان

در هوا نیز نامرئی کرد. برای این منظور باید کاری کرد که ضریب انکسار شیشه با ضریب انکسار هوا مساوی باشد، زیرا در اینصورت وقتی نور از هوا به شیشه میرود، نه منعکس میشود و نه منکسر*.

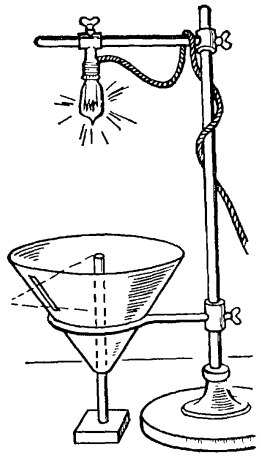
کمپ گفت:

— بله، بله. اما آخر آدم با شیشه خیلی تفاوت دارد.

— خیر، آدم شفاف‌تر است.

— این دیگر یاوه است!

— این حرف‌را یک نفر طبیعت‌شناس میزند! واقعاً شما در ده سال فیزیک را بکلی فراموش کرده‌اید؟! مثلاً کاغذ از الیاف شفاف تشکیل یافته است، اما به همان دلیل که پودر شیشه سفید و غیر شفاف میباشد، کاغذ هم سفید و غیر شفاف است. اگر کاغذ سفیدرا روغن‌اندود بکنید، یعنی اگر فاصله میان الیاف‌را از روغن پر کنید، بطوریکه انکسار و انعکاس فقط در سطح کاغذ صورت بگیرد، آنوقت کاغذ مثل شیشه شفاف میشود، و نه فقط الیاف کاغذ، بلکه الیاف کتان، الیاف پشم، الیاف چوب، استخوان‌ها، عضلات، موها، ناخن‌ها و اعصاب ما نیز همینطور! خلاصه، تمام اجزاء متشکلهٔ بدن انسان، غیر از مادهٔ قرمزرنگ داخل خون و مادهٔ رنگین تیره مو، از الیاف شفاف و بیرنگ تشکیل شده است. ببینید آنچه مارا برای یکدیگر مرئی میکند، چقدر کم است!»



شکل ۱۱۱ — میلهٔ شیشه‌ای نامرئی.

---

* برای آنکه یک جسم کاملاً شفاف بکلی نامرئی بشود، باید آن‌را با جسمی که نور را بطور کاملاً یکنواخت پخش میکند، احاطه کرد. در اینصورت چشمی که از شکاف کوچک پهلوئی به درون نگاه کند، از کلیهٔ نقاط جسم درست همانقدر نور میگیرد که اگر جسم اصلاً وجود نمیداشت، یعنی هیچ روشنی یا تیرگی نیست که بر وجود جسم دلالت کند.

این آزمایش‌را به طریق زیر میتوان انجام داد. قیفی از مقوای سفید به قطر نیم متر را، بطوریکه در شکل ۱۱۱ نشان داده شده، در فاصله معینی از یک لامپ ۲۵ شمعی قرار میدهند. میلهٔ شیشه‌ای را از پائین، حتی‌المقدور کاملاً قائم، داخل قیف میکنند. کوچکترین انحراف از حالت قائم سبب میشود که محور میله شیشه‌ای تیره و اطراف آن روشن، یا بر عکس، محور آن روشن و اطرافش تیره به نظر بیاید. اگر حالت میله‌را کمی تغییر بدهیم، این دو منظره به یکدیگر تبدیل میشود. وقتی این عمل‌را چند بار تکرار بکنیم بالاخره میله به حالتی درمی‌آید که بطور کاملاً یکنواختی روشن شود، آنوقت برای چشمی که از شکاف باریک پهلوئی (به عرض کمتر از یک سانتیمتر) نگاه کند، کاملاً ناپدید میشود. وقتی آزمایش‌را اینطور انجام بدهیم، با وجود اینکه ضریب انکسار شیشه با ضریب انکسار هوا تفاوت زیادی دارد، میلهٔ شیشه‌ای بکلی نامرئی میشود.

آزمایش دیگری که میتوان به وسیلهٔ آن مثلاً یک تکه شیشه تراش‌دادهشده را بکلی نامرئی ساخت، آنستکه تکه شیشه‌را در درون جعبه‌ای قرار بدهیم که از داخل با رنگ نورافشان رنگ شده باشد.

این واقعیت که جانداران آلبینو (جاندارانی که در بافتهای بدنشان ماده رنگین وجود ندارد و روی پوستشان از پشم پوشیده نشده) تا حدود زیادی شفاف هستند، مؤید گفته‌های بالا میباشد. یک نفر جانورشناس که تابستان سال ۱۹۳٤ در قریه «دتسکویه سلو» یک قورباغهٔ سفید آلبینو یافته بود، آن را چنین توصیف میکند: «الیاف باریک پوست و عضلات شفاف هستند. اعضای داخلی و اسکلت دیده میشوند... انقباض قلب و روده‌ها از پشت پرده نازک شکم قورباغهٔ آلبینو بخوبی دیده میشود».

قهرمان رمان ولس وسیله‌ای کشف کرد که الیاف بدن انسان، حتی مواد رنگین (پیگمنت‌های) آن را شفاف میکرد. او این کشف‌را با موفقیت در بدن خود آزمایش کرد. آزمایش به موفقیت کامل منجر گردید و مکتشف بکلی نامرئی شد. سرنوشت بعدی این آدم نامرئی‌را هم اکنون خواهیم دید.

نیرومندی آدم نامرئی

مؤلف رمان «آدم نامرئی» با تیزهوشی و پیگیری فوق‌العاده‌ای ثابت میکند که آدم در نتیجهٔ نامرئی شدن قدرت تقریباً بی‌حد و اندازه‌ای به دست می‌آورد. میتواند بی‌آنکه دیده شود، به هر جائی برود و هر چه را دلش بخواهد برباید. چون نامرئی است و نمیتوان به او دست یافت، قادر است تک و تنها علیه عده زیادی آدم مسلح نبرد کند. آدم نامرئی همهٔ آدم‌های مرئی‌را به کیفرهای سخت تهدید میکند و در نتیجه کلیه اهالی شهر را بنده فرمانبردار خویش میسازد. چون نامرئی و آسیب ناپذیر است، توانائی کامل دارد که به همهٔ اشخاص دیگر آسیب و زیان برساند و آنها به هر حیله و نیرنگی دست بزنند، دشمن نامرئی دیر یا زود بر آنها دست مییابد و آنهارا از پا درمی‌آورد. قهرمان رمان انگلیسی که در میان سایر مردم چنین موقعیت استثنائی به دست آورده است، امکان دارد به اهالی وحشتزده شهر خود، مثلاً فرمان‌هائی به مضمون زیر بدهد:

«از امروز شهر دیگر تابع ملکه نیست! این مطلب‌را به سرهنگ و پلیستان و به همه بگوئید. شهر تابع من است! امروز نخستین روز نخستین سال عهد جدید، عهد آدم نامرئی است. من نامرئی اول هستم! در آغاز با لطف و مرحمت فرمانروائی میکنم. نخستین روز فقط یک اعدام، برای نمونه اعدام آدمی به نام کمپ، خواهد بود. هم امروز مرگ به سراغ او می‌آید. بگذار در را به روی خویش ببندد، بگذار پنهان شود، بگذار محافظان و نگهبانان به دورش حلقه بزنند، بگذار زره بپوشد، در هر حال مرگ، مرگ نامرئی به سراغش می‌آید! بگذار تمام تدابیر احتیاطی را اتخاذ کند، این امر در مملت من تأثیر لازم‌را می‌بخشد. مرگ بر فراز سرش در پرواز است! ملت من! به او کمک نکنید تا مرگ به سراغ شما نیاید».

در ابتدا آدم نامرئی شاهد پیروزی را در آغوش گرفت. مردم وحشتزده فقط با زحمت فوق‌العاده زیاد موفق شدند بر دشمن نامرئی که آرزوی فرمانروائی بر آنها را در سر میپروراند، چیره گردند.

کالبدهای شفاف

آیا نظریات فیزیکی که اساس این رمان تخیلی قرار گرفته، صحیح هستند؟ البته و بدون شک صحیح هستند. هر جسم شفاف در محیط شفاف، وقتی تفاوت ضریب انکسار جسم و محیط کمتر از ۰/۰۰ باشد، نامرئی میشود. ده سال پس از آنکه نویسنده انگلیسی رمان خود را نوشت، پرفسور

اشپالتهلتس دانشمند کالبدشناس آلمانی نظریات مؤلف «آدم نامرئی» را به مورد آزمایش درآورد و عملی کرد، البته نه برای موجودات زنده، بلکه برای اعضای بی‌جان و کالبدها، اکنون در بسیاری از موزه‌ها اعضای شفاف بدن و حتی کالبدهای شفاف را میتوان دید.

طرز تهیه کردن کالبدهای شفاف که در سال ۱۹۱۱ به وسیلهٔ پروفسور اشپالتهلتس تدوین شده عبارت از آنستکه کالبدرا، پس از شستن و سفید کردن به کمک محلول‌های شیمیائی، از اتر متیل اسید سالیسیلیک اشباع میکنند (این ماده شیمیائی مایعی است بی‌رنگ که اشعه‌را بشدت منکسر میکند). کالبد موش، ماهی، اعضای مختلف بدن انسان و امثال آن‌را که به طریق بالا آماده کرده‌اند، در داخل ظرفی پر از همان مایع قرار میدهند.

البته نمیکوشند کالبدهارا کاملاً شفاف بکنند، زیرا در اینصورت کالبدها بکلی نامرئی میشوند و دیگر برای کالبدشناسان فایده ندارند. اما اگر بخواهند، میتوانند بکلی شفاف هم بکنند.

البته میان این دست‌آوردهای علمی و خیالات خام ولس در بارهٔ انسان زنده و چنان شفافی که اصلاً دیده نشود، تفاوت از زمین تا آسمان است، زیرا هنوز : اولاً — باید وسیله‌ای یافت که بتوان بدن زنده را از مایع شفاف‌کننده اشباع کرد و به آن چنان آسیبی وارد نیاورد که نتواند وظایف خودرا انجام دهد. ثانیاً — کالبدهای پروفسور اشپالتهلتس فقط شفاف هستند، اما نامرئی نیستند. بافت‌های این کالبدها فقط تا زمانی نامرئی هستند که در مایع با ضریب انکسار مناسب قرار داشته باشند. و اما در هوا فقط وقتی نامرئی خواهند بود که ضریب انکسار آنها با ضریب انکسار هوا مساوی باشد. ولی ما هنوز نمیدانیم که این کار را چگونه باید کرد.

خوب، فرض میکنیم که پس از مدتی بتوانیم این دو مانع‌را از میان برداریم و به آرزوی نویسندهٔ انگلیسی جامهٔ عمل بپوشانیم.

نویسنده در رمان خود همه چیز را با چنان دقتی پیش‌بینی و فکر کرده است که آدم بی‌اراده به صحت همهٔ وقایع توصیف شده معتقد میشود. به نظر می‌آید که آدم نامرئی باید نیرومندترین آدم جهان باشد... اما چنین نیست.

یک مسأله کوچک هست که مؤلف «آدم نامرئی» از نظر دور داشته است، و آن اینکه

آیا آدم نامرئی میتواند ببیند؟

اگر ولس قبل از نوشتن رمان این سؤال را به خود میداد، تاریخچهٔ شگفت‌آور «آدم نامرئی» هرگز به رشته تحریر در نمی‌آمد...

واقعاً هم در این مسأله است که تمام قدرت و توانائی آدم نامرئی نقش بر آب میشود. آدم نامرئی باید کور باشد!

چرا قهرمان رمان نامرئی است؟ زیرا کلیهٔ اعضای بدن، از جمله چشمهایش شفاف شده‌اند، ضمناً ضریب انکسار آنها با ضریب انکسار هوا مساوی است.

به یاد بیاوریم که نقش چشم عبارت از چیست : عدسی چشم، زجاجیه و سایر قسمت‌های چشم اشعهٔ نور را طوری منکسر میکنند که تصویر اجسام خارجی روی شبکیه چشم می‌افتد. اما اگر ضریب انکسار چشم و هوا یکسان باشد، یگانه علت انکسار از بین میرود، اشعه که از محیطی به محیط

دیگر با ضریب انکسار مساوی میروند، سمت خودرا تغییر نمیدهند و به این دلیل نمیتوانند در یک نقطه جمع شوند. اشعه منکسر نمیشوند و به علت نبودن پیگمنت در چشم آدم نامرئی، به مانعی بر نمیخورند و بدون هیچ مانعی از چشم میگذرند و بنا بر این نمیتوانند در ذهن آدم نامرئی هیچ تصویری به وجود آورند*.

پس آدم نامرئی نمیتواند هیچ چیز ببیند. کلیهٔ مزایای او برایش بیهوده میشوند. مدعی مخوف فرمانروائی باید کورمال کورمال در کوچه و بازار بگردد و صدقه بخواهد، اما هیچ کس نمیتواند به او صدقه بدهد، زیرا گدا نامرئی است. در برابر ما بجای مقتدرترین و تواناترین آدم‌ها آدمی علیل و بیچاره عرض اندام خواهد کرد...**

بدین ترتیب، در جست‌وجوی «کلاه نامرئی‌کننده» رفتن از راهی که ولس نشان داده، بیهوده است، این راه، حتی اگر جست و جوهای ما به موفقیت کامل منجر شوند، باز هم ما را به سر منزل مقصود نمیرساند.

رنگ محافظت‌کننده

اما برای حل مسألهٔ «کلاه نامرئی‌کننده» راه دیگری نیز وجود دارد. این راه عبارت از آنستکه اشیاء را با رنگ مناسبی رنگ کنیم که به چشم نخورند. طبیعت پیوسته به این راه متوسل میشود، یعنی مخلوقات خود را به رنگ «محافظت‌کننده» می‌آفریند و به مقیاس بسیار وسیع از این وسیلهٔ ساده استفاده میکند تا مخلوقات خودرا از دشمنان محافظت کند تا کار دشوار آنهارا در تنازع بقا آسان سازد.

آنچه‌را که نظامیان «رنگ استتار» مینامند، جانورشناسان از زمان داروین رنگ محافظت‌کننده یا رنگ مدافع مینامند. از جهان جانوران میتوان هزاران مثال برای اینگونه محافظت آورد. ما در

---

*برای آنکه اشعه نور در موجود زنده احساسی پدید آورند، باید در چشم تغییراتی، و لو تغییرات بسیار ناچیز، به وجود بیاورند، یعنی کار معینی انجام بدهند. برای این منظور باید اقلاً قسمتی از چشم در برابر اشعهٔ نور سدی ایجاد کند. اما البته چشم کاملاً شفاف نمیتواند در برابر اشعهٔ نور سدی ایجاد کند، زیرا در غیر اینصورت چشم شفاف نیست. کلیه حیواناتی که شفاف هستند و به این وسیله از خود دفاع میکنند، چشم آنها، اگر چشم داشته باشند، کاملاً شفاف نیست. مری اقیانوس‌نگار مشهور مینویسد: «اکثر حیواناتی که در آب بلافاصله زیر سطح دریا زندگی میکنند شفاف و بی‌رنگ هستند. وقتی آنهارا با تور میگیرند، فقط از روی چشم‌های سیاه کوچکشان میتوان آنهارا تمیز داد، زیرا خونشان فاقد هموگلوبین (ماده رنگین) و کاملاً شفاف است».

** ممکن است نویسندهٔ رمان دانسته و عمداً به این اشتباه مهم راه داده باشد. معلوم است که ولس در رمان‌های تخیلی خود معمولاً به چه شیوه‌های ادبی متوسل میشود. او نقص اصلی ساختمان تخیلی خود را با مقدار زیادی جزئیات و تفاصیل حقیقی میپوشاند و از نظر خوانندگان پنهان میکند. او در مقدمه چاپ رمان‌های تخیلی‌اش در امریکا صریحاً مینویسد: «همینکه شعبده سحرآسا انجام گرفت، باید کلیهٔ چیزهای دیگر را به صورت حقیقی و عادی نشان داد. نبایست به نیروی دلائل منطقی امید بست، بلکه باید به توهماتی که بوسیلهٔ هنر به وجود آمده است، اطمینان داشت».

هر قدم با آن روبرو میشویم. رنگ اکثر جانورانی که در صحراها زندگی میکنند، مایل به زرد و شبیه به «رنگ صحرا» است. هم شیر، هم پرندگان، هم سوسمارها، هم عنکبوت‌ها، هم کرم‌ها و خلاصه کلیهٔ جانوران صحراها این رنگ‌را دارند. بر عکس، طبیعت به جانورانی که در دشت‌های پوشیده از برف شمال زندگی میکنند — از خرس شمالی خطرناک گرفته تا مرغ غواص بی‌آزار — جامهٔ سفیدی پوشانده است که سبب میشود آنها در زمینهٔ برف دیده نشوند. پروانه‌ها و کرم‌هائی که در پوست درختان زندگی میکنند، بقدری با پوست درخت هم‌رنگ هستند که حیرت‌آور است.

هر کس که حشرات‌را برای کلکسیون جمع‌آوری میکند میداند که پیدا کردن آنها به علت «رنگ استتار» که طبیعت به آنها داده است، چقدر دشوار میباشد. برای آزمایش بکوشید ملخ سبزی‌را که در چمنزاری جلو پایتان جیرجیر میکند، بگیرید، خواهید دید که نمیتوانید ملخ‌را در زمینهٔ سبزی که آن‌را از انظار مستور داشته است، حتی تشخیص بدهید.

این مطلب در بارهٔ جانوران آبی نیز صدق میکند. حیوانات دریائی که در میان گیاهان آبی بور به سر میبرند، رنگ «استتار» بور دارند که آنهارا از نظر پنهان میکند. در زمینهٔ گیاهان آبی قرمزرنگ، رنگ «استتار» در اکثر موارد رنگ قرمز است. رنگ نقره‌ای فلس‌های ماهی نیز رنگ «استتار» است. این رنگ ماهی‌را هم از پرندگانی که از بالا دنبال آنها میگردند، محفوظ میدارد و هم از درندگان آبی که از زیر آنهارا تهدید میکنند، زیرا سطح آب نه فقط وقتی از بالا نگاه کنیم، آئینه‌مانند است، بلکه وقتی از پائین، از اعماق آب هم نگاه کنیم («انعکاس کامل») بیشتر آئینه‌مانند است و فلس‌های نقره‌ای‌رنگ ماهی‌ها با این زمینه فلزمانند درخشان به صورت واحد درمی‌آیند. عروس‌های دریا و بسیاری دیگر از حیوانات شفاف آبی از قبیل خرچنگ‌سانان، نرم‌تنان، کرم‌ها و غیره برای خود بجای «رنگ استتار» بی‌رنگی و شفافیت کامل را برگزیده‌اند که آنهارا در محیط بی‌رنگ و شفاف اطرافشان نامرئی میکند.

در این امر «تردستی‌های» طبیعت بر استعداد اختراع انسان برتری فراوان دارد. بسیاری از جانوران میتوانند رنگ «استتار» خود را متناسب با تغییرات محیط اطرافشان تغییر بدهند. قاقم سفید نقره‌ای که در زمینهٔ برف دیده نمیشود، اگر با آب شدن برف رنگ پوست خود را عوض نمیکرد، تمام مزیت‌های رنگ استتار را از دست داده بود. این جانور کوچک سفید هر بهار پوستین بور تازه‌ای میپوشد که با رنگ زمین پاک‌شده از برف یکسان است و با فرا رسیدن زمستان دوباره رخت مانند برف سفید زمستانی در بر میکند و سفید میشود.

رنگ استتار

مردم این هنر سودمندرا از طبیعت آموخته‌اند که با محیط اطراف هم‌رنگ شوند و خودرا نامرئی سازند. لباس‌های رنگارنگ و پرزرق و برق سپاهیان دوران قدیم که به مناظر میدان نبرد زیبائی می‌بخشیدند، برای همیشه منسوخ شده‌اند و لباس‌های خاکی‌رنگ یکدست معمول جای آنهارا گرفته‌اند. رنگ فولادی کشتی‌های جنگی معاصر نیز رنگ استتار است که سبب میشود کشتی‌ها در زمینهٔ دریا به چشم نخورند.

استتار جنگی چیزهای مختلف، از قبیل سنگرها، توپ‌ها، تانک‌ها، کشتی‌ها، به مصنوعی و تدابیر امثال آن که دشمن‌را گمراه میکند و «استتار تاکتیکی» نام دارد، نیز از همین جمله است. اردوگاه‌ها با تورهای مخصوصی که در چشمه‌های آنها دسته‌های علف بافته شده است، استتار میکنند، سربازان روپوش‌هائی با دسته‌های الیاف هم‌رنگ علف میپوشند و امثال آن.

در هواپیمائی جنگی معاصر نیز استتار و رنگ استتار به مقیاس وسیعی به کار میرود.

هواپیمائی که به رنگ قهوه‌ای، سبز تیره یا بنفش متناسب با رنگ سطح زمین رنگ شده باشد، وقتی از بالا از هواپیما نگاه کنند، بزحمت از زمینهٔ سطح زمین تمیز داده میشود.

استتار سطوح پائینی هواپیما از دید از زمین بوسیلهٔ رنگ‌های متناسب با زمینهٔ آسمان — آبی‌روشن، صورتی‌روشن و سفید — صورت میگیرد. سطوح هواپیما را با این رنگ‌ها به صورت لکه‌های کوچکی رنگ میکنند. در ارتفاع ۷۵۰ متر این رنگ‌ها بهم درمی‌آمیزند و زمینه‌ای بوجود می‌آورند که بزحمت دیده میشود. هواپیمائی که اینگونه استتار شده باشد، در ارتفاع ۳۰۰۰ متر بکلی نامرئی میشود. بمب افکن‌هائی‌را که برای پرواز در شب پیش‌بینی شده‌اند، به رنگ سیاه رنگ‌میکنند.

سطح آئینه‌ماندی که زمینه‌را در خود منعکس کند، رنگ استتاری است که برای هر ارتفاعی مناسب میباشد. جسمی که سطح آن آئینه‌سانند باشد، خود بخود شکل و رنگ محیط اطرافش را میگیرد و کشف آن از دور تقریباً ناممکن است. آلمانی‌ها در دوره جنگ اول جهانی این اصل را برای دیرپژابل‌های با جدار سفت به کار میبردند. سطح بسیاری از این دیرپژابل‌ها آلومینیومی و درخشان بود که آسمان و ابرها در آن منعکس میشدند. اگر صدای موتور این دیرپژابل‌ها سبب کشف آنها نشود، دیدن آنها در حال پرواز بسیار دشوار است.

آرزوی افسانه‌های ملی باستانی در باره کلاه نامرئی‌کننده در طبیعت و در فنون نظامی به این طریق عملی میشود.

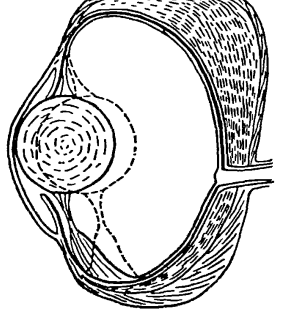
چشم آدم در زیر آب

تصور کنید که امکان یافته‌اید هر قدر دلتان بخواهد در زیر آب بمانید و چشمهایتان‌را باز نگاه دارید. آیا میتوانید آنجا ببینید؟

ظاهراً چنین به نظر می‌آید که چون آب شفاف است هیچ چیز نباید مانع بشود که ما در زیر آب نیز، مانند در هوا، خوب ببینیم. اما به یاد بیاورید که «آدم نامرئی» کور است، زیرا به علت آنکه ضریب انکسار چشمش با ضریب انکسار هوا مساوی است، نمیتواند ببیند. ما در زیر آب تقریباً در همان شرایطی قرار میگیریم که «آدم نامرئی» در هوا قرار داشت. به اعداد مراجعه میکنیم تا مسأله بهتر روشن بشود. ضریب انکسار آب ۱/۳۴ است. ضریب انکسار محیط‌های شفاف چشم آدم به قرار زیر است:

قرنیه و زجاجیه	۱/۳۴
عدسی	۱/۴۳
مایع آبی	۱/۳۴

بطوریکه ملاحظه میکنید، ضریب انکسار عدسی چشم فقط $\frac{۱}{۱۰}$ بیشتر از ضریب انکسار آب و ضریب انکسار سایر قسمت‌های چشم با ضریب انکسار آب مساوی است. به این دلیل در زیر آب کانون اشعه در چشم آدم در فاصلهٔ زیادی پشت شبکیه قرار میگیرد و در نتیجه تصویر در روی خود شبکیه خیلی تار می‌افتد و بزحمت زیاد میتوان چیزی‌را تشخیص داد. فقط اشخاصی که خیلی نزدیک‌بین هستند، در زیر آب کم و بیش عادی می‌بینند.



شکل ۱۱۲ــ مقطع چشم ماهی. عدسی کروی شکل است و هنگام تطبیق تغییر شکل نمیدهد. بجای تغییر شکل عدسی جای آن در چشم، بطوری که با خطوط نقطه‌چین نشان داده شده، تغییر میکند.

اگر میخواهید بطور دقیق مجسم کنید که ما در زیر آب چگونه می‌بینیم، عینک با شیشه‌های دو طرف مقعر که اشعه‌را بشدت پراکنده میکند، بزنید. آنوقت کانون اشعه‌ای که در چشم منکسر میشوند، به فاصلهٔ زیادی پشت شبکیه قرار میگیرد و محیط اطراف به صورت ناروشن و مه‌آلود به نظرتان می‌آید.

آیا آدم نمیتواند با استفاده از شیشه‌هائی که اشعه‌را بشدت منکسر میکنند، در زیر آب خوب ببیند؟

شیشه‌های معمولی که برای عینک به کار میروند، در این مورد کم کمک میکنند. ضریب انکسار شیشهٔ معمولی ۱/۵، یعنی قدری بیش از ضریب انکسار آب (۱/۳۴) است. اینگونه عینک‌ها در زیر آب اشعه‌را بسیار کم منکسر میکنند. شیشه‌های نوع مخصوصی لازم است که ضریب انکسارشان فوق‌العاده زیاد میباشد (این نوع شیشه‌ها «فلینت گلاس سنگین» نام دارند و ضریب انکسارشان تقریباً ۲ است). با اینگونه عینک‌ها میتوان در زیر آب کم و بیش واضح دید (عینک‌های ویژه‌ای‌را که غواصان از آن استفاده میکنند، بعداً شرح میدهیم).

