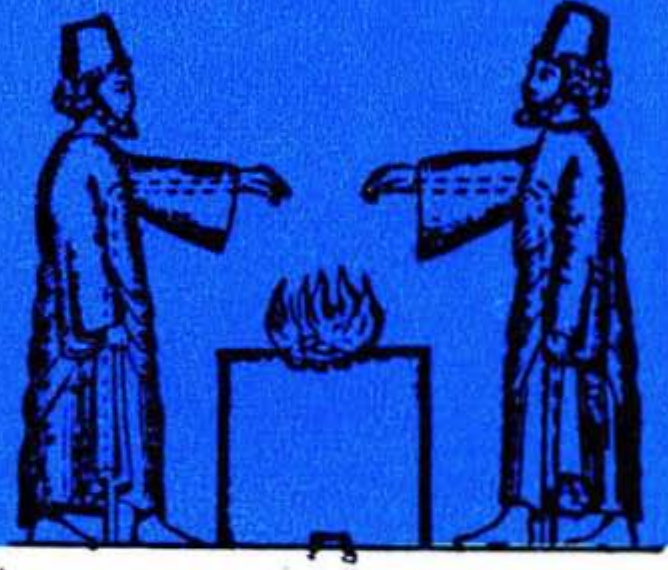
پرلمان

فیزیک
برای سرگرمی



بنگاه نشریات «میر»
مسکو

این کتاب یکی از بهترین تالیفات پاکوف پرلمان است. تا کنون هفده بار به زبان روسی به چاپ رسیده و به بسیاری از زبان‌های خارجی ترجمه شده است.

کتاب دوم «فیزیک برای سرگرمی» ادامه کتاب اول نیست، بلکه اثری است کاملا مستقل و جداگانه. خوانندگان در این کتاب، با تعداد زیادی از طرح‌های «محرک‌های دائمی» آشنا میشوند، از خطاهای باصره جالب اطلاع حاصل میکنند و میفهمند که برای تعیین ارتفاع محل چه چیز را باید جوشاند — گرمامنج یا هواسنج را. آزمایش‌های ساده‌ای که در کتاب توصیف شده است، به خوانندگان کمک میکند تا به ماهیت پدیده‌های فیزیکی که ظاهراً بسیار عادی بوده، اما برای تفکر میدان پهناوری میگشاید، پی‌برند.

کتاب برای قشر بسیار وسیعی از خوانندگان در نظر گرفته شده است.

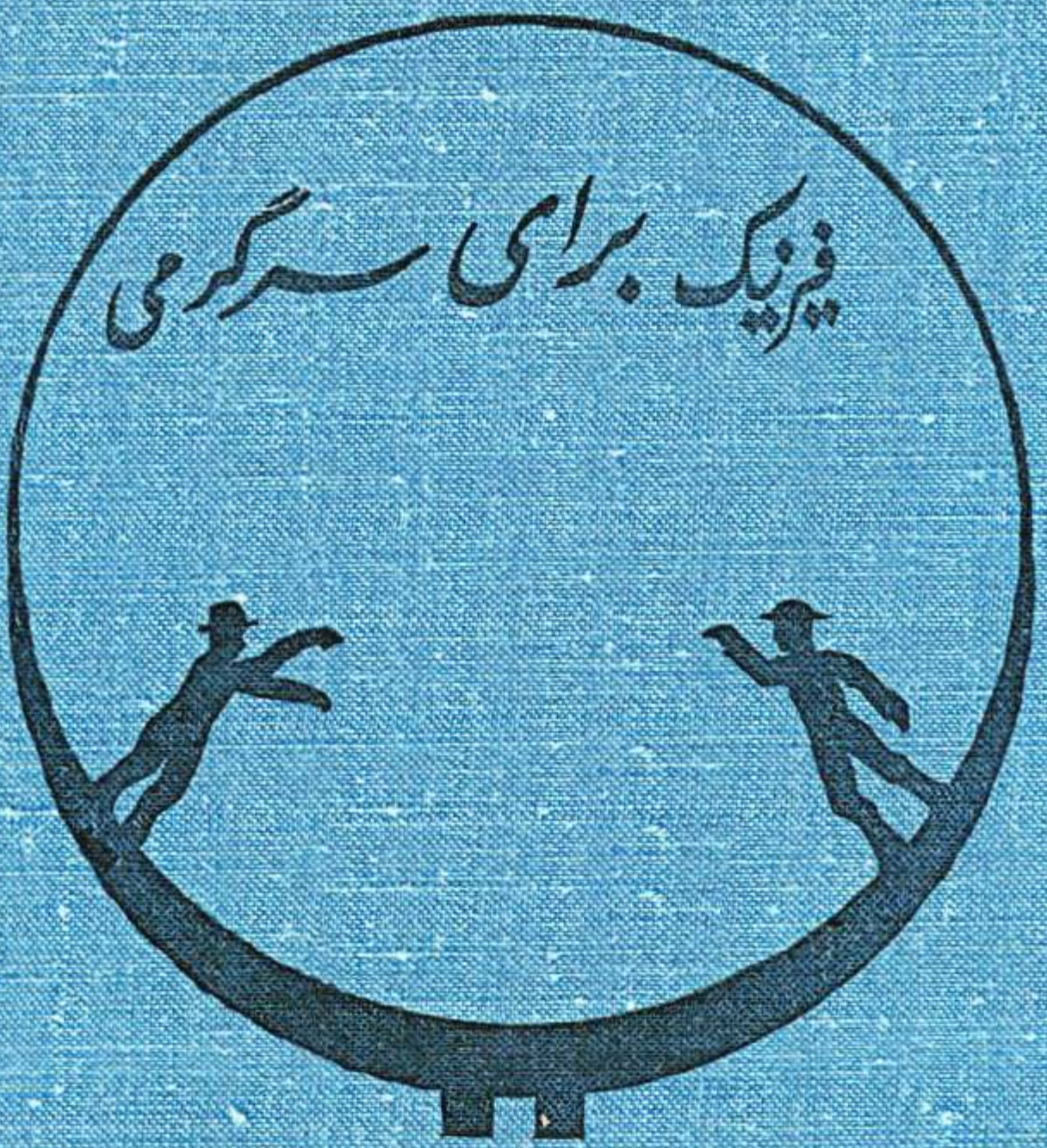
توجه !