حالا می‌فهمیم که چرا عدسی چشم ماهی‌ها فوق‌العاده محدب است. عدسی چشم ماهی‌ها کروی شکل است و ضریب انکسار آن بیش از ضریب انکسار عدسی همهٔ حیواناتی است که ما از آن اطلاع داریم. اگر چنین نمیبود، آنوقت چشم برای ماهی‌ها که محکوم به زیست در محیط شفاف با ضریب انکسار زیاد هستند، هیچ فایده‌ای نداشت.

غواصان چگونه می‌بینند؟

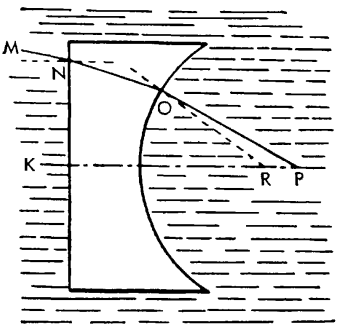
لابد عدهٔ زیادی می‌پرسند: وقتی چشم ما در زیر آب اشعهٔ نور را تقریباً منکسر نمیکند، پس غواصان چگونه میتوانند با لباس غواصی در زیر آب کار کنند و چیزی ببینند؟ آخر شیشهٔ کلاه‌های غواصان همیشه شیشه مسطح است نه محدب... یک سؤال دیگر: آیا سرنشینان زیردریائی «نائوتیلوس» ژول ورن میتوانستند از پشت شیشهٔ اطاق زیرآبی خود مناظر زیر آب را تماشا کنند و لذت ببرند؟

برای ما مسألهٔ تازه‌ای مطرح شده است که جواب دادن به آن دشوار نیست. اگر در نظر داشته باشیم که وقتی بدون لباس غواصی زیر آب هستیم، آب مستقیماً به چشم ما می‌چسبد، اما

با کلاه غواصی (یا در اطاق «نائوتیلوس») میان چشم و آب قشری از هوا (و شیشه) قرار دارد، آنوقت جواب مسأله روشن میشود. این امر مسأله‌را از ریشه و بن عوض میکند. اشعهٔ نور وقتی از آب خارج میشوند و از شیشه میگذرند، ابتدا داخل هوا میشوند و از آنجا به چشم نفوذ میکنند. اشعه با هر زاویه‌ای که به شیشهٔ متوازی‌السطوح بتابند، طبق قوانین نور و بصر، بی‌آنکه سمتشان تغییر کند، از شیشه میگذرند. اما پس از آن، هنگام عبور از هوا به چشم، البته منکسر میشوند، و در این شرایط چشم عیناً مانند وقتی که زیر آب نباشد، عمل میکند. کلید حل تضادی که باعث پریشانی خیال ما شده بود، در همین است. بهترین دلیل بارز صحت این مدعا آنستکه ما ماهی‌هائی را که در حوضچه شیشه‌ای شناورند، به خوبی می‌بینیم.

عدسی‌های شیشه‌ای در زیر آب

آیا هرگز چنین آزمایشی کرده‌اید که شیشهٔ دو طرف محدب بزرگ‌کننده («ذره‌بین») را در آب فرو ببرید و از پشت آن داخل آب را تماشا کنید؟ این آزمایش‌را بکنید، پدیده غیر منتظره‌ای خواهید دید: ذره‌بین در آب تقریباً بزرگ نمیکند! سپس شیشه دو طرف مقعر (یعنی کوچک‌کننده) را در آب فرو ببرید، معلوم میشود که این شیشه نیز به میزان زیادی خاصیت کوچک کردن‌را از دست میدهد. اگر این آزمایش‌را نه با آب، بلکه با مایعی بکنید که ضریب انکسار آن بیش از ضریب انکسار شیشه است، آنوقت شیشه دو طرف محدب اجسام‌را کوچک و شیشه دو طرف مقعر آنهارا بزرگ نشان خواهد داد!



شکل ۱۱۳ — عینک‌های مخصوص زیر آب از عدسی‌های مسطح — مقعر توخالی ساخته میشود. شعاع MN منکسر میشود و روی خط MNOP میتابد، در داخل عدسی از خط عمود تابش دور میشود و در خارج عدسی به خط عمود تابش (یعنی به OR) نزدیک میشود. به این دلیل عدسی مانند عدسی همگرا (متقارب) عمل میکند.

اما قانون انکسار اشعهٔ نور را به یاد بیاورید تا این پدیده‌های غیر عادی دیگر باعث شگفتی شما نشوند. عدسی دو طرف محدب به این دلیل اجسام‌را در هوا بزرگ میکند که اشعهٔ نور در شیشه بیش از هوا منکسر میشوند. اما تفاوت میان ضریب انکسار شیشه و ضریب انکسار آب کم است. به این دلیل اگر عدسی شیشه‌ای را در آب فرو ببرید، اشعهٔ نور وقتی از آب به شیشه میروند، زیاد منحرف نمیشوند. به همین دلیل است که شیشه بزرگ‌کننده در داخل آب بمراتب کمتر از داخل هوا بزرگ میکند و شیشه کوچک‌کننده بمراتب کمتر کوچک مینماید.

مثلاً مونوبرم نفتالین اشعه را شدیدتر از شیشه منکسر میکند و به این دلیل در این مایع شیشه «بزرگ‌کننده» کوچک میکند و شیشه «کوچک‌کننده»

بزرگ مینماید. عدسی‌های خالی (یا صحیحتر هوائی) در زیر آب همین گونه عمل میکنند، یعنی عدسی‌های مقعر بزرگ میکنند و عدسی‌های محدب کوچک مینمایند. عینک‌های مخصوص زیر آب از همین عدسی‌های توخالی ساخته میشود (شکل ۱۱۳).

آبتنی کنندگان بی‌تجربه

آبتنی کنندگان بی‌تجربه اغلب فقط به این دلیل که یکی از نتایج جالب قانون انکسار نور را از یاد می‌برند، به خطرات بزرگ دچار میشوند. آنها نمیدانند که در نتیجهٔ انکسار کلیهٔ اجسام داخل آب بالاتر از محل واقعی خود به نظر می‌آیند. کف استخر، رودخانه و بطور کلی هر مخزن آبی تقریباً به اندازه یک سوم عمق آن بالاتر به نظر می‌آید. مردم اغلب به اتکاء این کم‌عمقی غیر واقعی به وضع خطرناکی دچار میشوند. دانستن این مطلب بخصوص برای کودکان و بطور کلی اشخاص قدکوتاه که اشتباه در تعیین عمق ممکن است برایشان عواقب جبران‌ناپذیری به بار بیاورد، بسیار مهم‌است.

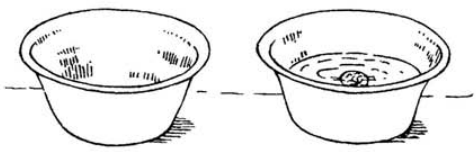
شکل ۱۱۴ — تغییر شکل قاشقی که در استکان آب قرار دارد.

علت این پدیده انکسار اشعهٔ نور است. همان قانون نور و بصر که در نتیجهٔ آن قاشقی که تا وسط در آب فرو رفته، خمیده به نظر می‌آید (شکل ۱۱۴)، سبب میشود که کف مخازن آب بالاتر به نظر بیاید.

میتوانید آزمایش کنید.

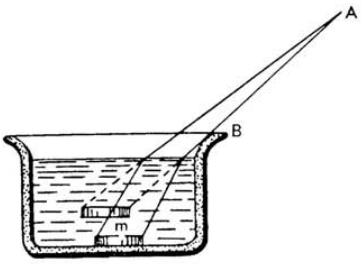
رفیقتان‌را طوری پشت میز بنشانید که نتواند کف ظرفی‌را که روی میز است، ببیند. در کف ظرف سکه‌ای بگذارید، البته دیواره ظرف مانع میشود که رفیق شما سکه‌را ببیند. سپس از او خواهش کنید که سرش‌را برنگرداند و در ظرف آب بریزید. پدیدهٔ غیر منتظره‌ای روی میدهد، رفیق شما سکه‌را در کف ظرف می‌بیند. به وسیلهٔ سرنگ آب ظرف را بیرون بکشید، کف ظرف با سکه از نو پائین میرود (شکل ۱۱۵).

در شکل ۱۱۶ چگونگی این پدیده شرح داده شده است. قسمت m کف ظرف برای بیننده‌ای که چشم او در نقطه A بالای آب واقع است، بالاتر به نظر می‌آید، زیرا اشعه منکسر میشوند و وقتی



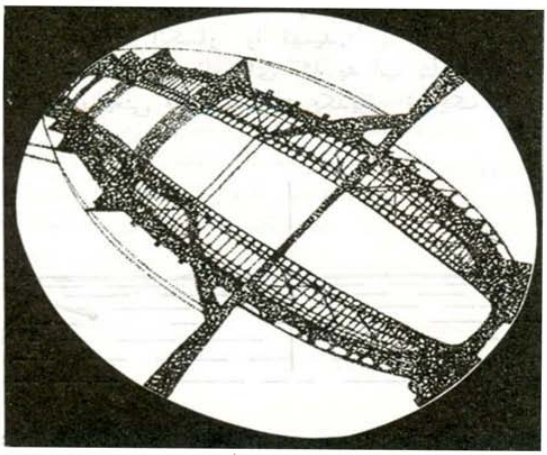
شکل ۱۱۵ — آزمایش با سکه و ظرف آب.

از آب به هوا میروند، بطوری که در شکل نشان داده شده، به چشم میرسند و چشم آن قسمت کف ظرف را در امتداد خطوط، یعنی بالاتر از قسمت m می‌بیند. هرچه اشعه مایل‌تر باشند به همان نسبت قسمت m بالاتر به نظر می‌آید. به این دلیل است که وقتی مثلاً از درون قایق به کف هموار استخر نگاه میکنیم، همیشه به نظر می‌آید که زیر پای ما از همه جا گودتر و اطراف بتدریج کم‌عمق‌تر است.



شکل ۱۱۶ — به این دلیل است که سکهٔ آزمایش شکل ۱۱۵ بالاتر از جای خود به نظر می‌آید.

بدین ترتیب کف استخر مقعر به نظر می‌آید. اما اگر میتوانستیم از کف استخر به پلی که روی آن کشیده شده، نگاه کنیم، برعکس، پل بطوری که در شکل ۱۱۷ نشان داده شده، محدب به نظر می‌آمد (طرز برداشتن این عکس‌را بعداً توضیح میدهیم). در این مورد اشعه از محیط با ضریب انکسار کم (هوا) به محیط با ضریب انکسار زیاد (آب) میروند، به این دلیل پدیده، عکس پدیدهٔ هنگام عبور اشعه از آب به هوا است. به دلیلی مشابه این دلیل، صف مستقیم آدم‌هائی که جلو حوضچهٔ شیشه‌ای ایستاده‌اند، باید به نظر ماهی نه خط مستقیم، بلکه قوسی بیاید که برآمدگی آن به طرف ماهی است. در صفحات بعد شرح خواهیم داد که ماهی‌ها چگونه می‌بینند، یا صحیحتر، اگر چشم آنها مانند چشم آدم میبود، چگونه میبایست ببینند.

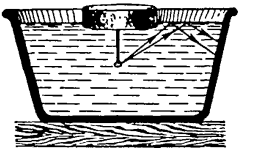


شکل ۱۱۷ — پل راه آهنی که بر روی رودخانه ساخته شده ، به نظر کسی که از زیر آب نگاه کند، چنین می‌آید (از روی عکسی که پروفسور وود برداشته است).

سنجاقی‌را در چوب‌پنبهٔ گرد نازکی فرو کنید و چوب‌پنبه‌را در طاسی پر از آب طوری روی آب بگذارید که سنجاق در طرف پائین باشد. اگر چوب‌پنبه زیاد پهن نباشد، باز هم هر چه سرتان‌را خم بکنید، نمیتوانید سنجاق‌را ببینید، گرچه ظاهراً سنجاق به حد کافی دراز است که چوب‌پنبه نتواند جلو دید شمارا سد کند (شکل ۱۱۸).

چرا اشعهٔ نور از سنجاق به چشم ما نمیرسند؟

زیرا در اینجا آن پدیده‌ای روی میدهد که در فیزیک «انعکاس درونی کامل» نام دارد.



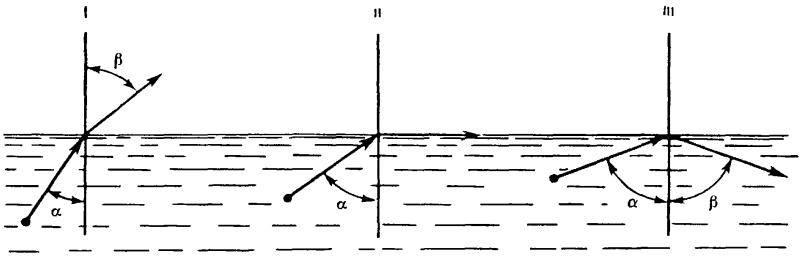
شکل ۱۱۸ — آزمایش با سنجاقی که در آب نامرئی است.

یادآور میشویم که این پدیده عبارت از چیست.

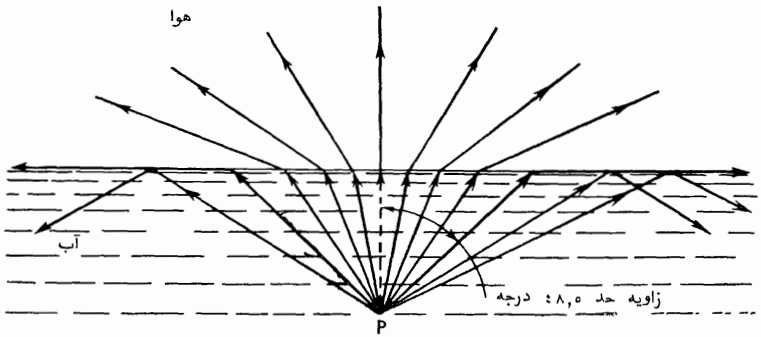
در شکل ۱۱۹ میتوان راهی‌را دید که اشعه ضمن عبور از آب به هوا (بطور کلی از محیط با ضریب انکسار زیادتر به محیط با ضریب انکسار کم‌تر) می‌پیمایند، و برعکس. وقتی اشعه از هوا به آب میروند، به «عمود تابش» نزدیک میشوند. مثلاً شعاعی که با زاویهٔ β به عمود بر سطح تابش میتابد، با زاویه α که از β کوچکتر است، داخل محیط تازه میشود.

اما وقتی شعاع بر روی سطح آب میلغزد و تقریباً با زاویه قائمه به خط عمود میتابد، آنوقت چه رخ میدهد؟ این شعاع با زاویه‌ای کم‌تر از زاویهٔ قائمه یعنی با زاویه‌ای مساوی ۴۸/۰ درجه داخل آب میشود. شعاع با زاویه بیش از ۴۸/۰ درجه بر عمود نمیتواند داخل آب بشود. این زاویه برای آب زاویه «حد» است. باید این تناسب‌های ساده‌را درست درک کرد تا بتوان نتایج بعدی کاملاً غیر منتظره و بسیار جالب قانون انکسار را فهمید.

ما هم‌اکنون دیدیم که اشعه با هر زاویه‌ای که به آب بتابند، در زیر آب به صورت مخروط نسبتاً تنگی با زاویه ۴۸/۰+۴۸/۰ یعنی ۹۷ درجه به یکدیگر نزدیک میشوند. حالا اشعه‌ای را که،



شکل ۱۱۹ — موارد مختلف انکسار شعاع نور ضمن عبور از آب به هوا. در مورد دوم شعاع با زاویهٔ حد بر عمود تابش میتابد و وقتی از آب خارج میشود، در طول سطح آب پیش میرود. در مورد سوم انعکاس درونی کامل نشان داده شده است.



شکل ۱۲۰ — اشعه‌ای که از نقطهٔ P نسبت به خط عمود تابش با زاویه‌ای بیش از زاویهٔ حد (برای آب ۴۸/۵ درجه) پخش میگردند، از آب خارج نمیشوند و به هوا نمیروند، بلکه تماماً در آب منعکس میشوند.

برعکس، از آب به هوا میروند مورد بررسی قرار میدهیم (شکل ۱۲۰). طبق قوانین نور و بصر مسیر اشعه همان خواهد بود که در بالا دیدیم، یعنی کلیهٔ شعاع هائی که در داخل مخروط نامبرده بالا با زاویهٔ ۹۷ درجه واقع باشند، وقتی داخل هوا شدند در تمام فضای ۱۸۰ درجه‌ای روی سطح آب پخش میشوند.

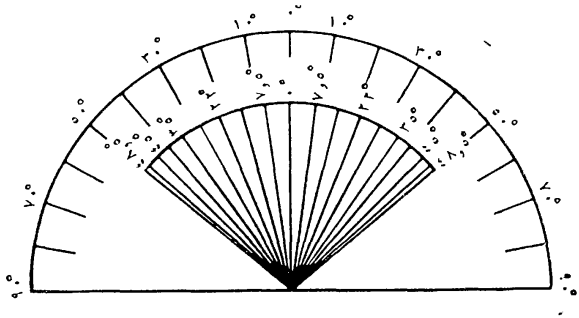
پس شعاعی که زیر آب در خارج از مخروط نامبرده قرار دارد، به کجا میرود؟ از قرار معلوم این شعاع اصلاً از آب خارج نمیشود و تماماً در سطح آب، چون در آئینه، منعکس میگردد. بطور کلی هر شعاع زیرآبی که با سطح آب با زاویه‌ای بیش از زاویهٔ حد (یعنی بیش از ۴۸/۵ درجه) تلاقی کند، منکسر نمیشود، بلکه منعکس میگردد، و بقول فیزیسین‌ها «انعکاس درونی کامل» مییابد*.

اگر ماهی‌ها فیزیک می‌آموختند، مهمترین قسمت علم نور و بصر برای آنها آموزش «انعکاس درونی» بود، زیرا در دید زیرآبی آنها انعکاس درونی مهمترین نقش‌را دارد.

به احتمال نزدیک به یقین، این امر که رنگ اکثر ماهی‌ها نقره‌ای فام است، با خصوصیات دید زیرآبی ارتباط دارد. به عقیده جانورشناسان این رنگ نتیجهٔ تطابق ماهی‌ها با رنگ سطح آبی است که در بالای آنها گسترده شده است. بطوری که میدانیم وقتی از زیر آب نگاه کنیم، سطح آب آئینه‌مانند به نظر می‌آید (در نتیجهٔ «انعکاس درونی کامل») و درندگان آبی که ماهی‌هارا شکار میکنند، در چنین زمینه‌ای نمیتوانند ماهی‌ها را ببینند.

---

* این انعکاس‌را به آن دلیل «انعکاس کامل» مینامند که در این مورد کلیهٔ اشعه‌ای که میتابند، منعکس میشوند، در صورتیکه حتی بهترین آئینه (از منیزیوم یا نقرهٔ صیقلی) فقط قسمتی از اشعه‌ای را که به آن میتابند، منعکس میکند و قسمت دیگررا جذب مینماید. آب در آن شرایط آئینه ایدآل است.



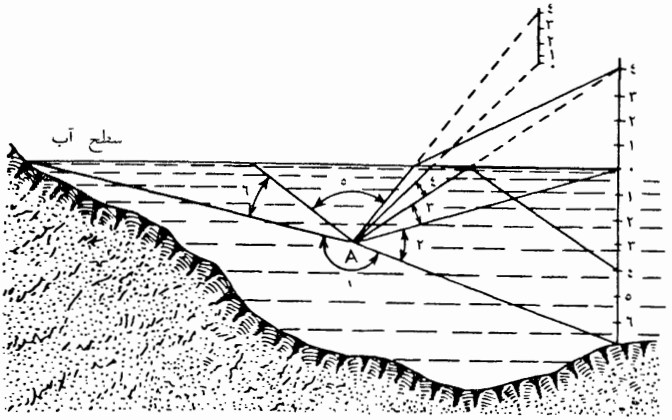
شکل ۱۲۱ — قوس ۱۸۰ درجه‌ای جهان روی آب برای بینندهٔ زیرآبی به قوس ۹۷ درجه‌ای کاهش مییابد. به همان نسبت که قسمت‌های قوس از نقطهٔ خط الرأس (۰°) دورتر باشند، میزان کاهش آنها بیشتر خواهد بود.

جهان از زیر آب

بسیاری از اشخاص حتی تصور هم نمیکنند که اگر ما از زیر آب به جهان بنگریم، جهان چقدر غیر عادی به نظر ما می‌آید، بقدری دگرگون و تغییر شکل‌یافته به نظر می‌آید که هیچ شباهتی با جهان واقعی ندارد.

در نظرتان مجسم کنید که به درون آب رفته‌اید و از زیر سطح آب به جهان بالای آب مینگرید. پاره ابری که درست بالای سر شما در آسمان باشد، هیچ تغییر شکل نمیدهد، زیرا اشعهٔ عمودی منکسر نمیشوند. اما کلیهٔ اجسام دیگر که اشعهٔ آنها با زاویه حاده با سطح آب تلاقی میکنند، تغییر شکل‌یافته به نظر می‌آیند، گوئی همهٔ آنها در ارتفاع فشرده شده‌اند و هر چه زاویهٔ تلاقی شعاع با سطح آب کوچکتر باشد، میزان فشردگی بیشتر است. علت این پدیده واضح است. تمام جهانی که در بالای آب دیده میشود، باید در مخروط تنگ زیرآبی بگنجد، یعنی ۱۸۰ درجه باید تا ۹۷ درجه فشرده شود و تقریباً به نصف تقلیل بیابد. در نتیجه، تصاویر ناگزیر تغییر شکل خواهند داد. اجسامی که اشعهٔ آنها با سطح آب با زاویهٔ ۱۰ درجه تلاقی میکنند، بقدری فشرده میشوند که تقریباً نمیتوان آنهارا تشخیص داد.

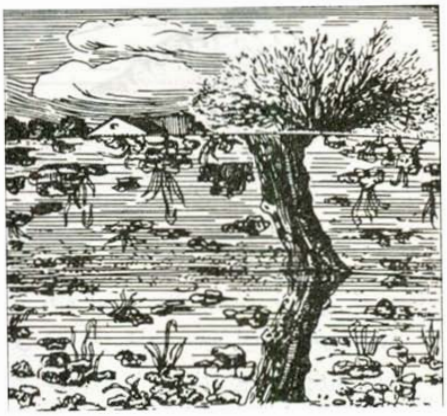
اما شکل خود سطح آب بیش از هر چیز دیگر موجب شگفتی میشود، زیرا از زیر آب مسطح به نظر نمی‌آید، بلکه مخروطی شکل به نظر می‌آید. آدم تصور میکند که در ته قیف عظیمی قرار دارد که تمایل دیواره‌های آن نسبت به یکدیگر قدری بیش از زاویه قائمه (۹۷ درجه) است. انتهای بالائی این مخروط را حلقه‌ای از رنگین‌کمان به رنگ‌های سرخ و زرد و سبز و آبی و بنفش احاطه کرده است. چرا؟ نور سفید خورشید از ترکیب اشعهٔ رنگ‌های مختلف تشکیل یافته است، هر دسته از این اشعه ضریب انکسار مخصوص به خود و در نتیجه، «زاویه حد» مخصوص به خودرا دارد. این امر به نوبهٔ خود سبب میشود که وقتی از زیر آب نگاه کنیم به نظر می‌آید که هاله‌ای رنگین از رنگ‌های رنگین‌کمان جسم‌را احاطه کرده است.



شکل ۱۲۲ — منظرهٔ عمق‌سنجی که تا نیمه در آب فرو رفته است، برای بینندهٔ زیرآبی که چشمش در نقطهٔ A قرار دارد. در زاویهٔ (۲) قسمتی از عمق‌سنج که داخل آب است، بطور مبهم دیده میشود و در زاویهٔ (۳) انعکاس همین قسمت در سطح داخلی آب. بالاتر از آن، قسمت خارج از آب عمق‌سنج بطور فشرده و ضمناً با فاصلهٔ معینی جدا از بقیهٔ عمق‌سنج، دیده میشود. در زاویهٔ (٤) کف رودخانه منعکس میشود. در زاویهٔ (٥) تمام جهان روی‌آبی به صورت لولهٔ مخروطی‌شکلی به نظر می‌آید. در زاویهٔ (٦) انعکاس کف رودخانه در سطح داخلی آب، دیده میشود. در زاویهٔ (۱) تصویر مبهم کف رودخانه دیده میشود.

پس بعد از آن، در آنسوی لبه‌های این مخروط که جهان روی آب در آن گنجانده شده است، چه چیز دیده میشود؟ در آنجا سطح درخشان آب گسترده شده و اجسام زیرآبی در آن، چون در آئینه، منعکس میگردند.

اجسامی که قسمتی از آنها در داخل آب و قسمت دیگر بالای آب است، برای بینندهٔ زیرآبی شکل کاملاً غیر عادی و عجیبی پیدا میکنند. فرض میکنیم که عمق‌سنجی را در رودخانه فرو کرده‌ایم (شکل ۱۲۲). بینندهٔ زیرآبی که در نقطهٔ A قرار داشته باشد، چه می‌بیند؟ فضای دید این بیننده، یعنی ۳٦۰ درجه را به چند قسمت تقسیم میکنیم و هر قسمت‌را بطور جداگانه مورد بررسی قرار میدهیم. بیننده در حدود زاویهٔ (۱) کف رودخانه‌را می‌بیند، البته اگر کف رودخانه به حد کافی روشن باشد. در زاویه (۲) قسمت زیرآبی عمق‌سنج را بدون تغییر شکل می‌بیند. تقریباً در زاویه (۳) انعکاس همان قسمت عمق‌سنج، یعنی نیمهٔ داخل آب آن‌را به صورت واژگون‌شده می‌بیند (آنچه‌را که در بارهٔ «انعکاس درونی کامل» گفته شد، به یاد بیاورید). پس از آن بینندهٔ داخل آب قسمت خارج از آب عمق‌سنج را می‌بیند، اما این قسمت به صورت ادامهٔ قسمت زیرآبی به نظر نمی‌آید، بلکه به میزان زیادی بالاتر و بکلی جدا از قسمت زیرآبی به نظر می‌آید. البته بیننده حتی تصور آن را هم



شکل ۱۲۳ — درختی که تا وسط در آب فرو رفته باشد، از زیر آب اینطور به نظر می‌آید (با شکل ۱۲۲ مقایسه کنید).

شکل ۱۲۴ — آدمی که تا سینه در آب فرو رفته باشد، برای بینندهٔ زیرآبی اینطور به نظر می‌آید (با شکل ۱۲۲ مقایسه کنید).

نمیکند که این عمق‌سنج معلق در هوا ادامه همان قسمت اول است! علاوه بر این، عمق‌سنج، بخصوص قسمت پائین آن، بسیار فشرده‌شده به نظر می‌آید، در قسمت پائین تقسیمات عمق‌سنج بطور قابل ملاحظه‌ای به هم نزدیک شده‌اند. درختی که در ساحل رودخانه در نتیجهٔ طغیان رودخانه تا وسط زیر آب رفته است، باید به صورتی که در شکل ۱۲۳ نشان داده شده، به نظر بینندهٔ زیرآبی بیاید.

اگر بجای عمق‌سنج آدمی باشد، آن آدم از زیر آب به صورتی که در شکل ۱۲۴ نشان داده شده، دیده خواهد شد. کسی که آبتنی میکند باید به این صورت به نظر ماهی‌ها بیاید. وقتی ما در قسمت‌های کم‌عمق راه میرویم، برای ماهی‌های زیرآب به دو موجود منقسم و تبدیل میشویم: موجود بالا بی‌پا و موجود پائین بی‌سر دارای چهار پا است. وقتی از بینندهٔ زیرآبی دور میشویم، قسمت بالائی بدن ما دمبدم فشرده‌تر میشود و به قسمت پائین فرو میرود و در فاصلهٔ معینی تقریباً تمام قسمت روآبی بالاتنه ناپدید میگردد و تنها سری که در هوا معلق است، باقی میماند...

آیا میتوان این نتایج غیر عادی را مستقیماً آزمایش کرد و شخصاً دید؟ وقتی ما به زیر آب میرویم، حتی اگر آموخته باشیم که چشممان‌را باز نگاه داریم، فوق‌العاده کم خواهیم دید. زیرا: اولاً — در آن چند ثانیه‌ای که ما میتوانیم زیر آب بمانیم، سطح آب آرام نمیگیرد و از پشت سطح

آب مواج بزحمت میتوان چیزی‌را تشخیص داد. ثانیاً — بطوری که قبلاً توضیح دادیم، ضریب انکسار آب با ضریب انکسار قسمت‌های شفاف چشم ما تفاوت چندانی ندارد و به این دلیل تصویر بسیار مبهم و ناروشنی روی شبکیه چشم می‌افتد و محیط اطراف فوق‌العاده مه‌آلود و غیر واضح به نظر می‌آید (صفحه ۱۸۱). نگاه کردن از درون کلاه غواصی یا از پشت پنجرهٔ شیشه‌ای زیردریائی نیز نمیتواند نتیجهٔ مطلوب‌را بدهد. در این موارد نیز، همانطور که توضیح دادیم، بیننده اگرچه در زیر آب است، اما بهیچوجه در شرایط بینندهٔ زیرآبی نیست، زیرا در این موارد اشعهٔ نور قبل از آنکه به چشم او برسند، از شیشه میگذرند و از نو داخل هوا میگردند و در نتیجه در جهت عکس منعکس میشوند. اشعه پس از انکسار در هوا یا در سمت اولیهٔ خود قرار میگیرند یا در سمت جدیدی که در هر صورت آن سمتی نیست که در آب بود. به این دلیل است که نگاه کردن از پشت پنجره‌های شیشه‌ای اطاق‌های زیرآبی نمیتواند تصور صحیحی از شرایط «دید زیرابی» بدهد. اما برای آنکه بفهمیم از زیر آب جهان چگونه به نظر می‌آید، هیچ لزومی ندارد که خودمان در زیر آب باشیم. شرایط دید زیرآبی‌را میتوان به وسیلهٔ دوربین‌های عکاسی مخصوص که داخلشان پر از آب است، آموخت. در این دوربین‌ها بجای عدسی از صفحهٔ فلزی که سوراخ کوچکی در آن تعبیه شده، استفاده میکنند. به آسانی میتوان پی برد که اگر تمام فضای میان سوراخ و صفحهٔ حساس در برابر نور پر از آب باشد، جهان خارجی باید به همان صورتی که به نظر بینندهٔ زیرآبی می‌آید، روی صفحه تصویر شود. با همین وسیله بود که پروفسور وود فیزیسین امریکائی عکس‌های بسیار جالبی گرفت و ما یکی از آنهارا در شکل ۱۱۷ نشان دادیم. و اما آنچه مربوط به تغییر شکل اجسام روی‌آبی برای بینندهٔ زیرآبی است (خطوط مستقیم پل راه‌آهن در عکسی که وود گرفته است، قوسی‌شکل افتاده‌اند) ما این مطلب‌را ضمن تشریح علت مقعر به نظر آمدن کف مسطح استخر توضیح دادیم (صفحه ۱۸۵).

وسیله دیگری نیز وجود دارد که بتوان پی برد جهان به نظر بینندهٔ زیرآبی چگونه می‌آید. میتوان آئینه‌ای را در آب استخر آرامی فرو برد و تمایل لازم را به آئینه داد و انعکاس اجسام روی‌آبی را در آن مشاهده کرد.

نتایج اینگونه مشاهدات بررسی‌های تئوریکی‌را که در بالا کردیم، با تمام جزئیات تأیید میکند.

بدین ترتیب، قشر شفاف آب میان چشم و اجسامی که در خارج از این قشر آب هستند، به جهان روی‌آبی منظره‌ای افسانوی میدهد. موجودی که پس از مدتی زندگی در خشکی به زیر آب میرود و از آنجا به جهان بنگرد، زادگاه خویش‌را نخواهد شناخت، زیرا وقتی از زیر آب‌های شفاف به جهان بنگریم فوق‌العاده تغییر شکل‌یافته به نظر می‌آید.

رنگ‌ها در اعماق آب

ییب زیستشناس امریکائی تغییر رنگ‌های نوررا در زیر آب، بسیار فصیح و زیبا توصیف میکند:

«ما در داخل باتیسفر به زیر آب رفتیم و تغییر ناگهانی جهان زرد زرین به جهان سبز برایمان غیر منتظره بود. پس از آنکه کف آب و حباب‌های هوا از روی پنجره‌ها برطرف گردید، همه چیز غرق در رنگ سبز شد: صورت‌های ما، بالن‌ها و حتی دیوارهای تیره همه به رنگ سبز درآمدند. ضمناً از عرشه چنین به نظر می‌آمد که در رنگ لاجوردی تیره فرو میرویم.

در نخستین لحظات فرو رفتن در آب چشم از دیدن اشعهٔ گرم* (یعنی سرخ و نارنجی) طیف محروم میشود. گوئی رنگ‌های سرخ و نارنجی هرگز وجود نداشته‌اند، و بزودی رنگ‌های سبز رنگ‌های زردرا نیز بلعیدند. با اینکه اشعهٔ گرم شادی بخش فقط قسمت کمی از طیف مرئی‌را تشکیل میدهند، اما وقتی در عمق ۳۰ متر و بیش از آن این اشعه نابود میشوند، فقط سرما و تاریکی و مرگ باقی میماند.

بتدریج که پائین میرفتیم، رنگ‌های سبز نیز ناپدید میگردیدند. در عمق ۶۰ متری دیگر نمیشد گفت که آب سبز مایل به آبی بود یا آبی مایل به سبز.

در عمق ۱۸۰ متری به نظر می‌آمد که همه چیز به رنگ سورمه‌ای درخشانی رنگ شده است. در آن رنگ نیروی روشنائی بقدری کم بود که دیگر خواندن و نوشتن امکان نداشت.

در عمق ۳۰۰ متری من کوشیدم رنگ آب را تعیین کنم که سیاه مایل به سورمه‌ای است یا خاکستری تیرهٔ مایل به سورمه‌ای. عجیب است که وقتی رنگ سورمه‌ای ناپدید میشود، رنگ بنفش، یعنی آخرین رنگ مرئی طیف جای آن‌را نمیگیرد، ظاهراً رنگ بنفش در همان ضمن جذب شده است. آخرین آثار رنگ سورمه‌ای به رنگ خاکستری نامعینی تبدیل میشود و رنگ خاکستری نیز بنوبهٔ خود به رنگ سیاه تبدیل میگردد. از این سطح به پائین دیگر تاریکی بر روشنائی خورشید پیروز گردیده و رنگ‌ها تا ابد از اعماق آب رانده شده‌اند، تا مگر انسان به آنجا برود و آنچه‌را که طی میلیاردها سال در تاریکی محض فرو رفته بود با پرتو برق روشن سازد».

همین محقق در جای دیگر تاریکی اعماق زیاد را چنین توصیف میکند:

«در عمق ۷۵۰ متری تاریکی سیاه‌تر از آن به نظر می‌آمد که بتوان تصور کرد، باوجود این، حالا (در عمق در حدود ۱۰۰۰ متر) سیاه‌تر از سیاه به نظر می‌آمد. تصور میرفت که همهٔ شب‌هائی که در جهان بالا در انتظار ما بودند، فقط تا حدودی تاریک و روشن به نظر خواهند آمد. پس از آن من هرگز نمیتوانستم کلمه «سیاه» را با اعتقاد راسخ به کار ببرم».

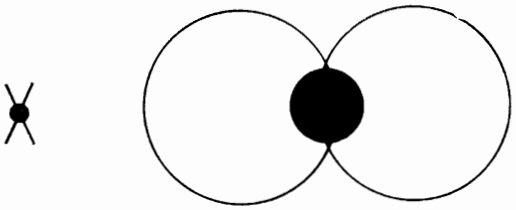
لکهٔ کور در چشم آدم

اگر به شما بگویند که در میدان دیدتان فضائی هست که درست جلو چشم شما قرار دارد و با وجود این آن فضارا نمی‌بینید، البته باور نخواهید کرد. آیا ممکن است که ما در تمام عمر متوجه این نقص بزرگ دید خود نشده باشیم؟ اما با آزمایش زیر میتوانید به صحت این مدعا یقین حاصل کنید.

شکل ۱۲۵ را در فاصلهٔ ۲۰ سانتیمتر از چشم راستتان نگاه دارید، چشم چپ‌را ببندید و به ضرب‌دری که در سمت چپ قرار دارد نگاه کنید. شکل را آهسته به چشمتان نزدیک کنید، حتماً لحظه‌ای میرسد که لکه سیاه بزرگ در محل تقاطع دو دایره ناپدید میشود و اثری از آن باقی

---

* در اینجا کلمه «گرم» به معنائی به کار رفته است که نقاشان برای این کلمه قائلند. نقاشان رنگ‌های سرخ و نارنجی‌را «گرم» و رنگ‌های آبی و آسمانی‌را، برعکس، «سرد» مینامند.



شکل ۱۲۵ — تصویر برای کشف لکه کور.

نمیماند. با اینکه لکه در حدود میدان دید شما باقی میماند، آن را نمی‌بینید، در صورتیکه هر دو دایرهٔ سمت راست و چپ آن را با وضوح تمام می‌بینید!

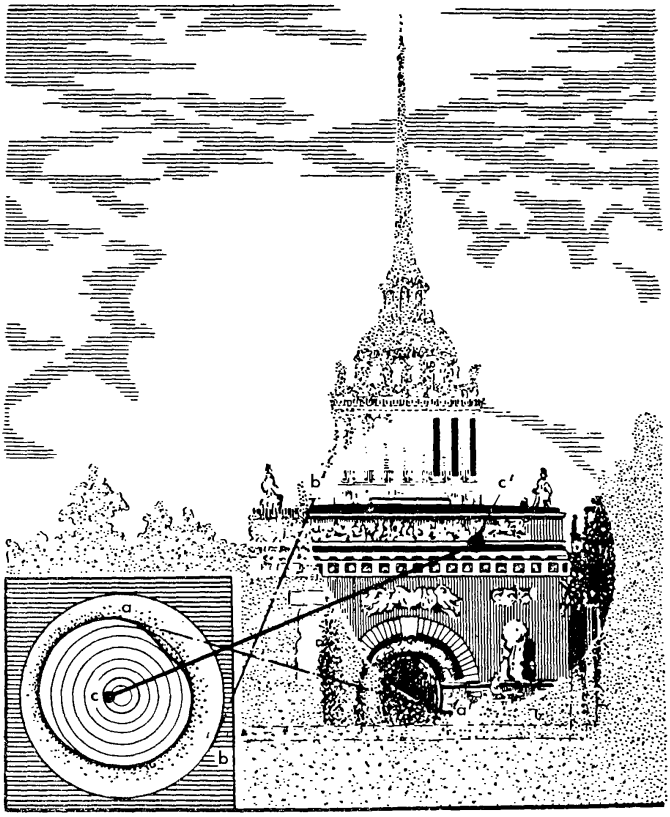
این آزمایش که نخستین بار در سال ۱۶۶۸ به وسیله ماریوت فیزیسین مشهور (به طرز دیگر) انجام شد بسیار مورد پسند درباریان لوئی ۱۴ قرار گرفت. ماریوت آزمایش‌را به طریق زیر انجام میداد: دو نفر از اشراف را در فاصله دو متر روبروی یکدیگر مینشاند و از آنها خواهش میکرد که با یک چشم به نقطهٔ معینی در کنار نگاه کنند. آنوقت به نظر هر یک از آن دو می‌آمد که شخصی که روبرویش نشسته است، سر ندارد.

گرچه عجیب به نظر می‌آید، ولی مردم فقط در قرن ۱۷ میلادی فهمیدند که در شبکیه چشم آنها «لکه کوری» هست که پیش از آن احدی حتی فکرش‌را هم نمیکرد. این لکه کور آن جائی از شبکیه است که عصب بینائی وارد تخم چشم میشود، اما هنوز به شاخه‌های باریک مجهز به سلول‌های حساس در برابر نور تجزیه نشده است.

ما در نتیجهٔ عادت متمادی متوجه این لکه سیاه در میدان دید خود نمیشویم. نیروی تصور بی‌اختیار این جای خالی را از جزئیات زمینه اطراف پر میکند. مثلاً در شکل ۱۲۵ ما لکه را نمی‌بینیم، اما در تصور خطوط اطراف‌را ادامه میدهیم و یقین داریم که محل تقاطع آنهارا بطور واضح می‌بینیم.

اگر عینک میزنید، میتوانید آزمایش زیر را بکنید. یک تکه کاغذ کوچک به شیشه عینک بچسبانید (نه درست در وسط، بلکه در کنار). در روزهای اول کاغذ مانع دید شما میشود، اما پس از یکی دو هفته چنان به کاغذ عادت میکنید که دیگر اصلاً متوجه آن نمیشوید. ضمناً هر کس که برایش پیش‌آمد کرده است عینک با شیشهٔ ترک‌دار بزند، این مطلب را به خوبی میداند، زیرا ترک فقط در روزهای اول دیده میشود. عیناً همینطور به علت عادت متمادی متوجه لکه کور چشممان نمیشویم. علاوه بر این، دو لکهٔ کور در منطقه‌های مختلف میدان دید هر چشم قرار دارند، بطوری که اگر با هر دو چشم نگاه بکنیم، در میدان دید عمومی چشم‌ها جای خالی وجود ندارد.

گمان نکنید که لکه کور میدان دید ما کوچک است. وقتی از فاصلهٔ ۱۰ متری (با یک چشم) به خانه نگاه میکنیم، به علت وجود لکه کور قسمت نسبتاً وسیعی از نمای عمارت، به عرض بیش

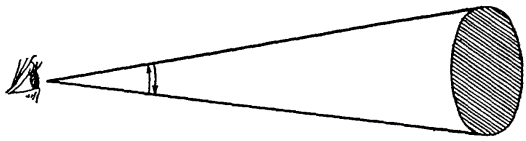


شکل ۱۲۶ — وقتی با یک چشم به عمارت نگاه میکنیم، قسمت نسبتاً کوچک میدان دید c′ را که با لکه کور (c) چشم منطبق است، اصلا نمی‌بینیم.

از یک متر را نمی‌بینیم. در این قسمت یک پنجرهٔ کامل جا میگیرد. اما در آسمان منطقه‌ای که سطح آن با ۱۲۰ قرص ماه تمام مساوی است، نامرئی میماند.

ماه به چه اندازه به نظر می‌آید؟

حالا جای آن استکه در باره اندازه‌های ظاهری ماه چند کلمه‌ای بگوئیم. اگر از آشنایان خود بپرسید که ماه به چه اندازه به نظرشان می‌آید، جواب‌های بسیار مختلف خواهید شنید. اکثر



شکل ۱۲۷ — زاویهٔ دید این است.

آنها خواهند گفت که ماه به اندازه بشقاب است، اما کسانی نیز خواهند بود که ماه به اندازه نعلبکی مرباخوری، به اندازه آلبالو یا به اندازه سیب به نظرشان می‌آید. یک دانش‌آموز بود که ماه همیشه «به اندازه میز گرد دوازده‌نفری به نظرش می‌آمد». یک نفر نویسنده میگوید که در آسمان «ماهی بود به قطر یک گز».

این تفاوت‌های فاحش در تصورات مربوط به اندازهٔ یک جسم واحد از کجا پیدا میشود؟

این تفاوت‌ها به تفاوت در تخمین فاصلهٔ ماه بستگی دارد، و تخمین فاصله همیشه غیر ارادی است. کسی که ماه را به اندازهٔ سیب می‌بیند، ماه‌را در فاصلهٔ بمراتب کمتری، از کسانی که ماه به اندازه بشقاب یا میز گرد به نظرشان می‌آید، تصور میکند.

بیشتر اشخاص ماه به اندازه بشقاب به نظرشان می‌آید. از اینجا میتوان نتیجه جالبی گرفت. اگر حساب کنیم (طرز حساب کردن از توضیحات بعدی روشن میشود) که هر یک از ما با این اندازه‌های دید ماه را در چه فاصله‌ای تصور میکند، معلوم میشود که این فاصله بیش از ۳۰ متر نیست. ما بی‌اراده ماه‌را در چنین فاصلهٔ نزدیکی تصور میکنیم.

دلیل بسیاری از خطاهای باصره همین اشتباه در تخمین فاصله است. من یک خطای باصرهٔ خود در اوان کودکی‌را، «وقتی که هنوز همهٔ تأثیرات عالم وجود برایم تازگی داشت»، خوب به یاد دارم. من که در شهر به دنیا آمده و پرورش یافته بودم، در یک روز بهاری هنگام گردش در خارج شهر نخستین بار گله گاوی‌را دیدم که در چمنزار میچریدند. چون فاصله‌را نادرست تخمین زده بودم، گاوها بسیار کوچک به نظرم آمدند. تا کنون هرگز چنین گاوهای کوچکی ندیده‌ام و دیگر هرگز نخواهم دید*.

منجمین اندازهٔ دید ستاره‌هارا بر حسب اندازهٔ زاویه‌ای تعیین میکنند که ما ستاره‌ها را تحت آن زاویه می‌بینیم. زاویه‌ای را که از دو خط مستقیم میان دو انتهای جسم مورد نظر و چشم ما تشکیل شده باشد، «اندازه زاویه‌ای» یا «زاویهٔ دید» مینامند (شکل ۱۲۷). و بطوریکه معلوم است، زاویه‌هارا

---

* باید یادآور شد که بزرگسالان نیز گاهی تحت تأثیر چنین خطاهای باصره قرار میگیرند. قطعه زیر از داستان گریگورویچ به نام «برزگر» گواه بر این است:

«اطراف مانند سطح آئینه صاف بود و دیده میشد. ده درست پهلوی پل به نظر می‌آمد، خانه، تپه و بیشهٔ غان، چسبیده به ده به نظر می‌آمدند. همهٔ اینها — هم خانه و هم باغ و هم ده — حالا دیگر به شکل اسباب‌بازی‌هائی به نظر می‌آمدند که ساقه‌های خزه، درختان را جلوه میدهند و یک تکه آئینه رودخانه‌را».

با درجه و دقیقه و ثانیه اندازه میگیرند. منجم در جواب سؤال مربوط به اندازهٔ دید ماه نمیگوید که قرص ماه مساوی سیب یا بشقاب است، بلکه میگوید که مساوی نیم درجه است. این بدان معنا است که دو خط مستقیم میان دو انتهای قرص ماه و چشم ما زاویهٔ نیم درجه‌ای تشکیل میدهند. اینگونه تعیین اندازه‌های دید یگانه طریقهٔ درست است که موجب سوء تفاهم نمیشود.

طبق قوانین هندسه* هر جسمی که به اندازه ۵۷ برابر طول قطرش از چشم دور باشد، بیننده آن را تحت زاویه یک درجه می‌بیند. مثلاً اگر سیبی به قطر ۵ سانتیمتر را در فاصلهٔ ۵۷ × ۵ سانتیمتر از چشم نگاه داریم، اندازهٔ زاویه‌ای آن یک درجه خواهد بود. در فاصلهٔ دو برابر این فاصله این سیب تحت زاویهٔ ۰/۵ درجه، یعنی به همان اندازه‌ای که ماه را می‌بینیم، به نظر خواهد آمد. اگر مایل باشید، میتوانید بگوئید که ماه به اندازه سیب به نظرتان می‌آید، اما به شرطی که این سیب با چشم شما ۵۷۰ سانتیمتر (نزدیک به ۶ متر) فاصله داشته باشد. اگر بخواهید اندازهٔ دید ماه را با بشقاب مقایسه کنید، باید بشقاب را در فاصله ۳۰ متری از چشم نگاه دارید. اکثر مردم نمیخواهند باور کنند که ماه تا این حد کوچک به نظر می‌آید، اما یک سکهٔ ۱۰ کپکی (یا سکه نیم ریالی نقره، — مترجم) را در فاصلهٔ ۱۱۴ برابر قطر آن از چشمتان نگاه دارید. این سکه با آنکه فقط دو متر از چشم فاصله دارد، قرص ماه‌را کاملاً خواهد پوشاند.

اگر به شما بگویند روی کاغذ دایره‌ای بکشید که قرص ماه‌را آنطور که با چشم غیر مسلح می‌بینیم، مجسم کند، وظیفه‌ای که به شما محول شده به حد کافی دقیق و روشن نیست، زیرا دایره، بسته به فاصلهٔ آن از چشم، ممکن است بزرگ یا کوچک باشد. اما اگر فاصله‌را مساوی فاصلهٔ بهترین دید، یعنی فاصله‌ای که معمولاً کتاب و نقشه و امثال آن‌را نگاه میداریم، فرض کنیم، آنوقت شرایط مشخص و دقیق میشود. این فاصله برای چشم معمولی ۲۵ سانتیمتر است.

حالا حساب میکنیم که دایره، مثلاً در صفحات این کتاب، باید چه اندازه باشد تا اندازه دید آن مساوی قرص ماه باشد. حساب بسیار ساده است، باید ۲۵ سانتیمتر را بر ۱۱۴ تقسیم کرد. اندازه بسیار کوچکی، قدری بیش از ۲ میلیمتر، به دست می‌آید که تقریباً مساوی عرض حرف «د» در این کتاب است. اصلاً نمیتوان باور کرد که ماه و همچنین خورشید که اندازهٔ ظاهری آن مساوی اندازهٔ ظاهری ماه است، تحت چنین زاویهٔ کوچکی به نظر می‌آیند!

لابد متوجه شده‌اید که پس از آنکه به خورشید چشم دوختیم، در میدان دید ما مدت زیادی دایره‌های رنگینی سوسو میزنند. اندازهٔ زاویه‌ای این دایره‌ها، که «آثار بصری» نام دارند، نیز مساوی اندازه زاویه‌ای خورشید است. اما اندازهٔ ظاهری آنها تغییر میکند، وقتی به آسمان نگاه میکنید، این دایره‌ها مساوی قرص خورشید هستند، اما وقتی به کتابی که جلوتان است نظر می‌اندازید، «اثر» خورشید روی صفحه کتاب جائی معادل دایره‌ای به قطر تقریباً ۲ میلیمتر را میگیرد، و این امر به رأی العین نشان میدهد که حساب‌های ما درست بوده است.

---

* خوانندگانی که به حساب‌های هندسی مربوط به زاویهٔ دید علاقه داشته باشند، میتوانند به کتاب «هندسه برای سرگرمی» تألیف اینجانب مراجعه کنند و توضیحات و امثلهٔ لازم‌را مطالعه بفرمایند.

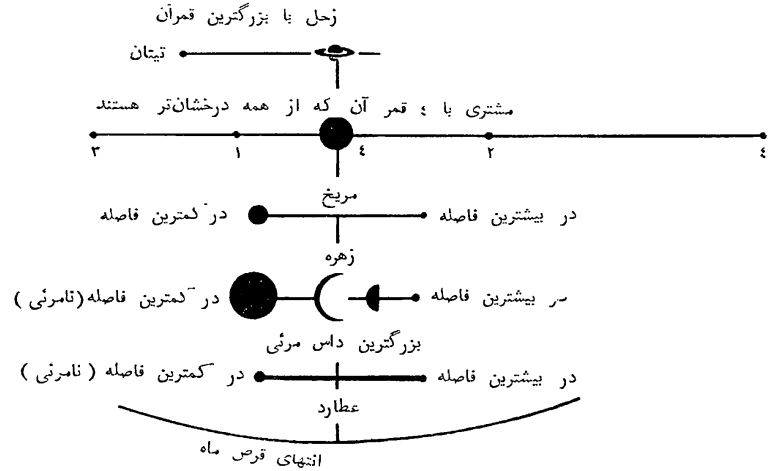
اگر بخواهیم دب، اکبر را با حفظ اندازه‌های زاویه‌ای روی کاغذ رسم کنیم، به صورتی که در شکل ۱۲۸ نشان داده شده است، در خواهد آمد. وقتی از فاصلهٔ بهترین دید به این شکل نگاه کنیم، دب اکبر را به همان صورتی خواهیم دید که در گنبد فیروزه‌فام دیده میشود. این، به اصطلاح، نقشهٔ دب اکبر با حفظ اندازه‌های زاویه‌ای آن است. اگر تأثیر بصری این صورت فلکی در خاطر شما خوب نقش بسته است — نه شکل، بلکه همانا تأثیر بصری مستقیم آن — وقتی مدتی به این شکل نگاه کنید، گوئی این تأثیر از نو در شما پدیدار میشود. وقتی فاصله‌های زاویه‌ای میان ستاره‌های عمدهٔ همهٔ صور فلکی‌را بدانید (این اندازه‌ها در تقویم‌های نجومی و در کتاب‌های راهنمای مفصل، داده میشود) میتوانید یک اطلس نجومی کامل «به شکل طبیعی» بکشید. برای این کار کافی است کاغذ شطرنجی میلیمتری بردارید و هر ۰/۴ میلیمتر روی آن‌را یک درجه حساب کنید (سطح دایره‌هائی را که معرف ستاره‌ها است باید متناسب با درخشندگی آنها کشید).

حالا به بررسی سیارات می‌پردازیم. اندازه ظاهری سیاره‌ها نیز، مانند ستاره‌ها، نقدری کم است که برای چشم غیر مسلح به صورت نقطه‌های درخشانی به نظر می‌آیند. این مطلب روشن است، زیرا هیچ سیاره‌ای (مگر زهره در دوره حد اکثر درخشندگی آن) برای چشم غیر مسلح تحت زاویهٔ بیش از (۱) دقیقه یعنی اندازهٔ حدی که اصولاً ما میتوانیم چیزی‌را مانند جسمی که دارای ابعاد باشد تشخیص بدهیم (تحت زاویه کوچک‌تر از این هر چیزی مانند نقطهٔ بدون محیط مرئی به نظر می‌آید)، قابل دید نیست.

اندازه سیاره‌های مختلف به ثانیهٔ زاویه‌ای به قرار زیر است. جلو هر سیاره دو رقم آورده شده است، رقم اولی مربوط به حد اقل فاصلهٔ سیاره از زمین و رقم دومی مربوط به حد اکثر فاصلهٔ آن از زمین است.

عطارد	۱۳ — ۵	ثانیه	مشتری	۵۰ — ۳۱	ثانیه
زهره	۶۴ — ۱۰	»	زحل	۲۰ — ۱۵	»
مریخ	۲۵ — ۳/۵	»	حلقه‌های زحل	۴۸ — ۳۵	»

شکل ۱۲۸ — دب اکبر با حفظ اندازه‌های زاویه‌ای. تصویررا باید در فاصلهٔ ۲۵ سانتیمتر از چشم نگاه داشت.



شکل ۱۲۹ — اگر این تصویر را در فاصلهٔ ۲۵ سانتیمتر از چشم نگاه داریم، قرص‌های سیاراتی که در آن رسم شده، درست به همان اندازه به نظر می‌آیند که خود سیارات در تلسکوپی که ۱۰۰ بار بزرگ میکند، دیده میشوند.

ممکن نیست بتوان این اندازه‌ها را به «مقیاس طبیعی» روی کاغذ رسم کرد، زیرا حتی یک دقیقهٔ زاویه‌ای کامل، یعنی ٦٠ ثانیه در فاصله بهترین دید فقط معادل ۰/۰٤ میلیمتر خواهد بود که برای چشم غیر مسلح قابل رؤیت نیست. به این دلیل قرص سیاره‌ها را به اندازه‌ای رسم میکنیم که با تلسکوپی که ۱۰۰ بار بزرگ میکند، دیده میشوند. در شکل ۱۲۹ تابلوی اندازه‌های ظاهری سیارات را که ۱۰۰ بار بزرگ شده است، ملاحظه میکنید. قوس پائینی کنارهٔ قرص ماه (یا خورشید) را در تلسکوپی که ۱۰۰ بار بزرگ میکند، نشان میدهد. بالای قوس، عطارد هنگام کمترین فاصلهٔ آن از زمین نشان داده شده است و بالاتر از آن، زهره در فازهای مختلف. زهره در نزدیک‌ترین حالت به زمین اصلاً دیده نمیشود، زیرا نیمه تاریکش رو به زمین است*. بعد داس باریکی از آن دیده میشود که بزرگترین «قرص» سیارات است. زهره در فازهای بعدی مرتب کوچک میشود و قطر قرص تمام آن ٦ بار کم‌تر از داس باریک آن است.

بالای زهره، مریخ نشان داده شده است. در سمت چپ مریخ را در نزدیک‌ترین حالت به زمین ملاحظه میکنید. مریخ در تلسکوپی که ۱۰۰ بار بزرگ کند، اینطور دیده میشود. در این دایره

---

* زهره را در این حالت فقط در لحظات بسیار نادری میتوان دید که به صورت لکه سیاهی (که در اصطلاح «عبور زهره» نام دارد) روی قرص خورشید تصویر میشود.

کوچک چه چیز را میتوان تشخیص داد؟ همین دایره را ده برابر بزرگ‌تر از آنچه هست در نظر مجسم کنید، آنوقت از آنچه منجمین بررسی‌کننده مریخ در تلسکوپ نیرومندی که ۱۰۰۰ بار بزرگ میکند، می‌بینند، تصوری به دست خواهید آورد. آیا میتوان در چنین فضای کوچکی جزئیات دقیقی از قبیل «کانال‌های» کذائی را دید یا تغییرات خفیف رنگ را که گویا باگیاهان کف «اقیانوس های» مریخ مربوط است، مشاهده کرد؟ تعجب‌آور نیست که مشاهدات برخی از محققین با گفته‌های دیگران تفاوت فاحش و اصولی دارد و آنچه را که عده‌ای گویا بطور وضوح می‌بینند، عده دیگر خطای باصره میشمارند * ...

مشتری که سیاره عظیمی است، با قمرهای خود در تابلوی ما جای بزرگی دارد، قرص مشتری از قرص سایر سیارات (غیر از داس زهره) بمراتب بزرگ‌تر است و چهار قمر اصلی آن روی خطی مساوی تقریباً نصف قرص ماه قرار دارند. مشتری در این تابلو در نزدیک‌ترین حالت به زمین ترسیم شده است. بالاخره، زحل با حلقه‌ها و بزرگ‌ترین قمر آن (تیتان) در لحظات نزدیک‌ترین حالت، به زمین به حد کافی بزرگ است.

پس از آنچه گفته شد بر خوانندگان روشن است که هر جسم مرئی را به هر اندازه به خود نزدیک‌تر تصور کنیم، به همان اندازه کوچکتر به نظر می‌آید. و بر عکس، اگر به علتی فاصلهٔ جسم را بیش از آنچه هست تصور کنیم، خود جسم به همان نسبت بزرگتر به نظر می‌آید.

حکایت آموزندهٔ ادگار پو را که عینا چنین خطای باصره‌ای را توصیف میکند، در زیر نقل میکنیم. اگر چه این حکایت ظاهراً هیچ شباهتی به حقیقت ندارد، بهیچوجه تخیلی نیست. خود اینجانب یک بار دچار تقریبا چنین خطای باصره‌ای شدم، و لابد بسیاری از خوانندگان نیز در زندگی خود حوادثی شبیه به آن را دیده‌اند و به یاد دارند.

«ابوالهول»

داستان ادگار پو

«زمانی که وبای وحشتناکی در نیویورک بیداد میکرد، یکی از خویشاوندانم از من دعوت کرد که دو هفته در ویلای دنج و کنارافتاده او بگذرانم. اگر هر روز خبرهای وحشت‌آور از شهر نمیرسید، به ما خیلی خوش میگذشت. روزی نبود که خبر مرگ دوست یا آشنائی به ما نرسد. بالاخره ما با وحشت تمام در انتظار رسیدن روزنامه بودیم. تصور میرفت که حتی باد جنوب مرگ می‌آورد. این فکر وحشتناک بر سر تا پای من تسلط یافته بود و قلبم را از تپش باز میداشت. میزبانم از من خونسردتر بود و میکوشید به من روحیه بدهد.

---

* اطلاعات معاصر در بارهٔ مریخ و سایر سیارات فقط به معلومات مشاهدات بصری محدود نیست. بررسی و اندازه‌گیری با وسائل حساس و دقیق امکان میدهد که در باره شرایط و اوضاع فیزیکی سیارات و اقمار آنها نتایج کاملا مشخص و موثق به دست آورد ... (هیأت تحریریه).

غروب یک روز گرم من جلو پنجره باز نشسته بودم و کتابی در دست داشتم. از پنجره منظرهٔ تپهٔ دوری در آن سوی رودخانه نمایان بود. مدت‌ها بود که کتاب را از یاد برده بودم و به یأس و نومیدی و غم و اندوهی که در شهر مجاور حکمفرما بود، می‌اندیشیدم. وقتی سرم را بلند کردم تصادفاً چشمم به دامنهٔ بی‌درخت و گیاه تپه افتاد و چیز عجیب و غریبی دیدم: موجود عجیب‌الخلقهٔ نفرت‌انگیزی بسرعت از بالای تپه پائین آمد و در جنگل پائین تپه از نظر ناپدید شد. در نخستین دقیقه پس از دیدن این موجود عجیب‌الخلقه تصور کردم که عقلم را از دست داده‌ام و یا اقلاً چشمم بد می‌بیند، اما پس از چند دقیقه یقین حاصل کردم که هذیان نمیگویم. ولی اگر این عجایب‌المخلوقات‌را که به چشم خود واضح و روشن دیدم و در تمام مدتی که از تپه پائین می‌آمد تماشا میکردم توصیف کنم، لابد خوانندگان به این آسانی‌ها باور نخواهند کرد.

وقتی اندازه‌های این موجود را با قطر درختان تنومند مقایسه کردم یقینم شد که این موجود از هر کشتی جنگی بزرگتر است. با کشتی جنگی مقایسه میکنم، زیرا عجایب‌المخلوقات به کشتی شباهت داشت، بدنهٔ یک کشتی ۷۴ توپی تصور نسبتاً کاملی از بدن آن به ما میدهد. دهانش در انتهای خرطومی به طول شصت یا هفتاد پا و به کلفتی تقریباً بدن فیل معمولی، قرار داشت. محل اتصال خرطوم به بدن از مقدار زیادی موی پریشان و ژولیده پوشیده بود و از میان این موها دو دندان درخشان شبیه به دندان گراز، اما بمراتب بزرگتر بیرون زده و به طرفین و پائین خم شده بود. در دو طرف خرطوم دو شاخ عظیم راست به طول سی یا چهل پا قرار دشت. ظاهراً شاخ‌ها بلوری بودند، زیرا در پرتو خورشید بشدت میدرخشیدند. بدنش به گوه‌ای شباهت داشت که سر باریکش رو به زمین باشد. دو جفت بال، هر یک به طول تقریباً ۳۰۰ پا، به بدنش چسبیده بود و بال‌ها یکی بالای دیگری قرار داشت و همه از صفحه‌های فلزی هر یک به قطر ده — بیست پا پوشیده بود. اما مهمترین خصوصیت این موجود وحشتناک را تصویر جمجمهٔ مرده‌ای تشکیل میداد که تقریباً تمام سطح سینه‌اش را پوشیده بود. جمجمه بقدری سفید و درخشان بود که گوئی نقاشی کرده بودند و به این دلیل در زمینهٔ تیره‌رنگ سینه به شدت به چشم میخورد.

در حینی که من با خوف و هراس به این حیوان وحشتناک و بخصوص به شکل شوم روی سینه‌اش، نگاه میکردم، او ناگهان دهانش را گشود و بصدای بلندی نالید... اعصابم تاب نیاوردند و وقتی عجایب‌المخلوقات در جنگل پائین تپه از نظر ناپدید شد، از هوش رفتم و روی کف اطاق افتادم...

وقتی به هوش آمدم، نخستین انگیزه‌ای که در من پیدا شد این بود که آنچه‌را دیده بودم به رفیقم بگویم. او وقتی حرف‌های مرا تا آخر شنید، اول قاه قاه خندید، بعد چنان قیافه‌ای جدی به خود گرفت که گوئی در دیوانگی من کوچکترین شکی نداشت.

در این لحظه من دوباره عجایب المخلوقات را دیدم و فریاد زدم و با انگشتم آن را به رفیقم نشان دادم. او نگاه کرد، اما با وجود اینکه من حالت حیوان را که از تپه پائین می‌آمد مفصلاً برایش شرح میدادم، با اصرار میگفت که چیزی نمی‌بیند.

من دست‌هایم‌را روی صورتم گذاشتم، اما وقتی دست‌هایم‌را از روی صورتم برداشتم، عجایب‌المخلوقات ناپدید شده بود.

میزبانم به سؤالات مختلف در باره شکل ظاهری عجایب‌المخلوقات پرداخت. وقتی من همه چیز را مفصلاً برایش توضیح دادم، چنانکه گوئی شانه‌اش از زیر بار سنگینی آزاد شده است، نفس راحتی

شکل ۱۳۰

کشید، جلو قفسه کتاب رفت و کتاب تاریخ طبیعی را برداشت. بعد از من خواهش کرد که جایمان‌را عوض کنیم، زیرا جلو پنجره بهتر میتوانست خطوط ریز چاپی را بخواند. روی صندلی نشست، کتاب‌را گشود و گفت:

— اگر شما این عجایب‌المخلوقات را مفصلاً برایم توصیف نمیکردید، لابد هرگز نمیتوانستم برایتان شرح بدهم که این موجود چه بوده است. قبل از هر چیز اجازه بفرمائید توصیف پروانهٔ نوع Sphinx از خانوادهٔ Crepuscullariae (تیره‌رنگان) طایفهٔ Lepidoptera (پولکیان یا پروانگان) از طبقهٔ Insecta (حشرات) را از این کتاب برایتان بخوانم:

«دو جفت بال غشائی پوشیده از فلس‌های کوچک رنگین دارای جلای فلزی. اعضای دهان از فک‌های پائینی مستطیل شکل تشکیل یافته، در طرفین آنها شاخک‌های پرپشم کوچک قرار دارد، بال‌های پائین با سوهای سفت به بال‌های بالا متصل شده، سبیل‌های کوچک به شکل جوانه‌های منشوری و شکمش برآمده و نوک‌تیز است. این حشره که به «ابوالهول جمجمهٔ مرده» معروف است به علت صدای غم‌انگیزی که درمی‌آورد و شکل جمجمه‌ای که روی سینه دارد، گاهی موجب وحشت خرافاتی مردم ساده میشود*».

سپس کتاب را بست و به همان حالتی که من، وقتی «عجایب‌المخلوقات» را دیدم، نشسته بودم، به طرف پنجره خم شد و ندا برآورد:

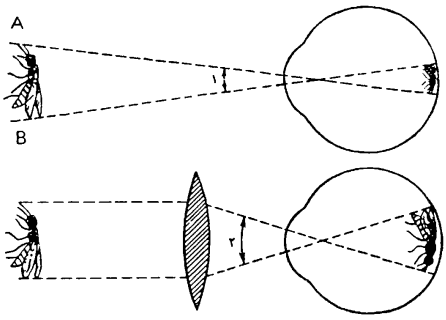
---

* حالا این پروانه را به طایفهٔ Acherontia منسوب میدانند. این یکی از پروانه‌های نادری است که میتوانند صدائی شبیه به صدای موش در بیاورند، ضمناً یگانه نوع پروانه‌ای است که صدارا به وسیلهٔ اعضای دهان درمی‌آورد. صدای آن بحد کافی بلند است و از فاصلهٔ چندین متر شنیده میشود. در این مورد معین ممکن بود صدا فوق العاده بلند به گوش شنونده برسد، زیرا شنونده در ذهن خود منبع صدا را خیلی دور فرض کرده بود (به «فیزیک برای سرگرمی»، کتاب اول، فصل دهم، «شگفتی های شنوائی» مراجعه کنید).

— آها، دیدمش! از دامنه تپه بالا می‌رود، و اعتراف میکنم که بسیار شگفت‌آور است. اما آنقدرها هم که شما تصور کرده بودید، بزرگ و دور نیست، زیرا از تار عنکبوتی که به پنجره ما آویزان است، بالا میرود!»

چرا میکروسکوپ بزرگ میکند؟

اغلب اوقات در جواب این سؤال میگویند: «زیرا میکروسکوپ سمت اشعه را بطور معینی که در کتاب‌های فیزیک توصیف شده است، تغییر میدهد». ولی در این جواب فقط دلیل بیان میشود، اما از ماهیت پدیده صحبتی به میان نمی‌آید. پس علت اساسی عمل بزرگ‌کننده میکروسکوپ و تلسکوپ چیست؟



شکل ۱۳۱ — ذره‌بین تصویر روی شبکیهٔ چشم‌را بزرگ میکند.

من از کتاب های درسی به این علت اساسی پی نبردم بلکه وقتی دانش‌آموز بودم و یک بار پدیده بسیار جالب و شگفت‌آوری دیدم، دریافتم که مطلب از چه قرار است. جلو پنجرهٔ بسته نشسته بودم و به دیوار آجری خانهٔ آن طرف پس‌کوچه نگاه میکردم. ناگهان وحشت‌زده خود را عقب کشیدم، زیرا با وضوح تمام دیدم که یک چشم عظیم ادم به عرض چند متر از دیوار مقابل به من نگاه میکند... آنوقت من داستان ادگار پو را که هم اکنون نقل کردیم، هنوز نخوانده بودم و نتوانستم فوراً پی ببرم که آن چشم عظیم انعکاس چشم خودم بود که روی دیوار دور تصور کرده بودم و در نتیجه به همان نسبت بزرگتر به نظرم می‌آمد.

پس از آنکه به مطلب پی بردم به فکر آن افتادم که آیا نمیشود بر اساس این خطای باصره میکروسکوپ ساخت. همان وقت پس از آنکه با ناکامی روبرو شدم، برایم روشن شد که ماهیت عملی بزرگ‌کننده میکروسکوپ بهیچوجه در آن نیست که اجسام بزرگتر از آنچه هستند به نظر ما می‌آید، بلکه در آن است که ما آنها را تحت زاویهٔ دید بزرگتری می‌بینیم و مهم‌تر از همه آنکه در نتیجه، انعکاس اجسام در شبکیهٔ چشم جای بیشتری میگیرد.

برای آنکه بفهمیم چرا در اینجا زاویهٔ دید چنین اهمیت اساسی دارد، باید به یک ویژگی مهم چشم خود توجه کنیم. و آن ویژگی اینست: هر جسم یا هر قسمتی از جسم را که تحت زاویهٔ کمتر از یک دقیقهٔ زاویه‌ای ببینیم، برای چشم معمولی به صورت نقطه واحدی درمی‌آید که نه شکل آن را میتوان تشخیص داد و نه قسمت‌های آن‌را. وقتی جسم بقدری از چشم دور و یا بقدری کوچک است که خود جسم یا قسمت‌های آن‌را تحت زاویهٔ کمتر از یک دقیقهٔ زاویه‌ای می‌بینیم، قادر به تشخیص جزئیات ساختمان آن نیستیم. علت این امر آنستکه با چنین زاویهٔ دیدی انعکاس جسم (یا

انعکاس قسمتی از آن) در ته کاسهٔ چشم تعداد زیادی از انتهاهای اعصاب شبکیه چشم را در بر نمیگیرد، بلکه تماماً روی یک سلول عصبی متمرکز میشود و در نتیجه جزئیات شکل و ساختمان جسم ناپدید میشوند و ما یک نقطه می‌بینیم.

نقش میکروسکوپ و تلسکوپ آنستکه سمت تابش اشعه از جسم‌را تغییر میدهند. در نتیجه ما جسم را تحت زاویهٔ دید بزرگتری می‌بینیم و انعکاس آن روی شبکیه گسترش مییابد و انتهاهای عصبی بیشتری را در بر میگیرد و آنوقت ما جزئیاتی از جسم را که قبلاً در یک نقطه متمرکز میشدند، تشخیص میدهیم. وقتی میگوئیم: «میکروسکوپ یا تلسکوپ ۱۰۰ بار بزرگ میکند»، بدان معنا است که ما جسم را تحت زاویه‌ای ۱۰۰ بار بزرگتر از آن می‌بینیم که بدون این ابزارها میدیدیم. اگر دستگاه بصری زاویهٔ دید را بزرگ نکند، اگر هم‌به نظر ما بیاید که جسم را بزرگشده می‌بینیم، بهیچوجه خود جسم را بزرگ نکرده است. چشم روی دیوار آجری، بزرگ به نظر من آمد، اما من هیچگونه جزئیاتی بیش از آنچه در آئینه می‌بینیم، در آن چشم ندیدم. وقتی ماه در افق و پائین است بمراتب بزرگ‌تر از وقتی در وسط آسمان و بالا است، به نظر ما می‌آید، اما آیا ما در این قرص بزرگ ماه حتی یک لکه بیش از آنچه در ماه وسط آسمان دیده میشود، می‌بینیم؟

اگر به حادثهٔ بزرگ کردن داستان «ابوالهول» ادگار پو دقت کنیم، می‌بینیم که در آنجا نیز در جسم بزرگشده کوچکترین جزئیات تازه‌ای دیده نشده بود. اگر ما پروانه را در جنگل دور یا روی چهار چوب پنجره نزدیک تصور کنیم، زاویهٔ دید تغییر نمیکند و ما پروانه را تحت یک زاویهٔ دید معین می‌بینیم. وقتی زاویه دید تغییر نکند، بزرگ شدن جسم، هر قدر هم باعث تعجب بشود، برای بیننده هیچگونه جزئیات تازه‌ای را کشف نمیکند. ادگار پو مانند یک ادیب واقعی و هنرمند در این قسمت از داستان خود نیز به طبیعت وفادار و صادق است. توجه کردید که «عجایب المخلوقات» در جنگل را چگونه توصیف میکند، در شرح اعضای بدن حشره هیچگونه جزئیات تازه‌ای بیش از آنچه با چشم غیر مسلح دیده میشود، وجود ندارد. هر دو توصیف را باهم مقایسه کنید (این دو توصیف، تصادفی در داستان بیان نشده است)، آنوقت می‌بینید که در لفظ و کلمات با یکدیگر تفاوت دارند (صفحات به قطر ۱۰ پا — فلس‌ها، شاخ های عظیم — سبیل‌ها، دندان‌های گراز — شاخک‌ها و غیره)، اما در توصیف اول هیچگونه جزئیات تازه‌ای که با چشم غیر مسلح دیده نشود، وجود ندارد.

اگر عمل میکروسکوپ فقط به اینگونه بزرگ کردن محدود میبود، برای علم کوچکترین سودی نداشت و به اسباب‌بازی جالبی تبدیل میشد و بس. اما ما میدانیم که چنین نیست، میدانیم که جهان تازه‌ای به روی انسان گشوده و حدود بینائی طبیعی مارا گسترش فراوان داده است.

لومونوسف نخستین طبیعت‌شناس روس در «نامه در فوائد شیشه» میگوید:

دیدگان تیزبین گرچه به ما داده طبیعت
لیک سرحدش بسی نزدیک و نیرویش بود کم
چونکه بسیاری زموجودات دنیارا نبیند دیدهٔ ما
هست پنهان از نظرها آنچه کوچک هست اندر روی عالم

سپس می‌افزاید که « در دوران معاصر » میکروسکوپ ساختمان موجودات بسیار کوچک و نامرئی را برای ما کشف کرده است :

چونکه باریک است اعضای بدن هم قلب و هم رگ ها و پی‌ها
همچنین اعصاب کاندر خود نهان دارند نیروهای باجان
حیرت ما از چنین ترکیب قسمت‌های کرمی کوچک و خرد
نیست کمتر ز آنچه باشد از نهنگ کوه‌پیکر در کف دریای جوشان
چونکه میکروسکوپ نموده فاش اسرار نهان را
جملهٔ قسمت‌های نامرئی و بس رگ‌های باریک

حالا میتوانیم بطور دقیق و روشن بفهمیم که چرا همانا میکروسکوپ « راز نهانی » را که در داستان ادگار پو بیننده در پروانهٔ عجایب المخلوقات خود ندید ، برای ما فاش میکند . خلاصه ، از آنچه گفته شد به این نتیجه میرسیم که میکروسکوپ « رازهای نهان » را به این دلیل آشکار میسازد که اشیاء را فقط به حالت بزرگ شده به نظر ما نمیرساند ، تحت زاویهٔ دید بزرگتری به ما نشان میدهد . در نتیجه ، انعکاس بزرگشدهٔ جسم روی شبکیه می‌افتد و روی تعداد بیشتری انتهای عصبی تأثیر می‌بخشد و این امر به نوبهٔ خود تأثیرات بصری جداگانهٔ بیشتری به شعور ما میرساند . لب کلام آنکه میکروسکوپ نه خود اجسام ، بلکه انعکاس آنها را روی شبکیه چشم بزرگ میکند .

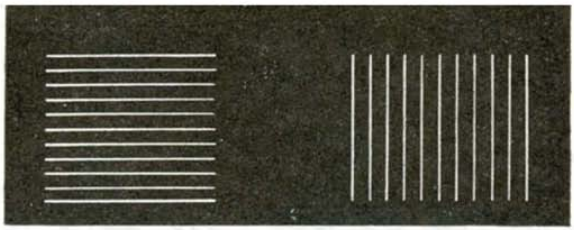
خودفریبی های بصری

ما اغلب اوقات اصطلاحات « خطای باصره » و « خطای سامعه » را به کار می‌بریم ، اما این اصطلاحات نادرست هستند . خطای حواس وجود ندارد . کانت فیلسوف آلمانی در این باره بسیار دقیق و صحیح میگوید : « حواس مارا نمیفریبند ، نه به آن دلیل که همیشه درست قضاوت میکنند ، بلکه به آن دلیل که اصلا قضاوت نمیکنند » .

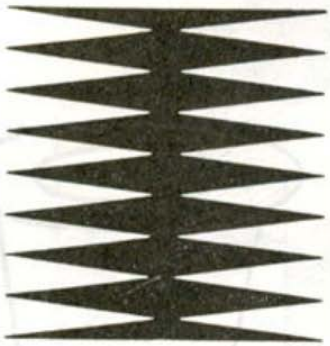
پس چه چیز است که در موقع به اصطلاح « خطای » حواس مارا میفریبد ؟ بدون شک آن چیزی مارا میفریبد که در این مورد معین ، قضاوت میکند، یعنی همانا ما . واقعاً هم اغلب خطاهای باصره فقط و فقط بسته به آنستکه ما نه فقط می‌بینیم ، بلکه بی اختیار قضاوت هم میکنیم ، ضمناً قضاوتی که باعث گمراهی ما میشود. پس ، این خطای قضاوت است نه خطای حواس .

لوکرتسی شاعر عهد باستان در دو هزار سال پیش گفته :

دیدگان درک سرشت جسم را قادر نیند ،
پس خطای عقل را بر دیدگان نسبت مده .



شکل ۱۳۲ — کدام یک از دو تصویر پهن‌تر است، تصویر سمت راست یا سمت چپ؟



شکل ۱۳۳ — ارتفاع این تصویر بیشتر است یا عرض آن؟

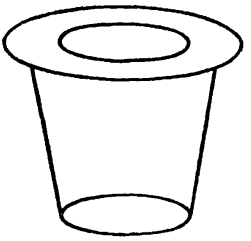
مثلاً خطای باصرهٔ شکل ۱۳۲ را که بر همه معلوم است، مورد بررسی قرار میدهیم. با اینکه در این شکل هر دو تصویر از مربع‌های کاملاً مساوی تشکیل یافته‌اند، تصویر سمت چپ باریک‌تر از تصویر سمت راست به نظر می‌آید. علت این پدیده آنستکه ما ارتفاع تصویر سمت چپ را با جمع کردن غیر ارادی فواصل جداگانه تخمین میزنیم، به این دلیل ارتفاع تصویر بیشتر از عرض آن به نظرمان می‌آید. بر عکس، در تصویر سمت راست به علت همان قضاوت غیر ارادی، عرض تصویر بیشتر از طول آن به نظر می‌آید. به همین دلیل در شکل ۱۳۳ ارتفاع تصویر بیشتر از عرض آن به نظرمان می‌آید.

خطای باصره سودمند برای خیاط‌ها

اگر بخواهید خطای باصره‌ای را که هم اکنون توصیف کردیم، در بارهٔ تصاویر بزرگتری که نمیتوان در آن واحد تمام آن را دید به کار ببرید، بدانید که با ناکامی روبرو میشوید. همه میدانند که اگر آدم قدکوتاه و چاق لباسی با راه‌های عرضی بپوشد، باریک‌تر و لاغرتر به نظر نمی‌آید، بلکه برعکس، چاق‌تر به نظر می‌آید، و اگر آدم چاق لباسی با راه‌ها یا چین‌های طولی بپوشد، چاقی وی تا حدودی از نظرها پنهان میماند.

علت این تضاد چیست؟ علت آنستکه وقتی به اینگونه لباس‌ها نگاه میکنیم، نمیتوانیم در یک نظر، بدون حرکت چشم تمام آن را ببینیم و بی اختیار نگاهمان را در طول راه‌ها حرکت میدهیم. فشاری که در ضمن حرکت به عضلات چشم وارد می‌آید، سبب میشود که بی‌اراده اندازه‌های جسم را در طول راه ها بزرگتر از آنچه هست تصور کنیم. ما عادت کرده‌ایم تصور در بارهٔ اجسام بزرگ را که در زاویهٔ دیدمان جا نمیگیرند، با فشاری که بر عضلات چشم وارد می‌آید، مربوط کنیم. اما وقتی به تصویر کوچک راهراهی نگاه میکنیم، چشممان بی حرکت میماند و بر عضلات آن فشاری نمی‌آید.

کدام یک بزرگ تر است ؟



شکل ۱۳٤ — کدام بیضی بزرگ‌تر است: بیضی بالائی داخلی یا بیضی پائینی؟

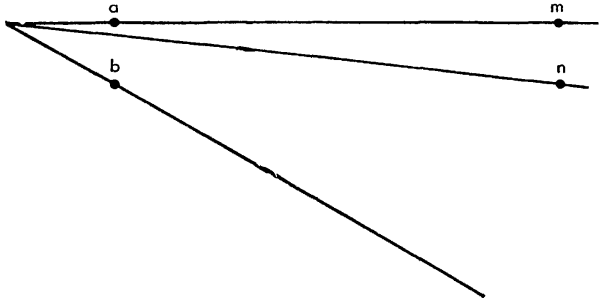
کدام یک از دو بیضی شکل ۱۳٤ بزرگ‌تر است : بیضی پائینی یا بیضی بالائی داخلی ؟ به سختی میتوان این فکر را از سر بیرون کرد که بیضی پائینی بزرگ‌تر از بیضی بالائی است . در صورتیکه هر دو بیضی مساوی هستند و فقط وجود بیضی بزرگی که بیضی بالائی را احاطه کرده است ، سبب میشود که بیضی داخل آن کوچک تر از بیضی پائینی به نظر بیاید .

این امر که تمام تصویر نه مسطح ، بلکه سه‌بعدی و به شکل سطل به نظر می‌آید نیز سبب تشدید خطای باصره میشود ، بیضی ها بی‌اختیار به منظرهٔ دایره‌هائی که از رویرو به آنها نگاه کنیم ، تبدیل میشوند و دو خط مستقیم پهلوئی به دیواره‌های سطل .

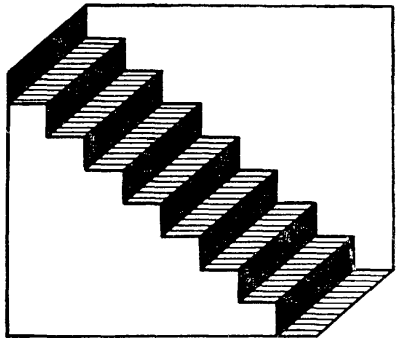
در شکل ۱۳۵ فاصلهٔ میان دو نقطهٔ a و b بیشتر از فاصلهٔ میان دو نقطهٔ m و n به نظر می‌آید . وجود خط مستقیم سومی که از رأس همان زاویه کشیده شده ، سبب تشدید خطای باصره میگردد .

نیروی تصور

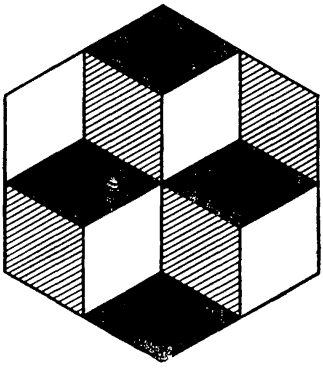
بطوریکه گفته شد ، بیشتر خطاهای باصره بسته به آن است که ما نه فقط نگاه میکنیم ، بلکه ضمن دیدن قضاوت هم میکنیم . فیزیولوژیست ها میگویند : « ما با چشم نگاه نمیکنیم ، بلکه با مغز نگاه میکنیم » . وقتی با خطاهای باصره‌ای که در آن تصورات بیننده آگاهانه در جریان دید شرکت میورزد آشنا شدید ، شما نیز با کمال میل با این گفته موافقت میکنید .



شکل ۱۳۵ — کدام فاصله بیشتر است: ab یا mn ؟

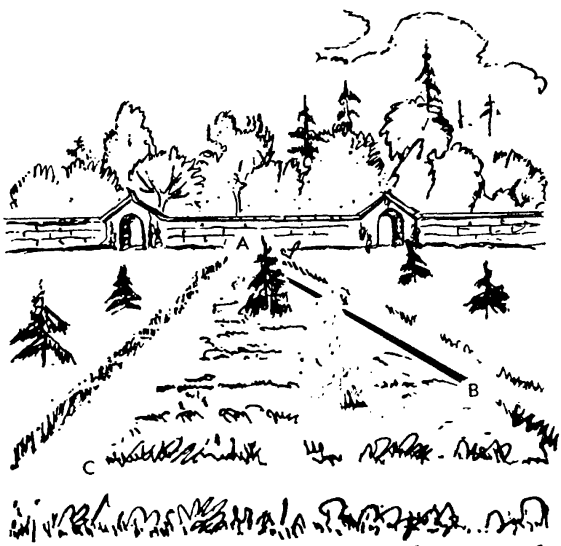


شکل ۱۳۶ — در این شکل چه چیز می‌بینید — پلکان یا فرورفتگی رف‌سانند، یا نوار کاغذی که به شکل فانوس تا شده است؟



شکل ۱۳۷ — در این شکل مکعب‌ها چگونه قرار دارند؟ کجا دو مکعب هست — در پایین یا در بالا؟

به شکل ۱۳۶ نظر بیاندازید. اگر این شکل را به دیگران نشان بدهید و بپرسید در این شکل چه تصویر شده است، سه گونه جواب خواهید شنید. بعضی خواهند گفت که این پلکان است، برخی خواهند گفت که فرورفتگی رف‌سانند در دیوار است و بالاخره عده‌ای دیگر خواهند گفت این نوار



شکل ۱۳۸ — کدام فاصله بیشتر است — AB یا AC ؟

کاغذی است که به شکل فانوس تا کرده و اریب روی زمینهٔ مربع سفیدی گسترده‌اند.

با اینکه عجیب به نظر می‌آید، اما هر سه جواب درست است! خود شما نیز اگر ضمن نگاه کردن به شکل نگاهتان را به نحوهای مختلف متوجه شکل بکنید، میتوانید هر سه تصویر نامبردهٔ بالا را ببینید. قبل از همه، ضمن نگاه کردن به شکل نگاهتان را به قسمت سمت چپ آن متوجه کنید، آنوقت پلکان خواهید دید. اگر نگاهتان روی شکل از راست به چپ بلغزد، فرورفتگی رف‌مانند می‌بینید و اگر نگاهتان بطور اریب از گوشهٔ راست پائینی به گوشهٔ چپ بالائی در طول قطر مربع حرکت کند، نوار کاغذی می‌بینید که به شکل فانوس تا شده است.

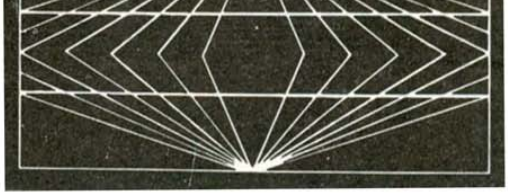
ضمناً وقتی مدت زیادی به شکل نگاه کنید، چون خسته میشوید، بی‌اراده گاه یک تصویر و گاه تصویر دیگر و گاه تصویر سوم را خواهید دید.

شکل ۱۳۷ نیز دارای همین ویژگی‌ها است.

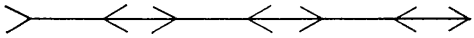
خطای باصره شکل ۱۳۸ جالب است، ما بی‌اختیار تصور میکنیم که فاصله AB کمتر از فاصله AC است، در صورتیکه مساوی هستند.

باز هم چند خطای باصره

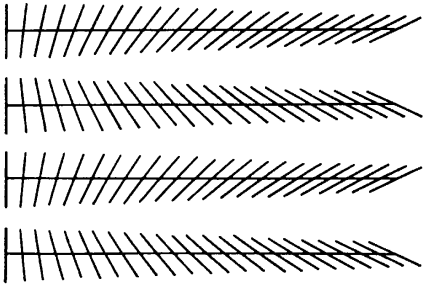
ما نمیتوانیم علت همهٔ انواع خطاهای باصره را توضیح بدهیم. گاهی حتی نمیتوان پی برد که در مغز ما چه استنباطاتی روی میدهد که سبب این یا آن خطای باصره میشود. در شکل ۱۳۹ بطور وضوح دو قوس می‌بینیم که برآمدگی آنها رو به یکدیگر واقع است. آدم حتی شک هم نمیکند که واقعاً چنین است. اما کافی است خط‌کش را روی این دو قوس تصوری بگذاریم، یا شکل را در سطح چشم نگاه داریم و در طول به خط‌ها نگاه کنیم، تا یقین حاصل کنیم که خط مستقیم هستند، نه قوس. توضیح علت این خطای باصره چندن آسان نیست.



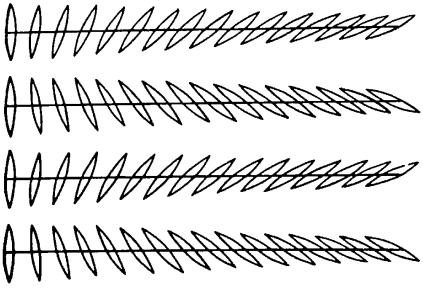
شکل ۱۳۹ — گرچه دو خط وسطی که از راست به چپ کشیده شده، دو قوس به نظر می‌آیند که برجستگی آنها رو به یکدیگر است، اما در واقع دو خط مستقیم موازی هستند. این خطای باصره از بین میرود: ۱ — اگر شکل را تا سطح چشم بالا بیاوریم و طوری به آن نگاه کنیم که نگاهمان در طول این دو خط بلغزد، ۲ — اگر نوک مداد را در نقطه‌ای از شکل بگذاریم و نگاهمان را در آن نقطه متمرکز کنیم.



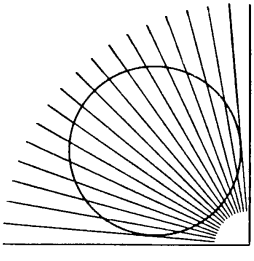
شکل ۱۴۰ — آیا این خط مستقیم به شش قسمت مساوی تقسیم شده است؟



شکل ۱۴۱ — خطوط مستقیم موازی، غیر موازی به نظر می‌آیند.



شکل ۱۴۲ — خطای باصرهٔ شکل ۱۴۱ به صورت دیگر.



شکل ۱۴۳ — آیا این دایره است؟

شکل ۱۴۴ — خطای باصرهٔ معروف به «چپق». با اینکه خطوط کوچک سمت راست و سمت چپ مساوی هستند، خطوط سمت راست کوتاه‌تر به نظر می آیند.

به چند خطای باصرهٔ دیگر از همین نوع اشاره میکنیم. در شکل ۱٤۰ به نظر می‌آید که خط مستقیم به قسمت‌های نامساوی تقسیم شده است، اما اگر اندازه بگیریم، می‌بینیم که همهٔ قسمت‌ها مساوی هستند. در شکل ۱٤۱ و ۱٤۲ خطوط مستقیم موازی، غیر موازی به نظر می‌آیند. در شکل ۱٤۳ دایره، بیض شکل به نظر می‌آید.

جالب است که اگر خطاهای باصره‌ای را که در شکل های ۱٤۰ و ۱٤۱ و ۱٤۲ به آنها اشاره شد، در نور جرقهٔ برق نگاه کنیم، خطای باصره از بین میرود. ظاهراً این خطاهای باصره با حرکت چشم بستگی دارند، چون مدت جرقه بسیار کم است، برای حرکت چشم فرصتی باقی نمیماند.

خطای باصره شکل ۱٤٤ نیز بسیار جالب است. به این شکل نگاه کنید و بگوئید: کدام خط‌ها درازتر هستند — خط‌های سمت راست یا خط‌های سمت چپ؟ با اینکه خط‌های هر دو طرف کاملاً مساوی هستند، خط‌های سمت چپ درازتر به نظر می‌آیند*. این خطای باصره به خطای باصره «چپق» معروف است.

برای علل این خطاهای باصرهٔ جالب توضیحات فراوان و گوناگون داده‌اند، اما این توضیحات چندان قانع کننده نیستند و ما از نقل آنها صرفنظر میکنیم. ظاهراً یک چیز مسلم است، و آن اینکه علت این خطاهای باصره در قضاوت غیر ارادی، در «علامتی نشان دادن» غیر ارادی عقل که مانع میشود ما آن چیزی را که واقعاً هست ببینیم، نهفته است.

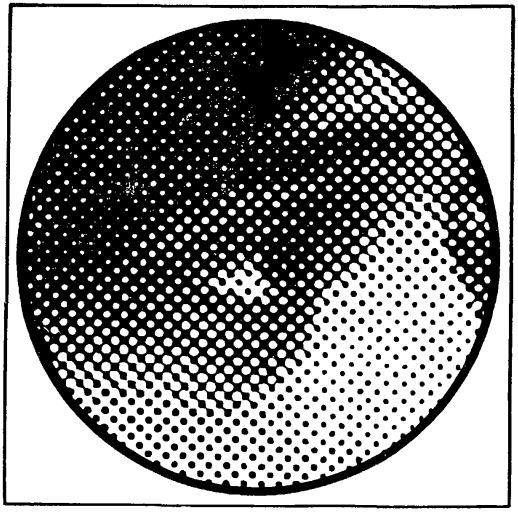
این چیست؟

اگر به شکل ۱٤۵ نگاه کنید، گمان نمیرود فوراً بتوانید پی ببرید که در این شکل چه چیزی تصویر شده است. لابد خواهید گفت: «این یک تور سیاه است و بس». اما کتاب را به حالت قائم روی میز بگذارید، ۳ — ٤ قدم عقب بروید و از آنجا نگاه کنید. یک چشم آدم خواهید دید. جلو بیائید، باز هم همان تور سیاه را خواهید دید که مبین هیچ چیز نیست.

البته گمان میکنید که این شکل تردستی ماهرانهٔ یک گراورساز تیزهوش و هنرمند است. نخیر، این فقط یک نمونهٔ ساده و غیر دقیق از آن خطای باصره‌ای است که همیشه هنگام تماشای تصاویر به اصطلاح «سایه روشن» یا «اتوتیپی» به آن دچار میشویم. در کتاب‌ها و مجله‌ها زمینهٔ تصویر همیشه یکپارچه بنظر ما میاید و اما اگر با ذره‌بین آنرا نگاه کنید، توری را مانند توریکه در شکل ۱٤٤ نشان داده شده، خواهید دید. این تصویر که موجب تعجب شما شده است، چیزی نیست جز قسمتی از یک تصویر سایه روشن معمولی که در حدود ۱۰ بار بزرگ کرده‌اند. تفاوت امر فقط در آنستکه وقتی چشمه‌های تور بسیار ریز باشند، از فاصلهٔ کم، از فاصله‌ای که معمولاً

---

* ضمناً این شکل، شکل قضیهٔ معروف هندسه بنام قضیه کاوالیری است (سطح دو قسمت «چپق» مساوی هستند).



شکل ۱٤٥ — اگر از دور به این تصویر تورمانند نگاه کنیم، به آسانی میتوانیم در آن چشم و قسمتی از بینی نیم‌رخ زنی را که به طرف راست متوجه است، تشخیص بدهیم.

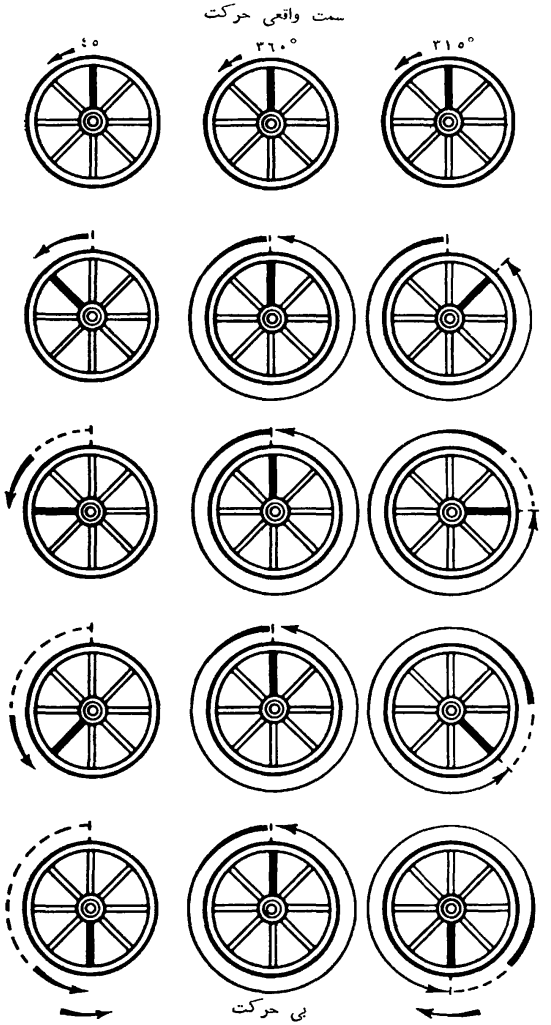
کتاب را هنگام مطالعه نگاه میداریم ، به صورت زمینهٔ یکپارچه‌ای درهم می‌آمیزند ، اما وقتی چشمه‌های تور درشت است ، درهم‌آمیزی در فاصلهٔ بیشتری صورت میگیرد . اگر خوانندگان گرامی آنچه را در بارهٔ زاویهٔ دید گفتیم به یاد بیاورند ، مطالب بالا را به آسانی میفهمند .

چرخ های غیر عادی

آیا برایتان پیش‌آمد کرده است که از لای شکاف‌های بین تخته‌های نرده یا ، بهتر از آن ، روی پرده سینما به پره‌های چرخ های گاری یا اتومبیلی که تند حرکت میکند ، نگاه کنید ؟ لابد در این ضمن متوجه پدیدهٔ عجیبی شده‌اید که اتومبیل با سرعت سرسام‌آوری میرود ، اما چرخ ها خیلی آهسته میچرخند و گاهی اصلاً نمیچرخند . علاوه بر این ، گاهی حتی در جهت عکس میچرخند !

این خطای باصره بقدری غیر عادی است که باعث حیرت همهٔ کسانی میشود که نخستین بار آن را می‌بینند .

علت این پدیده به قرار زیر است : وقتی از لای شکاف‌های بین تخته‌های نرده به چرخش چرخ نگاه میکنیم و نگاهمان را در طول نرده‌ها تغییر مکان میدهیم ، پره‌های چرخ را بطور مداوم نمی‌بینیم ، بلکه در فاصله‌های زمانی مساوی بطور متناوب می‌بینیم ، زیرا تخته‌های نرده در هر لحظه آنها را از نظر ما پنهان میدارند . تصویر چرخ ها در روی فیلم سینما نیز ، درست همینطور ، در لحظات جداگانه (در هر ثانیه ۲٤ کادر) متناوباً ثبت میشود .



شکل ۱۴۶ — علت حرکت معماآمیز چرخ ها روی پردهٔ سینما.

در اینجا سه مورد امکان‌پذیر است که هر سه را یکی پس از دیگری بررسی میکنیم .

اولاً — ممکن است چرخ در فاصله این مدت چند دور تمام بزند ، یعنی تعداد دورها عدد صحیح باشد ، هیچ تفاوت ندارد که تعداد دورها چقدر باشد ، ۲ یا ۲۰ ، فقط باید عدد صحیح باشد . در اینصورت پره‌های چرخ در عکس بعدی در همان حالتی قرار خواهند گرفت که در عکس اول بوده‌اند . در فاصله بعدی باز هم چرخ چند دور تمام میزند (مدت فاصله و سرعت اتومبیل تغییر نمیکند) و حالت پره‌ها نیز مانند سابق میماند . وقتی ما همیشه پره‌ها را در یک حالت ببینیم نتیجه میگیریم که چرخ اصلاً نمیچرخد (شکل ۱٤٦ ، ستون وسط) .

ثانیاً — چرخ در هر فاصله چند دور تمام و قسمت بسیار کوچکی از یک دور را میزند . وقتی ما این عکس‌ها را یکی پس از دیگری می‌بینیم دورهای کامل اصلا به نظرمان نمی‌آید ، فقط چرخش آهسته چرخ (هر بار قسمت کوچکی از یک دور) را می‌بینیم . در نتیجه به نظرمان می‌آید که باوجود سرعت زیاد اتومبیل ، چرخ ها آهسته میچرخند .

ثالثاً — چرخ در فاصلهٔ میان دو عکس قدری کمتر از دور کامل میزند (مثلاً بطوری که در ستون سمت راست شکل ۱٤٦ نشان داده شده ، ۳۱۵ درجه میچرخد) . آنوقت به نظر می‌آید که هر پره معین به طرف عکس میچرخد . این تأثیر خطای باصره تا وقتی که سرعت چرخش چرخ تغییر نکند ، ادامه مییابد .

میتوان برخی جزئیات دیگر نیز به توضیحات بالا افزود . در مورد اول برای ساده کردن مطلب گفتیم که چرخ باید دور کامل بزند . اما چون پره‌های چرخ به یکدیگر شبیه هستند ، کافی است که چرخ به اندازه اعداد صحیح فاصله میان پره‌ها دور بزند .

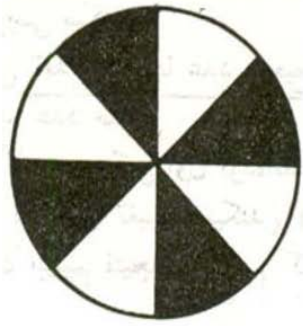
این مطلب در باره دو مورد دیگر نیز صدق میکند .

موارد شگفت‌آور دیگر نیز ممکن است پیش بیاید . مثلاً اگر روی چنبر چرخ علامتی باشد و چون پره‌های چرخ یکسانند ، ممکن است اتفاق بیافتد که چنبر چرخ به یک طرف بچرخد و پره‌ها به طرف عکس ! اگر روی یکی از پره‌ها علامتی باشد ، آنوقت ممکن است پره‌ها در جهت عکس حرکت علامت حرکت کنند ، بطوری که گوئی علامت از روی یک پره به روی پره دیگر می‌پرد .

وقتی در سینما صحنه‌های معمولی را نشان میدهند ، این خطای باصره به طبیعی بودن تأثیرات چندان زیانی نمیرساند . اگر بخواهند روی پرده سینما مثلاً کار یک ماشین‌را نشان بدهند ، آنوقت ممکن است این خطای باصره سبب سوء تفاهمات جدی بشود و حتی کار ماشین را به صورتی کاملاً دگرگون جلوه بدهد .

بینندهٔ موشکاف وقتی روی پرده سینما چرخ ظاهراً بی‌حرکت اتومبیلی را که با سرعت در حرکت است می‌بیند ، به آسانی میتواند پره‌های چرخ‌را بشمارد و تا حدودی حساب کند که چرخ در هر ثانیه چند دور میزند . سرعت معمولی نشان دادن فیلم سینما ۲٤ کادر در ثانیه است . اگر تعداد پره‌های چرخ اتومبیل ۱۲ باشد ، تعداد دورهای آن در ثانیه ۲٤ : ۱۲ یعنی ۲ دور در ثانیه یا یک دور در $\frac{۱}{۲}$ ثانیه خواهد بود . این حد اقل تعداد دورها است ، اما ممکن است تعداد دورهای کامل بیش از این (یعنی دو برابر ، سه برابر و غیره) باشد .

اگر طول قطر چرخ را تخمین بزنیم ، میتوانیم سرعت حرکت اتومبیل را هم حساب کنیم . مثلاً ،



در مورد بالا، اگر قطر چرخ ۸۰ سانتیمتر باشد، سرعت حرکت اتوبیل تقریباً ۱۸ (یا ۳۶، یا ۵۴...) کیلومتر در ساعت خواهد بود.

در صنعت از این خطای باصره برای حساب کردن تعداد دورهای محوری که با سرعت زیاد میچرخد، استفاده میکنند. اصول این محاسبه را توضیح میدهیم. مقدار نور چراغ برقی که با برق متناوب روشن میشود، ثابت نیست. در هر یک صدم ثانیه نور ضعیف میشود، البته در شرایط عادی هیچگونه تغییری در نور چراغ مشاهده نمیگردد. اما فرض میکنیم که با این نور صفحه‌ای را که در شکل ۱۴۷ تصویر شده، روشن میکنند. اگر صفحه با سرعتی بچرخد که در هر یک صدم ثانیه $\frac{1}{4}$ دور بزند، آنوقت پدیده غیر منتظره‌ای روی میدهد، چشم بجای دایرهٔ خاکستری رنگ یکدست معمولی، قطاع های سیاه و سفید را به وضوح می‌بیند، چنانکه گوئی صفحه اصلاً حرکت نمیکند.

گمان میکنم علت این پدیده برای خوانندگانی که علت خطای باصره در مورد چرخ های اتوبیل را فهمیده‌اند، روشن باشد. به آسانی نیز میتوان پی برد که چگونه میتوان این پدیده را برای حساب کردن تعداد دورهای محوری که بسرعت میچرخد، به کار برد.

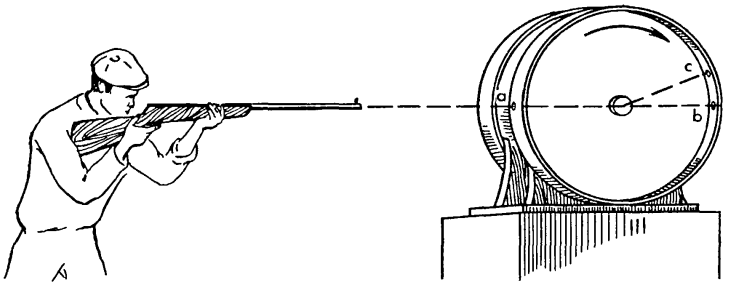
«میکروسکوپ زمان» در تکنیک

در کتاب اول «فیزیک برای سرگرمی» «ذره‌بین زمان» را که بر اساس استفاده از دوربین فیلم‌برداری ساخته شده، شرح دادیم. در اینجا راه دیگر رسیدن به همان نتیجه را با استفاده از پدیده‌ای که هم اکنون بررسی کردیم، شرح میدهیم.

حالا دیگر میدانیم که وقتی صفحهٔ دارای قطاع های سیاه و سفید (شکل ۱۴۷) در هرثانیه ۲۵ دور بچرخد و در هر ثانیه با ۱۰۰ جرقه لامپ برق روشن شود، بی‌حرکت به نظر می‌آید. اما فرض کنید که تعداد جرقه‌ها در ثانیه برابر ۱۰۱ است. حالا که تعداد جرقه‌ها در ثانیه زیادتر شده است، صفحه در فاصلهٔ میان دو جرقه، مانند گذشته، یک چهارم دور نمیچرخد، بلکه کم‌تر از یک چهارم دور می‌چرخد و در نتیجه قطاع مربوطه به حالت اولیهٔ خود برنمیگردد.

چشم صفحه‌را در حالتی که به اندازه یک صدم محیط دایره عقب مانده است، می‌بیند. در جرقه بعدی باز هم صفحه به اندازهٔ یک صدم محیط عقب تر به نظر می‌آید و الخ. در نتیجه به نظر می‌آید که صفحه به عقب می‌چرخد و در هر ثانیه یک دور میزند. حرکت ۲۵ بار کندتر شده است.

به آسانی میتوان فهمید که چگونه میتوان همین حرکت کند را نه در جهت عکس، بلکه در جهت اصلی دوران صفحه دید. برای این کار باید تعداد جرقه‌ها را نه زیاد، بلکه کم کرد. مثلاً وقتی تعداد جرقه‌ها در ثانیه ۹۹ باشد، به نظر می‌آید که صفحه به طرف جلو می‌چرخد و در هر ثانیه یک دور میزند.



شکل ۱۴۸ — طرز اندازه‌گیری سرعت گلوله.

ما در اینجا «میکروسکوپ زمانی» داریم که سیر زمان را ۲۰ بار کندتر میکند. اما میتوانیم بیش از این هم کند بکنیم. مثلاً اگر تعداد جرقه‌ها را به ۹۹۹ بار در ۱۰ ثانیه (یعنی ۹۹/۹ بار در ثانیه) برسانیم، آنوقت به نظر ما می‌آید که صفحه در هر ۱۰ ثانیه یک دور میچرخد، یعنی سیر زمان ۲۵۰ بار کندتر میشود.

هر حرکت متناوب سریعی را میتوان به هر درجه‌ای که بخواهیم، برای چشم خود کند کنیم. این کار امکان میدهد که حرکت دستگاههای فوق‌العاده سریع را بوسیله «میکروسکوپ زمان» ۱۰۰ بار، ۱۰۰۰ بار و بالاخره هر قدر بخواهیم کند کنیم و به آسانی ویژگی‌های حرکت آن را مورد بررسی و آموزش قرار دهیم *.

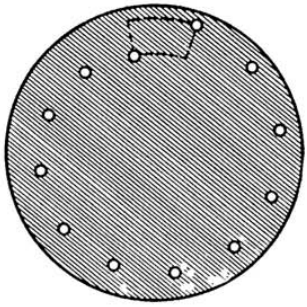
در پایان طرز اندازه‌گیری سرعت گلوله را بر اساس امکان تعیین دقیق تعداد دورهای صفحهٔ در حال چرخش، شرح میدهیم. روی محوری که به سرعت میچرخد صفحهٔ مقوائی میکشند که روی آن درجه‌بندی شده و لبه‌هایش را تا کرده‌اند، در نتیجه صفحه شکل استوانهٔ بی‌دری را دارد (شکل ۱۴۸). تیرانداز طوری به این جعبهٔ مقوائی تیراندازی میکند که گلوله در امتداد قطر استوانه باشد و دیواره‌های آن را از دو طرف سوراخ کند. اگر جعبه بی حرکت بود، هر دو سوراخ در دو انتهای یک قطر استوانه میبود. اما جعبه میچرخد و در مدتی که گلوله از یک انتها به انتهای دیگر میرسد، جعبه قدری چرخیده و بجای نقطهٔ b نقطهٔ c در مسیر گلوله قرار گرفته است. تعداد دورهای جعبه و طول قطر آن را میدانیم، پس میتوانیم از روی طول قوس bc سرعت گلوله را حساب کنیم. این یک مسأله ساده هندسه است که خوانندگان با دانستن قدری ریاضیات به آسانی از عهدهٔ حل آن برمی‌آیند.

---

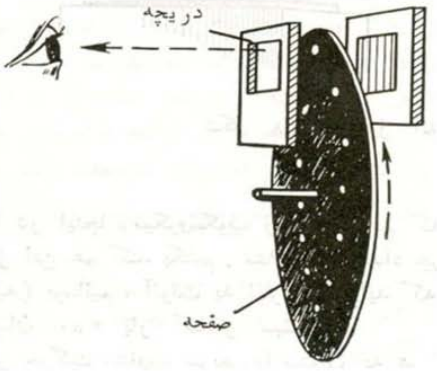
* دستگاه‌های به نام «استروبوسکپ یا «چرخش‌سنج» که در عمل به کار میروند و برای اندازه‌گیری بسامد جریان‌های با تناوب بسیار زیاد از آنها استفاده میشود، بر اساس همین اصل ساخته شده است. اندازه‌گیری با استروبوسکپ نتایج فوق‌العاده دقیق میدهد (مثلاً دقت اندازه‌گیری با استروبوسکپ الکترونی به ۰/۰۰۱ درصد میرسد). (هیأت تحریریه).

صفحهٔ نیپکوف

صفحهٔ به نام «صفحهٔ نیپکوف» که در نخستین دستگاههای تلویزیون به کار میرفت، نمونهٔ بسیار جالب استفاده از خطای باصره در صنعت بود. در شکل ۱۴۹ دایرهٔ یکپارچه‌ای می‌بینید که نزدیک به محیط آن ۱۲ سوراخ به قطر ۲ میلیمتر تعبیه شده است. سوراخ‌ها روی منحنی حلزونی قرار

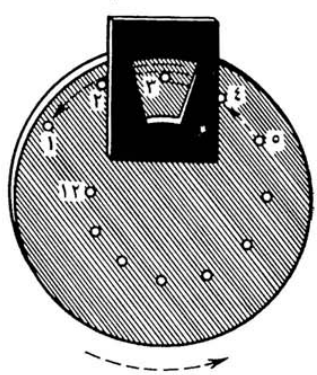


شکل ۱۴۹.



شکل ۱۵۰.

دارند و هر سوراخ نسبت به سوراخ مجاور به اندازه قطر سوراخ به مرکز دایره نزدیکتر است. این صفحه در نظر اول گوئی هیچ چیز جالبی ندارد. اما صفحه را روی محوری نصب کنید، جلو آن دریچه‌ای و در آن سوی آن تابلوئی به اندازه دریچه قرار بدهید (شکل ۱۵۰). حالا اگر صفحه را به سرعت بچرخانید، پدیده غیر منتظره‌ای صورت میگیرد. صفحهٔ بی‌حرکت جلو تابلو را سد کرده بود، اما وقتی صفحه میچرخد، تابلو از دریچهٔ جلوی کاملاً و بطور وضوح دیده میشود. حرکت صفحه را کند کنید، تابلو مبهم و غیر واضح دیده میشود و بالاخره وقتی صفحه از حرکت باز ایستاد، تابلو ناپدید میگردد و فقط قسمت کوچکی از آن که جلو سوراخ کوچک به قطر ۲ میلیمتر قرار دارد، دیده میشود.



شکل ۱۵۱.

حالا به بررسی علت این پدیدهٔ معماآمیز می‌پردازیم. صفحه را آهسته میچرخانیم و به عبور هر یک از سوراخ‌ها بطور جداگانه از جلو دریچه توجه میکنیم. دورترین سوراخ از مرکز صفحه از نزدیک انتهای بالائی دریچه میگذرد. اگر صفحه سریع حرکت کند، یک نوار کامل از انتهای بالائی تابلو دیده خواهد شد. وقتی سوراخ بعدی که از

سوراخ اولی قدری پائین‌تر است، به سرعت از جلو دریچه بگذرد، یک نوار دیگر از تابلو که به نوار اولی متصل است، دیده خواهد شد (شکل ۱۵۱). از سوراخ سوم نوار سوم دیده میشود و الخ. در نتیجه اگر صفحه به حد کافی سریع بچرخد، تمام تابلو دیده خواهد شد. گوئی همیشه جلو دریچه سوراخی مساوی دریچه از صفحه بریده شده است.

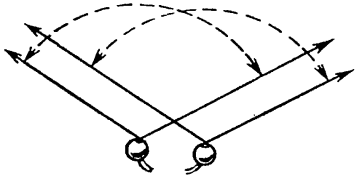
خود شما نیز میتوانید «صفحه نیپکوف» را تهیه کنید. برای سریع چرخاندن صفحه میتوانید به دور محور آن قیطانی بپیچید، البته اگر از یک موتور برقی کوچک استفاده کنید، خیلی بهتر است.

چرا خرگوش چپ‌چشم است؟

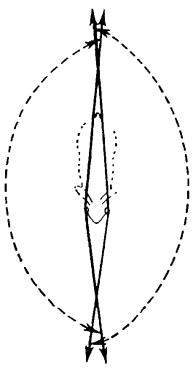
انسان یکی از موجودات بسیار معدودی است که هر دو چشمشان میتواند در آن واحد یک جسم معین را ببیند. میدان دید چشم راست فقط کمی با میدان دید چشم چپ تطابق ندارد.

اکثریت حیوانات با هر یک از چشم‌های خود جداگانه نگاه میکنند. آنها اجسام را مانند ما واضح و روشن نمی‌بینند، اما در عوض میدان دیدشان بمراتب از میدان دید ما وسیع‌تر است. در شکل ۱۵۲ میدان دید آدم نشان داده شده است، هر چشم در امتداد افق در حدود ۱۲۰ درجه می‌بیند و زاویه‌های دید دو چشم آدم تقریباً بر یکدیگر منطبق هستند (فرض میشود که چشم‌ها بی‌حرکت هستند).

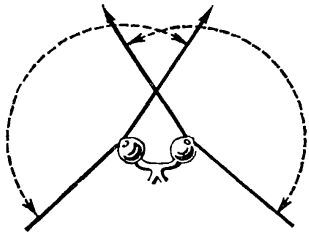
در شکل ۱۵۳ میدان دید خرگوش نشان داده شده است. شکل ۱۵۲ را با این شکل مقایسه کنید. خرگوش بی‌آنکه سرش را برگرداند، میتواند با چشم‌های کاملاً متباعدش نه فقط چیزهائی را که در جلوش هست، بلکه چیزهائی را که پشت سرش قرار دارد، نیز ببیند. میدان دید هر یک از چشم‌های خرگوش هم در جلو و هم در عقب باهم تلاقی میکنند! حالا میفهمید که چرا نزدیک شدن به خرگوش از عقب، طوری که شما را نبیند، اینقدر مشکل است. در عوض خرگوش،



شکل ۱۵۲ — میدان دید هر دو چشم انسان.



شکل ۱۵۳ — میدان دید هر دو چشم خرگوش.



شکل ۱۰۴ — میدان دید هر دو چشم اسب.

بطوری که در شکل ۱۰۳ نشان داده شده، چیزهائی را که مستقیماً جلو پوزه‌اش قرار داشته باشد اصلاً نمی‌بیند و برای آنکه اجسام کاملاً نزدیک را ببیند، مجبور است سرش را برگرداند.

تقریباً کلیه حیوانات سم‌دار و نشخوارکننده قابلیت اینگونه دید «همه‌جانبه» را دارند. در شکل ۱۰۴ میدان دید دو چشم اسب نشان داده شده است. این دو میدان دید در پشت سر اسب تلاقی نمیکنند، اما کافی است که اسب سرش را کمی به یک طرف برگرداند تا چیزهائی را که پشت سرش قرار دارند، نیز ببیند. البته تصاویر بصری اینگونه حیوانات چندان واضح و روشن نیستند ولی در عوض کوچکترین حرکتی که در اطراف روی بدهد، از نظر حیوان پنهان نمی‌ماند. درندگان فرز و چالاک که معمولاً خودشان طرف مهاجم هستند، قابلیت دیدن همهٔ اطراف خودرا ندارند. آنها اجسام را در آن واحد با هر دو چشم می‌بینند و این امر به آنها امکان میدهد که مسافت پرش را به دقت تخمین بزنند.

چرا در تاریکی همهٔ گربه‌ها خاکستری هستند؟

فیزیسین به این سؤال جواب خواهد داد: «در تاریکی همهٔ گربه‌ها سیاه هستند»، زیرا وقتی نور نباشد، هیچ چیزی اصلاً دیده نمیشود. اما در ضرب‌المثل منظور نه تاریکی محض، بلکه تاریکی به معنای معمولی کلمه، یعنی روشنائی بسیار ضعیف است. این ضرب‌المثل بطور دقیق چنین است: شب همهٔ گربه‌ها خاکستری هستند*. معنای اولیه و غیر مجازی ضرب‌المثل این است که وقتی روشنائی کافی نباشد، چشم ما از تشخیص رنگ‌ها عاجز است و همه چیز خاکستری رنگ به نظر می‌آید.

آیا این مطلب صحیح است؟ آیا واقعا در هوای نیمه‌تاریک، در هوای گرگ و میش، هم درفش سرخ و هم برگ‌های سبز بطور یکسان خاکستری به نظر می‌آیند؟ به آسانی میتوان به صحت این مطلب یقین حاصل کرد. کسانی که در هوای گرگ و میش به اشیاء رنگین به دقت نگریسته‌اند، البته متوجه شده‌اند که تفاوت‌های رنگی از میان میرود و کلیهٔ اشیاء — هم پتوی سرخ، هم کاغذهای دیواری آبی، هم گل‌های بنفش و هم برگ‌های سبز — همه کم و بیش خاکستری تیره به نظر می‌آیند.

---

* معنای مجازی این ضرب المثل در زبان روسی بسیار نزدیک به معنای مجازی ضرب‌المثل «شب گربه سمور مینماید» در زبان فارسی است و باید آن را با ضرب المثل فارسی ترجمه کرد، اما در اینجا معنای اولیه و حقیقی ضرب المثل حائز اهمیت است، اینستکه تحت‌اللفظی ترجمه شد (مترجم).

چخوف نویسنده بزرگ روسی که ضمناً طبیب نیز بوده است، در داستان «نامه» مینویسد: «اشعهٔ خورشید از خلال پرده‌های انداخته به آنجا نفوذ نمیکرد، اطاق نیمه‌تاریک بود و همهٔ گل‌های دسته‌گل بزرگ یک‌رنگ به نظر می‌آمدند».

آزمایش های دقیق فیزیکی این مطلب را کاملاً ثابت میکند. اگر سطح رنگینی را با نور سفید ضعیفی (یا سطح سفیدی را با نور رنگین ضعیفی) روشن کنیم و بتدریج بر شدت نور بیافزائیم، چشم در ابتدا فقط رنگ خاکستری می‌بیند و رنگ‌های دیگر را تشخیص نمیدهد، و فقط پس از آنکه روشنائی تا درجهٔ معینی شدت یافت، بتدریج تشخیص میدهد که سطح رنگین است. این درجه روشنائی را «آستان پائینی احساس رنگی» مینامند.

بدین ترتیب، معنای تحت اللفظی و کاملاً صحیح این ضرب‌المثل، که در بسیاری از زبان‌ها وجود دارد، اینستکه پائین‌تر از آستان احساس رنگی همهٔ اشیاء خاکستری رنگ به نظر می‌آیند.

کشف شده است که «آستان بالائی احساس رنگی» نیز وجود دارد. وقتی نور فوق‌العاده شدید باشد، بازهم چشم از تشخیص رنگ‌ها عاجز میشود، همهٔ سطوح رنگین بطور یکسان سفید به نظر می‌آیند.

آیا اشعهٔ سرما وجود دارد؟

نظری شایع است که همانطور که اشعهٔ گرم‌کننده وجود دارد، اشعهٔ سردکننده، اشعهٔ سرما نیز وجود دارد. مثلا، این واقعیت که همانطورکه بخاری در اطراف خود گرما به وجود می‌آورد، یک تکه یخ هم عیناً به همان گونه در اطراف خود سرما میپراکند، آدم را به فکر اشعهٔ سرما می‌اندازد. آیا این واقعیت حاکی از آن نیست که همانطور که از بخاری اشعهٔ گرم‌کننده خارج میشود، از یخ هم اشعهٔ سرما خارج میشود؟

اما اینگونه تفسیر نادرست است. اشعهٔ سرما وجود ندارد. تحت تأثیر «اشعهٔ سرما» نیست که اشیاء در مجاورت یخ سردتر میشوند، بلکه به آن علت است که مقدار حرارتی که اشیاء گرم در نتیجه اشعه‌پراکنی از دست میدهند، بیش از مقدارحرارتی است که از یخ میگیرند. هم اشیاء گرم و هم یخ سرد در نتیجهٔ تشعشع، گرما پخش میکنند. جسمی که از یخ گرم‌تر است، مقدار گرمائی که میدهد بیش ازآن مقدار گرمائی است که میگیرد. مقدار گرمائی که جسم میگیر کم‌تر از مقدار گرمائی است که میدهد و در نتیجه جسم سرد میشود.

آزمایش بسیار جالبی هست که آدم را باز هم به فکر اشعهٔ سرما می‌اندازد. در تالار درازی جلو دو دیوار مقابل یکدیگر دو آئینهٔ مقعر بزرگ قرار دارد. اگر در نزدیک یکی از آئینه‌ها، در جائی که «کانون» نام دارد، یک منبع گرمای قوی بگذاریم، اشعه‌ای که منبع گرما پخش میکند، در این آئینه منعکس میشوند و به طرف آئینه دیگر میروند، در آئینه دوم دو باره انعکاس مییابند و در یک نقطه، یعنی در «کانون» آن آئینه متمرکز میشوند. اگر کاغذ سیاهی را در آنجا بگذاریم، آتش میگیرد. این آزمایش بطور وضوح بر وجود اشعهٔ گرم‌کننده دلالت میکند.

اما اگر در کانون آئینهٔ اول، به عوض منبع گرما، یک تکه یخ بگذاریم، گرماسنجی که در کانون آئینه دوم قرار داشته باشد، نشان میدهد که آن نقطه سرد است. اما آیا این امر دال برآنستکه یخ اشعهٔ سرد پخش میکند و این اشعه در آئینه منعکس و روی گلولهٔ جیوه‌ای ته گرماسنج متمرکز میشوند؟

نخیر، در این مورد نیز میتوان پدیده را بدون اشعهٔ سرمای اسرارآمیز توضیح داد. مقدار حرارتی که گلوله جیوه‌ای ته گرماسنج در نتیجه تشعشع به یخ میدهد، بیش از مقدار حرارتی است که از آن میگیرد. به این دلیل جیوهٔ داخل گرماسنج سرد میشود.

بدین ترتیب در اینجا نیز هیچ دلیلی نیست که وجود اشعهٔ سرما را ثابت کند و بتوان آن‌را ممکن شمرد. در طبیعت هیچگونه «اشعهٔ سرما» وجود ندارد. هر نوع اشعه‌ای به جسمی که آنها را جذب میکند، انرژی میدهند. برعکس، اجسامی که اشعه پخش میکنند، خودشان سرد میشوند.

فصل دهم

صوت . حرکت موجی

صوت و امواج رادیوئی

سرعت پخش صوت تقریباً یک میلیون بار کمتر از سرعت پخش نور است . از آنجا که سرعت امواج رادیوئی با سرعت پخش نوسانات نوری مساوی است ، صوت یک میلیون بار کندتر از علامات رادیوئی پخش میشود . از اینجا نتیجهٔ جالبی حاصل میشود که مضمون آن در مسأله زیر بیان میگردد : چه کسی زودتر صدای نخستین آکورد پیانونواز را میشنود ، کسی که در تالار کنسرت در فاصلهٔ ۱۰ متری از پیانو نشسته یا کسی که در مسافت ۱۰۰ کیلومتری در آپارتمان خود جلو رادیو نشسته و موزیک را میگیرد ؟

گرچه عجیب به نظر می‌آید ، اما باوجود اینکه فاصلهٔ شنونده رادیو با پیانو ۱۰۰۰۰ بار بیشتر از فاصلهٔ کسی است که در تالار کنسرت نشسته ، شنونده رادیو زودتر صدای نخستین آکورد را میشنود .

واقعاً هم امواج رادیوئی مسافت ۱۰۰ کیلومتری را در $\frac{۱۰۰}{۳۰۰۰۰۰}$ یعنی $\frac{۱}{۳۰۰۰}$ ثانیه طی میکنند اما صوت مسافت ۱۰ متر را در $\frac{۱۰}{۳۴۰}$ یعنی $\frac{۱}{۳۴}$ ثانیه می‌پیماید .

بدین ترتیب می‌بینیم که پخش صوت به وسیلهٔ رادیو تقریباً صد بار کم‌تر از پخش صوت در هوا وقت میخواهد .

صوت و گلوله

وقتی سرنشینان گلولهٔ ژول ورن به سوی ماه به پرواز درآمدند ، بسیار متعجب بودند که صدای تیر توپ غول‌آسائی را که آنها را از دهانهٔ خود به سوی ماه پرتاب کرد ، نشنیدند . آنها انتظاری جز این نمیبایست داشته باشند . هر قدر هم که غرش توپ آنها کرکننده بوده ، باز هم سرعت پخش آن (و بطور کلی مانند هر صوتی در هوا) فقط ۳۴۰ متر در ثانیه بوده است ، اما گلوله با سرعت ۱۱۰۰۰ متر در ثانیه حرکت میکرده است . معلوم است که صدای تیر نمیتوانسته است به گوش سرنشینان گلوله برسد ، زیرا گلوله از صدا جلو می‌افتاده است * .

* سرعت بسیاری از هواپیماهای معاصر از سرعت صوت در هوا بیشتر است (هیأت تحریریه) .

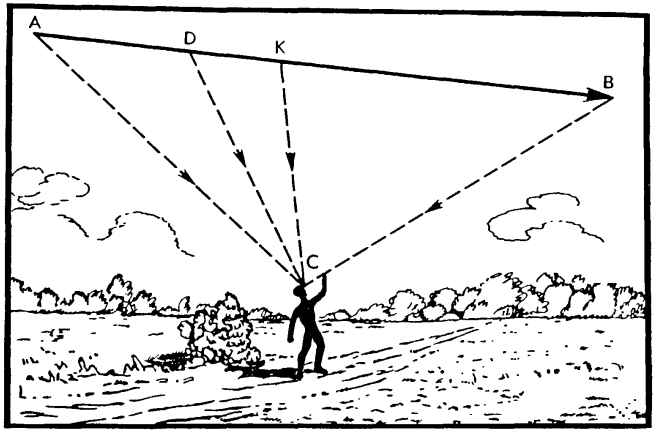
حالا ببینیم این مطلب در مورد گلوله‌های توپ و تفنگ واقعی چگونه است : آیا این گلوله‌ها از صوت سریع‌تر پرواز میکنند ، یا اینکه صوت از گلوله جلو می‌افتد و شخصی را که هدف قرار گرفته از نزدیک شدن گلولهٔ مرگبار باخبر میکند ؟

سرعت گلولهٔ تفنگ‌های معاصر تقریباً سه بار بیشتر از سرعت صوت در هوا ، همانا در حدود ۹۰۰ متر در ثانیه است (سرعت صوت در هوا در صفر درجه ۳۳۲ متر در ثانیه است) . البته صوت با سرعت یکنواخت پخش میشود ، اما سرعت گلوله ضمن پرواز کاهش مییابد . باوجود این در قسمت بیشتری از مسیر خود سریع‌تر از صوت پرواز میکند . از اینجا مستقیماً نتیجه میشود که اگر هنگام تیراندازی صدای تیر یا صفیر گلوله‌ای را شنیدید ، خیالتان راحت باشد ، زیرا آن گلوله از کنار شما گذشته است . گلوله از صدای تیراندازی جلو می‌افتد ، بنا بر این اگر گلوله‌ای به شخصی اصابت کند ، آن شخص قبل از آنکه صدای خروج آن گلوله از دهانه تفنگ به گوشش برسد ، کارش ساخته شده است .

انفجار موهوم

برخی از اجسام در حال پرواز بر صوتی که خود بوجود می‌آورند ، سبقت میجویند و این امر سبب میشود که ما گاهی نتیجه‌گیری‌های نادرستی بکنیم که با منظرهٔ واقعی پدیده بکلی مغایر است .

شخانه (سنگ آسمانی) یا گلولهٔ توپی که در ارتفاع زیادی بالای سر ما پرواز میکند ، مثال بسیار جالبی است . وقتی شخانه از فضای کیهانی داخل جو کرهٔ زمین میشود ، دارای سرعت بسیار زیادی است که حتی پس از تقلیل در نتیجهٔ مقاومت هوا ، دهها بار بیشتر از سرعت صوت است.



شکل ۱۵۵ — انفجار موهوم شخانه.

شخانه‌ها وقتی هوا را میشکافند، اغلب اوقات صدائی شبیه به رعد تولید میکنند. فرض کنید که ما در نقطه C قرار داریم (شکل ۱۰۵) و در ارتفاع زیادی بالای سر ما شخانه‌ای در امتداد خط AB پرواز میکند. صدای شخانه در نقطهٔ A وقتی به ما (در نقطهٔ C) میرسد که خود شخانه به نقطهٔ B رسیده است. از آنجا که سرعت پرواز شخانه بمراتب بیش از سرعت صوت است، امکان دارد که در این مدت خود شخانه تا نقطه‌ای، مثلاً D پرواز کند که از آن نقطه صدا زودتر از صدای نقطهٔ A به گوش ما برسد. به این دلیل ما اول صدای از نقطهٔ D را میشنویم و پس از آن صدای از نقطهٔ A را. از آنجا که صدای شخانه از نقطهٔ B نیز دیرتر از صدای نقطهٔ D به گوش ما میرسد، پس باید در نقطهٔ معینی از مسیر نقطه‌ای باشد، مثلاً K، که صدای شخانه از آن نقطه قبل از همه به گوش ما برسد. علاقه‌مندان به ریاضیات میتوانند با در نظر گرفتن تناسب سرعت شخانه و سرعت صوت محل این نقطه را حساب کنند.

در نتیجه، آنچه ما میشنویم هیچ شباهتی به آنچه می‌بینیم ندارد. شخانه برای چشم قبل از همه در نقطهٔ A پدیدار میشود و از آن نقطه روی خط AB پرواز میکند، اما برای گوش قبل از همه در نقطه‌ای بالای سر ما، مثلاً K، پدیدار میشود و پس از آن ما در یک زمان دو صدا میشنویم که در دو جهت عکس یکدیگر خفیف میشوند (از K به A و از K به B)، بعبارت دیگر، ما چنان صدائی میشنویم که گوئی شخانه به دو قسمت متلاشی شده است که آن قسمت‌ها در جهت عکس یکدیگر پرواز میکنند. در حالیکه واقعاً هیچ انفجاری روی نداده است. ملاحظه میکنید که گاهی خطای سامعه تا چه حد ما را میفریبد! ممکن است ادعای بسیاری از کسانی که میگویند خود «شاهد» انفجار شخانه بوده‌اند، نتیجهٔ همین نوع خطای سامعه باشد.

اگر سرعت صوت کم بشود ...

اگر صوت در هوا با سرعت ۳۴۰ متر در ثانیه پخش نمیشد، بلکه با سرعتی بمراتب کم‌تر پخش میشد، آنوقت خطای سامعه در موارد بمراتب بیشتری روی میداد.

مثلا فرض کنید که سرعت صوت نه ۳۴۰ متر در ثانیه، بلکه ۳۴۰ میلیمتر در ثانیه، یعنی کم‌تر از سرعت آدمی است که پیاده راه میرود. شما روی صندلی نشسته‌اید و به صحبت دوستتان گوش میدهید، ضمناً او عادت دارد در اطاق قدم بزند و صحبت کند. در شرایط عادی این قدم زدن او بهیچوجه مانع شنیدن شما نمیشود. اما اگر سرعت صوت فوق‌العاده کم باشد، شما از صحبت دوستتان هیچ چیز نخواهید فهمید. صداهائی که قبلاً از دهان او بیرون آمده، از صداهای بعدی جلو می‌افتند و با آنها مخلوط میشوند، در نتیجه آشپزخانه‌قلمکاری از اصوات مختلف به وجود می‌آید که هیچ معنی ندارد.

ضمناً در لحظاتی که دوستتان به طرف شما گام برمیدارد، صدای کلمات او به ترتیب معکوس به گوش شما میرسد، اول صدائی که در نزدیک‌ترین نقطه به شما تلفظ کرده به گوشتان میرسد، بعد صدای قبل از آن و سپس صدای باز هم پیشتر و به همین ترتیب، زیرا صحبت‌کننده ضمن صحبت از صداهائی که از دهانش بیرون آمده جلو می‌افتد و همیشه در جلو آنها قرار دارد.

طویل‌المدت‌ترین گفتگو

اگر خیال میکنید که سرعت واقعی صوت در هوا — یک سوم کیلومتر در ثانیه — در کلیهٔ موارد سرعتی است کافی، پس بدانید که هم اکنون تغییر عقیده خواهید داد.

فرض کنید که میان مسکو و لنینگراد (یا تهران و تبریز — مترجم *) بجای تلفن برقی، لولهٔ مکالمه از نوع آن لوله‌های مکالمه‌ای که سابقاً شعبه‌های جداگانهٔ فروشگاه‌های بزرگ را به یکدیگر مربوط میکرد، یا در کشتی ها برای ارتباط با ماشین‌خانه از آن استفاده میشد، کشیده شده است. شما در تهران جلو دهانه این لولهٔ ۶۲۱ کیلومتری ایستاده‌اید و میخواهید با دوستتان که در تبریز است صحبت کنید. از او چیزی میپرسید و منتظر جواب میشوید. پنج دقیقه میگذرد، ده دقیقه میگذرد، پانزده دقیقه میگذرد، اما جوابی، نمیشنوید. خیالتان ناراحت میشود که مبادا برای دوستتان حادثهٔ ناگواری پیش آمده باشد. اما ناراحتی شما بیمورد است، زیرا هنوز سؤال به تبریز نرسیده، و تازه فقط به وسط راه رسیده است. یک ربع ساعت دیگر هم میگذرد تا سؤال شما به تبریز برسد و دوستتان بتواند به آن جواب بدهد. اما جواب او هم در مدتی کمتر از نیم ساعت از تبریز به تهران نخواهد رسید، اینستکه فقط پس از یک ساعت جواب سؤالتان را خواهید شنید.

میتوانیم حساب کنیم و ببینیم درست است یا نه. فاصلهٔ میان تهران و تبریز ۶۲۱ کیلومتر است. سرعت صوت $\frac{1}{3}$ کیلومتر در ثانیه است، پس مسافت میان این دو شهر را در ۱۸۶۳ ثانیه، یعنی ۳۱/۰۵ دقیقه می‌پیماید. درچنین شرایطی اگر مکالمه از صبح تا شب هم طول بکشد به زحمت میتوان ده جمله ردوبدل کرد **.

از سریع‌ترین راه

اما زمانی بود که حتی این راه رساندن اخبار، راهی بسیار سریع به شمار می‌رفت. صد سال پیش از این احدی آرزوی تلگراف و تلفن برقی را در سر نمی‌پروراند و مخابرهٔ اخبار طی چند ساعت به مسافت بیش از ۶۰۰ کیلومتر، یک سرعت ایدآل به شمار می‌رفت.

میگویند که هنگام تاجگذاری تزار پاول اول خبر شروع مراسم تاجگذاری در مسکو به طریق زیر به پتربورگ (لنینگراد کنونی) پایتخت شمالی روسیه اطلاع داده شد. در سراسر راه میان دو پایتخت در فاصلهٔ ۲۰۰ متر از یکدیگر، سرباز گذاشته بودند. همینکه صدای نخستین ضربت ناقوس

---

* در اصل روسی لولهٔ مکالمهٔ فرضی میان مسکو و لنینگراد کشیده شده است. برای آنکه خوانندگان ایرانی بهتر بتوانند وضع توصیف‌شده را در نظرشان مجسم کنند، فرض میکنیم که این لوله میان تهران و تبریز کشیده شده باشد (مترجم).

** مؤلف تضعیف و میرائی نوسانات صوتی با مسافت را در نظر نمیگیرد، اما نوسانات صوتی با طی مسافت تضعیف و استهلاک میشوند و در واقع چنین مکالمه‌ای امکان ندارد، زیرا در دهانهٔ دیگر لوله حرف شما را نمیشنوند (هیأت تحریریه).

کلیسا بلند شد، نزدیک‌ترین سرباز به هوا تیراندازی کرد. سرباز دوم به محض شنیدن علامت، تیراندازی کرد و پس از سرباز دوم، سرباز سوم والخ. بدین ترتیب، در سه ساعت علامت از مسکو به پتربورگ مخابره شد. سه ساعت پس از نخستین ضربت ناقوس در مسکو، توپ‌های دژ پتروپاولوفسکایا، در فاصلهٔ ۶۵۰ کیلومتر از مسکو، به غرش درآمدند.

اگر صدای ناقوس‌های مسکو مستقیماً در پتربورگ شنیده میشد، این صدا، بطوریکه ما حالا میدانیم، پس از نیم ساعت به پایتخت شمالی میرسید. بنا بر این از سه ساعت وقت لازم برای مخابره علامت، ۲/۵ ساعت آن صرف آن شده بود که سربازان تأثیرات صوتی را حس کنند و حرکات لازم برای تیراندازی را انجام دهند. هر چند که این تأخیر بسیار ناچیز است، اما هزاران مدت فوق‌العاده کم روی هم انباشته و موجب ۲/۵ ساعت تأخیر اضافی شد.

در ازمنه قدیم تلگراف بصری نیز به طرزی شبیه به این، کار میکرد، یعنی علامت‌های نوری را به نزدیک‌ترین ایستگاه و آن ایستگاه به نوبت خود به ایستگاه بعدی مخابره میکرد. در روسیهٔ تزاری انقلابیون برای حفاظت جلسات مخفی از دستبرد پلیس، اغلب از مخابره علامات نوری استفاده میکردند. عده‌ای از انقلابیون از محل جلسه تا اداره پلیس در جاهای مناسب به صورت زنجیر می‌ایستادند و به محض مشاهده نخستین نشانه خطر بوسیله روشن و خاموش کردن چراغ‌قوه‌های جیبی به جلسه خبر میدادند.

تلگراف طبلی

مخابره به وسیله علائم صوتی اکنون نیز در میان قبایل ساکن افریقا، امریکای مرکزی و پولینزیا بطور وسیعی شایع است. این قبایل برای این منظور از طبل‌های مخصوص استفاده میکنند که به وسیله آن علائم صوتی را به مسافات بسیار دور مخابره میکنند. همینکه علامت شرطی‌را در یک جا شنیدند، آن را تکرار میکنند و سپس به همین وسیله در جای دیگر تکرار میکنند و در مدت کوتاهی منطقهٔ بسیار وسیعی از حادثهٔ مهمی اطلاع مییابد (شکل ۱۵۶).

شکل ۱۵۶ — یکی از بومیان جزایر فیجی ضمن مکالمه با «تلگراف» طبلی.

در دوره جنگ اول ایتالیا با حبشه نجاشی امپراطور حبشه از کلیهٔ تغییر مکان‌های نیروهای ایتالیائی به فوریت اطلاع مییافت. این امر ستاد ارتش ایتالیا را که هیچ تصور نمیکرد دشمن تلگراف طبلی داشته باشد، به حیرت و تعجب می‌انداخت.

در آغاز جنگ دوم ایتالیا با حبشه فرمان بسیج عمومی که در آدیس‌آبابا صادر شده بود، به همین وسیله «انتشار یافت» و پس از چند ساعت در دورافتاده‌ترین دهکده‌های حبشه از آن اطلاع داشتند.

عین این حادثه در دورهٔ جنگ انگلستان با بوئرها نیز مشاهده میشد. کلیهٔ اخبار جنگی به وسیله «تلگراف»

کافرها* با سرعت فوق‌العاده زیادی در میان اهالی کاپلند منتشر میشد و چند شبانه‌روز زودتر از گزارش‌های رسمی که نامه‌رسان‌ها می‌آوردند، میرسید.

طبق گواهی جهانگردان سیستم علائم صوتی در میان برخی از قبایل افریقا بقدری خوب تنظیم شده است که میتوان گفت تلگرافی که آنها دارند، بمراتب کامل‌تر از تلگراف بصری است که اروپائیان قبل از تلگراف برقی داشتند.

در یکی از مجله‌ها در بارهٔ این موضوع نوشته شده بود: یکی از علمای باستان‌شناسی موزهٔ بریتانیا به نام هاسلدن در شهر ابادا واقع در نواحی مرکزی نیجریه اقامت داشت. صدای مبهم طبل شب و روز بلاانقطاع شنیده میشد. یک روز صبح دانشمند انگلیسی شنید که سیاه‌پوستان در باره مطلبی با حرارت صحبت میکنند. گروهبان در جواب سؤال او گفت: «یک کشتی بزرگ سفیدپوستان غرق شده و عده زیادی از سفیدپوستان به هلاکت رسیده‌اند». این خبری بود که از ساحل به زبان طبل اطلاع داده بودند. دانشمند به این شایعه هیچ اهمیتی نداد. اما پس از سه روز تلگرامی را که به علت قطع ارتباط دیر رسیده بود، در باره غرق کشتی «لوزیتانیا» گرفت. آنوقت فهمید که خبر سیاه‌پوستان درست بوده و به زبان طبل در سراسر منطقهٔ میان قاهره و ابادا «طنین انداخته است». این امر بسیار تعجب‌آور بود، زیرا قبایلی که این خبر را به یکدیگر داده بودند، به زبان‌های کاملاً مختلف تکلم میکنند و در آن زمان برخی از آنها با یکدیگر می‌جنگیدند.

ابرهای صوتی و پژواک هوائی

صوت میتواند نه فقط در سدهای جامد، بلکه در چیزهای بسیار رقیق مانند ابر نیز منعکس شود. بعلاوه، حتی هوای کاملا صاف و شفاف در شرایط معین، یعنی در صورتی که قابلیت انتقال صوت آن به علتی با قابلیت انتقال صوت سایر قسمت‌های هوا تفاوت داشته باشد، ممکن است صوت را منعکس کند. در این مورد پدیده‌ای از نوع پدیده‌ای که در علم نور و بصر «انعکاس کامل» نام دارد، روی میدهد. صوت در سد نامرئی منعکس میشود و با پژواک معماآمیزی میشنویم که معلوم نیست از کجا به گوش میرسد.

تیندال دانشمند مشهور انگلیسی وقتی در ساحل دریا به آزمایش‌هائی مربوط به علائم صوتی مشغول بود، این پدیدهٔ جالب را کشف کرد. وی مینویسد: «در هوای کاملاً صاف و شفاف پژواک به وجود می‌آمد. پژواک، گوئی به وضع معجزه‌آسائی، از ابرهای صوتی نامرئی به گوش ما میرسید».

فیزیسین مشهور انگلیسی آن قسمت‌هائی از هوای صاف و شفاف را که صوت را منعکس میکنند و «پژواک در هوا» را به وجود می‌آورند، ابرهای صوتی مینامد و در این مورد میگوید:

«ابرهای صوتی دائماً در هوا شناورند. این ابرها کوچکترین نسبتی به ابرهای معمولی، به مه یا به غبار ندارند. صاف‌ترین و شفاف ترین هوا ممکن است پر از این ابرها باشد و بدین ترتیب ممکن است پژواک‌های هوائی به وجود آیند. این پژواک‌ها، برخلاف عقیدهٔ رایج، ممکن است در هوای بسیار صاف و شفاف نیز به وجود آیند. وجود اینگونه پژواک‌های هوائی در نتیجهٔ مشاهدات

---

* اعضای قبایلی در جنوب افریقا که به زبان «بانتو» تکلم میکنند (مترجم).

و بوسیله آزمایش ثابت شده است. این پژواک‌ها ممکن است به وسیله جریان‌های هوائی به وجود آیند که حرارت آنها با یکدیگر متفاوت است و یا مقدار بخار داخل آنها یکسان نیست».

برخی پدیده‌های معماآمیز که گاهی هنگام نبردهای بزرگ روی میدهد، بر وجود ابرهای صوتی که برای صوت شفاف نیستند، دلالت میکند. تیندال قطعهٔ زیر را از خاطرات یک نفر که خودش شاهد جنگ ۱۸۷۱ میلادی میان فرانسه و پروس بوده است، نقل میکند:

«صبح روز ۶ ماه درست عکس صبح روز پیش بود. روز پیش هوا سرد و بقدری مه‌آلود بود که در فاصلهٔ بیش از نیم میل هیچ چیز را نمیشد دید. اما روز ۶ روزی روشن و گرم و آفتابی بود. روز پیش هوا پر از صدا بود، اما روز ششم ماه چنان سکوت محضی حکمفرما بود که در جنگ سابقه ندارد. ما با حیرت و تعجب به یکدیگر مینگریستیم و می‌اندیشیدیم که آیا واقعاً پاریس و برج و باروها، توپ‌ها و گلوله‌باران‌هایش نابود شده است؟.. من به مون‌سورانس رفتم و از آنجا منظرهٔ کامل قسمت شمالی پاریس در برابر دیدگانم گسترده شد. اما در آنجا نیز سکوت مرگباری حکمفرما بود... من با سه نفر سرباز ملاقات کردم و به بحث و مذاکره در باره اوضاع و احوال پرداختیم. آنها آماده بودند قبول کنند که ممکن است مذاکرات صلح شروع شده باشد، زیرا از صبح زود حتی یک صدای تیر هم نشنیده بودند...

من از آنجا به هونس رفتم و با کمال تعجب اطلاع یافتم که آتشبارهای آلمانی از ساعت ۸ صبح با نهایت شدت تیراندازی میکرده‌اند. در طرف جنوبی نیز گلوله‌باران در حوالی همان ساعت شروع شده بود. اما ما در مون‌سورانس کوچکترین صدائی نشنیده بودیم!.. تمام این جریان به هوا بستگی داشت زیرا آن روز قابلیت انتقال صوت هوا به همان اندازه بد بود که روز پیش خوب بوده است».

در دورهٔ نبردهای بزرگ سالهای ۱۹۱۴ — ۱۹۱۸ نیز بارها پدیده‌هائی نظیر این پدیده مشاهده شده است.

اصوات بی‌صدا

کسانی هستند که صداهای زیر از قبیل جیرجیر سیرسیرک یا صدای خفاش را نمیشنوند. این اشخاص کر نیستند، دستگاه شنوائی آنها سالم است، اما باوجود این صداهای بسیار زیر را نمیشنوند. تیندال فیزیسین مشهور انگلیسی متذکر میشود که برخی اشخاص حتی صدای جیک‌جیک گنجشک را نمیشنوند!

بطور کلی گوش ما بسیاری از نوساناتی را که در اطراف ما روی میدهد، حس نمیکند. اگر جسم در هر ثانیه کمتر از ۱۶ بار نوسان کند، ما صدارا نمیشنویم و اگر در هر ثانیه بیش از ۱۵ — ۲۲ هزار بار نوسان کند، باز هم صدا را نمیشنویم. سرحد بالائی احساس صداها در اشخاص مختلف متفاوت است. در اشخاص پیر تا ۶ هزار نوسان در ثانیه تقلیل مییابد. به این دلیل است که صداهای زیر و گوشخراشی را که برخی اشخاص با وضوح تمام میشنوند، برای برخی دیگر گوئی اصلاً وجود ندارد.

بسیاری از حشرات (مثلا سیرسیرک و پشه) صداهائی میکنند که آهنگ نوسان آن ۲۰ هزار بار در ثانیه است. این صداها برای برخی گوش ها وجود دارد و برای برخی دیگر وجود ندارد. کسانی

که صداهای بسیار زیر را حس نمیکنند، در جائی که دیگران صداهای درهم و برهم گوشخراش فراوانی میشنوند، از لذت سکوت محض بهره‌مند هستند. تیندال حکایت میکند که یک بار وقتی در سوئیس با یکی از دوستانش گردش میکرد، شاهد چنین حالتی بود: «در چمنزارهای اطراف راه حشرات بیشماری وول میزدند که برای گوش من هوا را از وزوزهای گوشخراش پر کرده بودند، اما دوستم اصلاً هیچ صدائی نمیشنید، زیرا موسیقی حشرات خارج از حدود شنوائی او بود».

صدای خفاش به اندازه یک اکتاو تمام از صدای نافذ و گوشخراش حشرات پائین تر است، یعنی تعداد نوسانات هوا در مورد اول دو بار کمتر از مورد دوم است. اما گاهی اشخاصی پیدا میشوند که سرحد حس کردن صداها برای آنها از این هم پائین تر است و خفاش برای آن اشخاص موجود بی‌صدائی است.

بر عکس، سگ‌ها، بطوری که در آزمایشگاه آکادمیسین پاولوف ثابت شده است، صداهائی را که تعداد نوسانات آن تا ۳۸ هزار در ثانیه باشد، حس میکنند.

فراصوت‌ها در خدمت تکنیک

فیزیک و تکنیک معاصر وسائلی در اختیار دارد که «اصوات بی‌صدائی» با بسامد بمراتب بیش از آنچه ما هم اکنون بررسی کردیم، به وجود بیاورد. تعداد نوسانات در این «فراصوت‌ها» («مافوق صوت‌ها») ممکن است تا ۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰ در ثانیه برسد.

یکی از طرق به وجود آوردن نوسانات فراصوتی استفاده از خصوصیت صفحاتی است که از کریستال کوارتز به شکل معینی بریده باشند. این صفحات وقتی تحت فشار قرار بگیرند سطحشان الکتریکی میشود*، و بر عکس، اگر به سطح این صفحات به تناوب بار الکتریکی بدهیم، تحت تأثیر بار الکتریکی به تناوب منقبض و منبسط میشوند، یعنی نوسان میکنند و در نتیجه نوسانات فراصوتی به وجود می‌آید. به صفحات به وسیله لامپ‌های نوسان‌ساز که در رادیوتکنیک به کار میرود، بار الکتریکی میدهند و بسامد آن را متناسب با آنچه دورهٔ «طبیعی» نوسانات صفحه نام دارد، انتخاب میکنند**.

گرچه فراصوت‌ها برای گوش ما بی‌صدا هستند، اما از طرق دیگر ابراز وجود میکنند و تأثیر فوق‌العاده محسوس خود را نشان میدهند. مثلا اگر صفحه‌ای را که نوسان دارد، در ظرف روغنی فرو ببریم، نوسانات فراصوتی تمام روغن را نیز به نوسان می‌آورد و در سطح روغن برآمدگی به ارتفاع ۱۰ سانتیمتر به وجود می‌آید و ذرات روغن تا ارتفاع ۴۰ سانتیمتر به اطراف پخش میشوند. اگر سر لولهٔ شیشه‌ای به طول یک متر را در این ظرف روغن فرو کنیم، دست ما که سر دیگر لوله‌را

---

* این خصوصیت کریستال‌ها را «پیزوالکتریسیته» (یعنی برقی که در اثر فشار تولید میشود)، مینامند.

** کریستال های کوارتز منبع گران و کم‌نیروئی برای تولید فراصوت است و اغلب در آزمایشگاه به کار میرود. در صنعت مواد سنتتیک مصنوعی، مثلاً سرامیک (سفال) تیتانات باریم، مورد استفاده قرار میگیرد.

گرفته است میسوزد و جای سوختگی روی پوست باقی میماند. اگر سر این لوله در حال نوسان را روی چوب بگذاریم چوب را میسوزاند و سوراخ میکند. انرژی فراصوت‌ها به انرژی حرارتی تبدیل میشود.

در اتحاد شوروی و در سایر کشورها دانشمندان فراصوت‌ها را به دقت مورد بررسی و آموزش قرار میدهند. این نوسانات در ارگانیسم‌های زنده تأثیر شدید میگذارند. رشته‌های جلبک‌ها پاره میشوند، یاخته‌های حیوانات میترکند، گلبول‌های خون متلاشی میگردند. ماهی‌های ریز و غورباقه‌ها تحت تأثیر فراصوت‌ها در یکی دو دقیقه میمیرند. حرارت بدن حیوانات مورد آزمایش بالا میرود، مثلا در موش به ٤٥ درجهٔ سانتیگراد میرسد. نوسانات فراصوتی در پزشکی مورد استفاده قرار میگیرند. نوسانات فراصوتی نامسموع دست به دست اشعهٔ فرابنفش نامرئی میدهند و به یاری طب میشتابند.

بخصوص در متالورژی استفاده از فراصوت‌ها برای کشف ناهمگنی‌ها، حفره‌ها و ترک‌ها و سایر عیوب و نواقص در داخل فلز نتایج بسیار خوبی میدهد. فلز را به طریق زیر «تحت اشعهٔ» فراصوت‌ها قرار میدهند: روی فلز مورد آزمایش روغن میمالند و تحت تأثیر نوسانات فراصوتی قرار میدهند. قسمت‌های ناهمگن فلز بطوری صوت را پراکنده میکنند که گوئی سایهٔ صوتی می‌افکنند. محیط ناهمگنی ها در زمینه لرزش یکنواخت ورقهٔ روغن روی فلز بقدری روشن و دقیق نمایان میشود که حتی میتوان از آن منظره عکس برداشت *.

قطعات فلز به ضخامت یک متر و بیش از آن را که اشعهٔ رنتگن بهیچوجه از آن نمیگذرند، میتوان با موفقیت «تحت اشعه» فراصوتی قرار داد. از این طریق ناهمگنی‌های بسیار کوچک — تا یک میلیمتر — آشکار میشوند. شک نیست که نوسانات فراصوتی آیندهٔ درخشانی در پیش دارند **.

صدای کوتوله‌ها و صدای هالیور

در فیلم شوروی به نام «هالیور جدید» کوتوله‌ها به صدای زیری که با حنجره کوچک آنها مناسب است و پتیا غول عظیم‌الجثه به صدای بسیار بم و کلفتی صحبت میکنند. هنگام فیلمبرداری بجای کوتوله‌ها هنرپیشه‌های بزرگسال حرف میزدند و پتیا را بچه‌ای بازی میکرد. پس این تغییرات لازم در آهنگ صداها را چگونه به دست آوردند؟ وقتی پتوشکو کارگردان فیلم به من گفت که هنرپیشه‌ها هنگام فیلمبرداری به صدای طبیعی خودشان صحبت میکرده‌اند، و تغییرات در آهنگ صداها را ضمن فیلمبرداری به طرز ویژه‌ای بر اساس خصوصیات فیزیکی صوت، داده‌اند، من بسیار متعجب شدم.

---

* متد دفکتوسکوپی فراصوتی (نقص‌یابی به وسیله نوسانات فراصوتی) نخستین بار در سال ۱۹۲۸ میلادی از طرف سوکولوف دانشمند شوروی پیشنهاد شد. حالا، بجای روغن، از دستگاه‌های گیرندهٔ نوسانات فراصوتی ویژه‌ای استفاده میشود که اندازه‌گیری را ساده‌تر و آسان تر میکند (هیأت تحریریه).

** جالب است که در طبیعت نیز با نوسانات فراصوتی برخورد میشود. در صدای باد و صدای برخورد امواج دریا به ساحل بسامدهائی هست که در دایرهٔ فراصوت قرار دارد. بسیاری از موجودات جاندار (مثلا پروانه‌ها و زنجره‌ها و غیره) قابلیت آن را دارند که فراصوت بپراکنند و فراصوت‌ها را بشنوند. خفاش هنگام پرواز از فراصوت استفاده میکند، به این ترتیب که از انعکاس فراصوت، از موانعی که سر راهش هست اطلاع مییابد (هیأت تحریریه).

برای آنکه صدای کوتوله‌هارا زیر و صدای هالیور را بم بکنند، کارگردان فیلم صدای هنرپیشه‌هائی را که نقش کوتوله‌ها را بازی میکردند، با حرکت آهسته نوار و صدای پتیا را با حرکت سریع نوار ضبط کرد. اما فیلم را با سرعت معمولی روی پرده نشان میدهند. به آسانی میتوان فهمید که در نتیجهٔ این عمل چه میبایست روی بدهد. تماشاچیان صدای کوتوله‌ها را بجای تناوب معمولی نوسانات صوتی با تناوب سریع‌تر میشنوند و در نتیجه آهنگ صدای آنها زیر میشود، صدای پتیا، برعکس، با تناوب آهسته‌تر نوسانات به گوش آنها میرسد، بنا بر این آهنگ صدای او بم میشود. در نتیجه در فیلم «هالیور جدید» کوتوله‌ها به اندازه پنج نت زیرتر از صدای معمولی آدم بزرگسال حرف میزنند و پتیا به اندازه پنج نت بم‌تر صحبت میکند.

در اینجا از «ذره‌بین زمان» به طرز ویژه‌ای برای صوت استفاده شد. در مواردی که صفحهٔ گرامافون با سرعتی کم‌تر یا بیشتر از سرعت ضبط میچرخد (۷۸ دور در دقیقه یا ۳۳ دور در دقیقه)، این پدیده اغلب مشاهده میشود.

برای چه کسی روزنامه در یک روز دو بار منتشر میشود؟

حالا به بررسی مسأله‌ای میپردازیم که نه با صوت هیچ ارتباطی دارد و نه با فیزیک. با وجود این، تقاضا میکنم توجه بفرمائید، زیرا این مسأله در درک مطالب بعدی به شما کمک میکند.

لابد شما تا کنون به یکی از اشکال گوناگون این مسأله برخورده‌اید. هر روز ظهر یک قطار از مسکو به سوی ولادی وستوک راه می‌افتد، و هر روز ظهر از ولادی‌وستوک هم یک قطار به طرف مسکو حرکت میکند. فرض میکنیم مسافرت ۱۰ روز به طول می‌انجامد. حالا سؤال میشود: شما طی مسافرت خود از ولادی‌وستوک به مسکو چند قطار خواهید دید که از مسکو به ولادی‌وستوک میرود؟

اغلب جواب میدهند: ۱۰ قطار. اما این جواب درست نیست، زیرا شما نه فقط ۱۰ قطاری را که پس از حرکت خود از ولادی وستوک، از مسکو راه می‌افتد خواهید دید، بلکه قطارهائی را هم که در لحظهٔ حرکت شما در راه بوده، خواهید دید. بنابر این، جواب درست ۲۰ قطار است، نه ۱۰ قطار.

سپس، هر قطاری که از مسکو می‌آید یک شماره روزنامه تازه می‌آورد. اگر شما به اطلاع از اخبار تازه علاقه داشته باشید، در هر ایستگاه مرتباً روزنامه خواهید خرید. در ۱۰ روز چند شماره روزنامهٔ تازه خواهید خرید؟

حالا دادن جواب درست برای شما دشوار نیست: ۲۰ شماره، زیرا هر قطاری که به طرف شما می‌آید، یک شماره روزنامه تازه می‌آورد و از آنجا که شما با ۲۰ قطار برخورد میکنید، پس ۲۰ شماره روزنامه میخوانید. اما مسافرت شما فقط ۱۰ روز طول میکشد، پس هر روز دو بار روزنامه تازه میخوانید!

نتیجه تا حدی غیر منتظره است و اگر برای شما پیش نیامده باشد که در عمل به صحت آن معتقد شوید، لابد فوراً باور نمیکردید. اما به یاد بیاورید که مثلاً در مدت مسافرت دوروزه از سواستوپل به لنینگراد توانسته‌اید نه روزنامه‌های دو روز، بلکه روزنامه‌های چهار روز را بخوانید، دو شماره

که قبل از لحظهٔ حرکت شما از سواستوپل در لنینگراد منتشر شده بود، و دو شماره که طی دو روز مسافرت شما منتشر میشود.

پس، حالا میدانید که برای چه کسانی روزنامه‌های تازه پایتخت در روز دو بار منتشر میشود: برای مسافران کلیه قطارهائی که به پایتخت میروند.

مسألهٔ سوت لکوموتیو

اگر سامعهٔ موزیکال شما قوی است، لابد متوجه شده‌اید که وقتی قطاری از روبرو می‌آید و از کنار قطار شما میگذرد، چگونه آهنگ (نه بلندی، بلکه همانا آهنگ، یعنی زیر و بمی) سوت لکوموتیو تغییر میکند. تا وقتی که قطارها به یکدیگر نزدیک میشوند، سوت با آهنگی بالاتر از وقتی که از هم دور میشوند، به گوش میرسد. اگر سرعت قطارها ۵۰ کیلومتر در ساعت باشد، تفاوت ارتفاع صوت در دو حالت تقریباً به یک پردهٔ تمام میرسد.

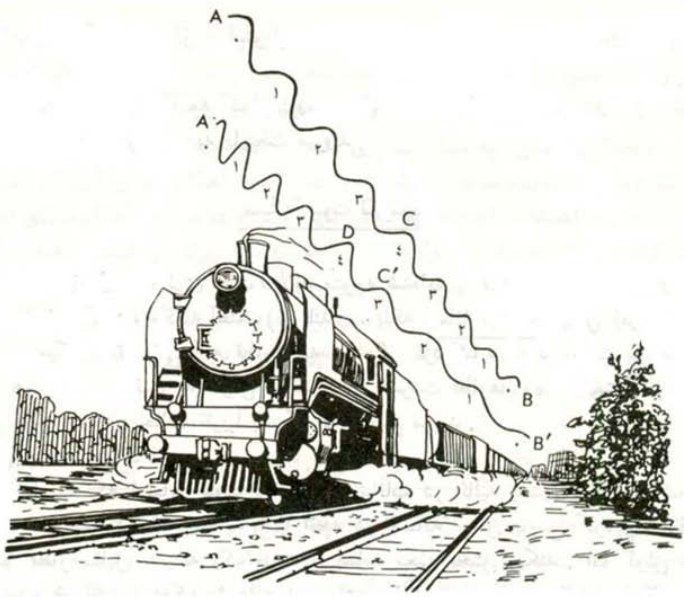
علت این پدیده چیست؟

اگر به یاد بیاورید که ارتفاع صوت به تعداد نوسانات در ثانیه بستگی دارد، درک علت پدیده برایتان دشوار نخواهد بود. این مسأله را با آنچه در مسألهٔ پیش بررسی کردیم، مقایسه کنید. سوت لکوموتیو قطار مقابل همیشه یک صوت با بسامد معین پخش میکند. اما گوش شما بسته به آنکه شما به منبع نوسانات نزدیک بشوید، در جای خود بی حرکت بمانید، یا از منبع نوسانات دور بشوید، در هر ثانیه تعداد متفاوتی نوسان خواهد شنید.

همانطور که ضمن مسافرت به مسکو روزنامه‌های مسکورا بیش از یک روزنامه در روز میخوانید، در اینجا نیز وقتی به منبع صوت نزدیک میشوید، تعداد نوسانات صوتی که در هر ثانیه به گوش شما میرسد، بیش از تعدادی است که منبع صوت، یعنی سوت لکوموتیو پخش میکند. اما در اینجا شما دیگر قضاوت نمیکنید، زیرا تعداد بیشتری نوسان به گوشتان میرسد و مستقیما آهنگ با ارتفاع بیشتری را میشنوید. وقتی از منبع صوت دور میشوید، تعداد کم‌تری نوسان به گوشتان میرسد، و آهنگ با ارتفاع کم‌تری را میشنوید.

اگر این توضیحات شمارا کاملاً قانع نکرده است، بکوشید در نظر مجسم کنید که امواج صوتی از سوت لکوموتیو چگونه پخش میشوند. ابتدا لکوموتیو بی‌حرکت را بررسی کنید (شکل ۱۵۷). سوت لکوموتیو امواج صوتی پخش میکند، ما برای سادگی مسأله فقط چهار موج را بررسی میکنیم (خط موجی بالائی). امواج صوتی لکوموتیو بی‌حرکت در مدت زمان معینی در هر سو مسافت‌های مساوی را می‌پیمایند. موج شماره صفر به گوش شنونده A و شنونده B در یک مدت میرسد. بعد موج شماره (۱) و (۲) و (۳) و... بترتیب در یک لحظه به گوش هر دو شنونده میرسد. به گوش هر دو شنونده در هر ثانیه تعداد مساوی ضربه وارد می‌آید و به این دلیل هر دو یک آهنگ‌را میشنوند.

اما اگر لکوموتیو ضمن سوت زدن از B به طرف A حرکت کند، وضع دیگری پیش می‌آید (خط موجی پائینی). فرض کنیم سوت در لحظهٔ معینی در نقطهٔ C′ بوده و در مدتی که چهار



شکل ۱۵۷ — مسأله سوت لکوموتیو. در بالا — امواج صوتی که لکوموتیو بی حرکت پخش میکند، و در پائین — امواج صوتی که لکوموتیو در حال حرکت میپراکند.

موج صوتی پراکنده، به نقطه D رسیده است. حالا مقایسه کنید که امواج صوتی چگونه پخش خواهند شد. موج شماره صفر که از نقطه C′ خارج شده در یک وقت به گوش هر دو شنونده A′ و B′ میرسد. اما موج چهارم که در نقطه D تولید شده به گوش آن دو در یک وقت نمیرسد، زیرا فاصله DA′ از فاصله DB′ کمتر است و بنا بر این به نقطه A′ زودتر از نقطه B′ میرسد. امواج شماره (۱) و شماره (۲) که در فاصله میان موج اول و چهارم تولید شده‌اند، نیز به نقطه B′ دیرتر از نقطه A′ میرسند، اما مدت تأخیر آنها کمتر است. حالا ببینیم چه روی میدهد؟ شنونده‌ای که در نقطه A′ است نسبت به شنوندهٔ نقطه B′ در زمان معین تعداد بیشتری موج صوتی میگیرد و در نتیجه آهنگ زیرتری میشنود. ضمناً، بطوری که در شکل دیده میشود، طول امواجی که به نقطه A′ میروند، به همان نسبت از طول امواجی که به نقطه B′ میروند کمتر است *.

---

* باید در نظر داشت که خطوط موجی شکل ۱۵۷ بهیچوجه شکل واقعی امواج صوتی را نمایش نمیدهند، زیرا نوسانات ذرات هوا در طول سمت حرکت صوت صورت میگیرد، نه در عرض. در اینجا امواج فقط برای آنکه واضح دیده بشوند در عرض نشان داده شده‌اند و برآمدگی این امواج با حد اکثر تراکم موج صوتی طولی مطابقت دارد.

پدیده دوپلر

پدیده‌ای را که هم اکنون بررسی کردیم، دوپلر دانشمند فیزیسین کشف کرده و برای همیشه با نام وی بستگی یافته است. این پدیده نه فقط در امواج صوتی، بلکه در امواج نوری نیز مشاهده میشود، زیرا نور هم به صورت امواج پخش میگردد. تغییر بسامد امواج (که در صوت مانند تغییر افزایش آهنگ شنیده میشد) در نور به صورت تغییر رنگ مشاهده میگردد.

قاعده دوپلر به منجمین امکانات بسیار خوبی میدهد که نه فقط نزدیک یا دور شدن ستاره‌ها را نسبت به ما تعیین کنند، بلکه سرعت این تغییر مکان را نیز اندازه بگیرند.

در این امر تغییر مکان جانبی خطوط تیره‌ای که نوار طیف را قطع میکنند، به منجمین امکان تعیین و محاسبه را میدهد. بررسی و آموزش دقیق آنکه خطوط تیره در طیف ستاره به کدام طرف و به چه اندازه تغییر مکان داده‌اند، برای منجمین امکان فراهم آورده است تا یک رشته کشفیات بسیار جالب بکنند. مثلاً حالا با استفاده از پدیده دوپلر برای ما معلوم است که ستاره درخشان شعری یمانی در هر ثانیه ۷۰ کیلومتر از کره زمین دور میشود. این ستاره در چنان فاصله عظیم غیر قابل تصوری از زمین واقع است که حتی اگر میلیاردها کیلومتر از ما دور بشود، درخشش ظاهری آن برای ما تغییر قابل ملاحظه‌ای نمیکند. اگر پدیدهٔ دوپلر به ما کمک نمیکرد، لابد ما هرگز از حرکت این ستاره اطلاع نمییافتیم.

این مثال گواه بارزی است که نشان میدهد واقعاً فیزیک تا چه حد علم جامعی است. قوانین فیزیک در بارهٔ امواج صوتی را که طول آنها به چند متر میرسد، میتوان در مورد امواج فوق‌العاده کوچک نور که طول آنها چند ده هزارم میلیمتر است، بکار برد و با استفاده از این دانش حرکات فوق‌العاده سریع خورشیدهای بسیار بزرگ را در نقاط بینهایت دور کائنات اندازه گرفت.

تاریخچه یک جریمه

وقتی دوپلر برای نخستین بار (در سال ۱۸۴۲) به این فکر رسید که نزدیک یا دور شدن متقابل شنونده یا بیننده از منبع صوت یا نور با تغییر طول امواج صوتی یا نوری که شنیده یا دیده میشود همراه است، نظر بسیار جسورانه‌ای را ابراز داشت، دائر بر اینکه علت رنگ‌های گوناگون ستاره‌ها در این پدیده نهفته است. او خیال میکرد که رنگ همهٔ ستاره‌ها اصولاً سفید است. بسیاری از آنها به این دلیل رنگین به نظر می‌آیند که نسبت به ما با سرعت زیادی حرکت میکنند. ستاره‌های سفیدی که به سرعت نزدیک میشوند، به سوی بینندهٔ روی زمین امواج نوری کوتاه شده میپراکنند که سبب پیدایش احساس رنگ های سبز و آبی و بنفش میشود و برعکس، ستاره‌های سفیدی که به سرعت دور میشوند، زرد یا سرخ به نظر می‌آیند.

این فکر یک فکر بکر و بدیع بود، اما بدون شک اشتباه بود. برای آنکه چشم بتواند تغییر رنگ ستاره‌ها در نتیجه حرکت را ببیند، قبل از هر چیز باید سرعت ستاره‌ها نسبت به ما فوق‌العاده زیاد —

دهها هزار کیلولتر در ثانیه — باشد. اما این نیز کافی نیست، زیرا همزمان با تبدیل، مثلاً، اشعهٔ آبی ستارهٔ سفیدی که نزدیک میشود، به اشعهٔ بنفش، اشعهٔ سبز به اشعهٔ آبی تبدیل میشوند، اشعهٔ ماورأ بنفش به بنفش و اشعهٔ قرمز به مادون قرمز تبدیل میشوند. خلاصه، اجزأ متشکلهٔ رنگ سفید همه باقی میمانند، پس باوجود تغییر مکان عمومی همه رنگ‌های طیف، چشم نباید هیچ تغییری در رنگ عمومی حس کند.

تغییر مکان خطوط تیره در طیف ستاره‌هائی که نسبت به بیننده حرکت میکنند، مطلب دیگری است. این تغییر مکان‌ها با اسباب‌های دقیق بخوبی دیده میشوند و امکان میدهند از روی شعاع دید سرعت ستاره را تعیین کرد. (طیف نمای خوب سرعت ستاره را، حتی تا یک کیلومتر در ثانیه، تعیین میکند).

یک بار که ربرت وود فیزیسین مشهور پشت فرمان اتومبیل خود نشسته بود و به سرعت میرفت، با اینکه چراغ راهنما قرمز بود، اتومبیل را نگاه نداشت، وقتی پاسبان خواست او را جریمه کند، اشتباه دوپلر را به یاد آورد. میگویند وود کوشید مأمور راهنمائی را قانع کند که وقتی به سرعت به چراغ راهنما نزدیک بشویم، رنگ قرمز سبز به نظر می‌آید. اگر پاسبان فیزیک میدانست، میتوانست حساب کند که اتومبیل میبایست با سرعتی غیر قابل تصور، یعنی ۱۳۵ میلیون کیلومتر در ساعت حرکت کند تا عذر دانشمند موجه و سخنانش درست باشد.

حالا ما حساب میکنیم. اگر طول امواج نوری را که از منبع نور (در این مورد چراغ راهنما) پخش میشود l و طول امواجی را که به نظر بیننده (پروفسور اتومبیل‌ران) می‌آید l' و سرعت اتومبیل را v و سرعت نور را c فرض کنیم، نسبت این مقادیر، طبق تئوری، به قرار زیر است:

$$\frac{l}{l'} = ۱ + \frac{v}{c}$$

میدانیم که کوتاهترین موج نوری از امواج قرمز مساوی ۰/۰۰۶۳ میلیمتر و بلندترین موج از امواج سبز مساوی ۰/۰۰۵۶ میلیمتر و سرعت نور ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است. پس خواهیم داشت:

$$\frac{۰/۰۰۶۳}{۰/۰۰۵۶} = ۱ + \frac{v}{۳۰۰۰۰۰}$$

و از این فرمول سرعت اتومبیل میشود:

$$v = \frac{۳۰۰۰۰۰}{۸} = ۳۷۵۰۰ \text{ کیلومتر در ثانیه}$$

یا ۱۳۵۰۰۰۰۰۰ کیلومتر در ساعت. با چنین سرعتی وود در مدت یک ساعت و چند دقیقه به اندازه فاصله میان زمین و خورشید از پاسبان دور میشد. میگویند، با وجود این، وود را «به علت تجاوز از سرعت مجاز» جریمه کردند.

با سرعت صوت

اگر از ارکستری که مشغول نواختن ترانه‌ای است، با سرعت صوت دور بشوید، چه خواهید شنید؟

کسی که با قطار پستی از لنینگراد میرود، در همه ایستگاه‌ها یک شماره معین روزنامه، یعنی شماره‌ای را که روز حرکتش از لنینگراد منتشر شده، خواهد دید. مطلب روشن است، زیرا آن شماره روزنامه همراه مسافر به ایستگاه‌ها میرسد. و روزنامه‌های تازه را قطارهائی می‌آورند که پشت سر او حرکت میکنند. بر این اساس میتوان نتیجه گرفت که وقتی با سرعت صوت از ارکستر دور بشویم، همیشه یک نت معین، یعنی نتی را که در نخستین لحظهٔ حرکت ما ارکستر نواخته است، خواهیم شنید.

اما این نتیجه‌گیری درست نیست، زیرا اگر ما با سرعت صوت دور بشویم، امواج صوتی که نسبت به ما ساکن هستند، اصلا به پردهٔ گوش ما نمیخورند و در نتیجه ما هیچ صدائی نمیشنویم و خیال میکنیم ارکستر دیگر نمی‌نوازد.

پس چرا در مقایسه با روزنامه به نتیجه دیگری رسیدیم؟ خیلی ساده، برای آنکه نحوهٔ مقایسه نادرست بوده است. مسافری که در همهٔ ایستگاه‌ها یک شمارهٔ معین روزنامه را می‌بیند، تصور میکند (یا صحیحتر اگر حرکت خود را از یاد ببرد، میتواند تصور کند) که از روز حرکت او انتشار روزنامه در لنینگراد بکلی قطع شده است. برای او کار ادارهٔ روزنامه قطع میشود، همانطور که صدا برای شنونده‌ای که با سرعت صوت حرکت کند، قطع میشود. جالب است که در این مسأله گاهی حتی دانشمندان نیز اشتباه میکنند، گرچه در واقع مسأله چندان بغرنج نیست. یک نفر منجم که حالا عمرش را به شما بخشیده، در بحث با من، که آنوقت هنوز دانش‌آموز بودم، با اینگونه حل مسأله موافقت نمیکرد و اصرار میورزید که وقتی با سرعت صوت دور میشویم، باید همیشه یک نت معین را بشنویم. او میکوشید حقانیت خویش را به طریق زیر ثابت کند (قسمتی از نامهٔ وی را عیناً نقل میکنم):

«فرض میکنیم صدای یک نت معین پخش میشود. صدای این نت از مدت‌ها پیش پخش میشده و مدت‌های مدید پخش خواهد شد. شنوندگانی که در فضا در فاصلهٔ معینی از یکدیگر قرار دارند، یکی پس از دیگری همان صدا را (فرض میکنیم صدا ضعیف نمیشود) میشنوند. پس چرا اگر شما با سرعت صوت یا حتی با سرعت خیال به جای هر یک از آنها نقل مکان بکنید، نمیتوانید آن صدا را بشنوید؟»

عیناً همینطور میکوشید ثابت کند که اگر بیننده‌ای با سرعت نور از برقی که در لحظه‌ای میزند، دور بشود، آن برق را همیشه و پیوسته خواهد دید. او در نامهٔ خود نوشته بود:

«در نظر مجسم کنید که تعداد زیادی چشم در فضا یکی پس از دیگری قرار دارد. هر یک از آن چشم‌ها تأثیر نور را پس از چشم قبلی میگیرد. تصور کنید که میتوانید در عالم خیال و پی در پی به جای هر یک از آن چشم ها بروید. واضح است که همیشه آن برق را خواهید دید».

البته نه این استدلال درست است و نه آن، ما در چنین شرایطی صدا را نمیشنویم و برق را

نمی‌بینیم . ضمناً این مطلب از روی فرمول صفحه ۲۳٤ مشاهده میشود . اگر فرض کنیم که در فرمول، $v = -c$ باشد ، طول موج l' که به چشم یا گوش ما میرسد ، معادل بینهایت میشود که با عدم وجود موج یکی است .

* * *

« فیزیک برای سرگرمی » به پایان رسید . اگر این کتاب در خوانندگان گرامی علاقه به آشنائی بیشتر با علمی را که این یک مشت اطلاعات سادهٔ گوناگون و رنگارنگ از پهنه بیکران آن گردآوری شده ، برانگیخته باشد ، مؤلف وظیفه خویش را انجام یافته میشمارد و با خاطری شاد از اینکه به هدفی که در برابر خود قرار داده بود ، رسیده است ، آخرین نقطه را میگذارد و مینویسد

پایان