کتابی که خواهید خواند توسط اعضای فروم کودکی و نوجوانی برای استفادهٔ شما به رایگان تهیه و آماده شده است

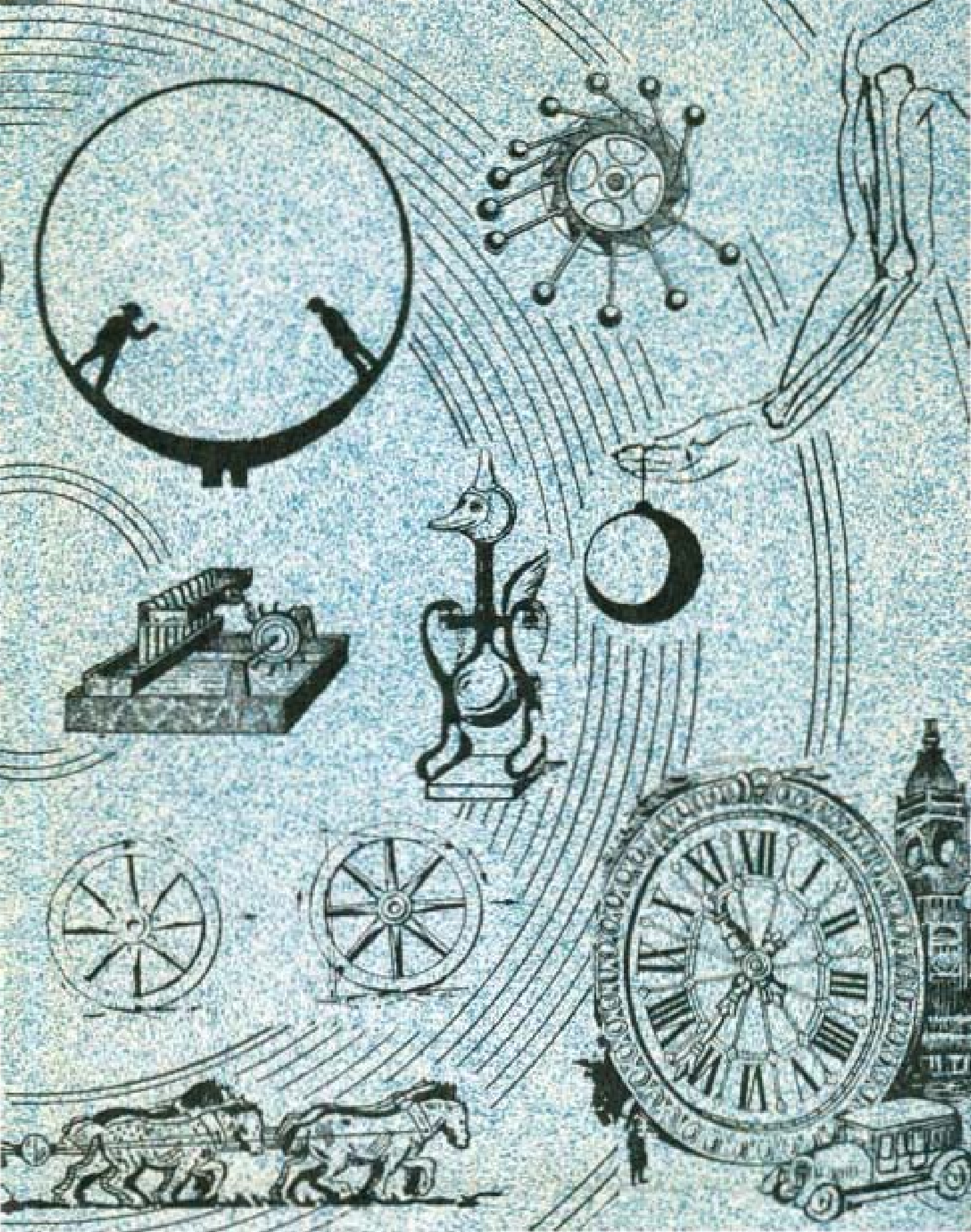
آدرس فروم :

koodaki-nojavani.9forum.info

پرلمان



بنگاه نشریات «میر»
مسکو



بنگاه نشریات «میر»

نسخه ایبوک این کتاب در انجمن کودکی و نوجوانی تهیه شده است:

http://koodakinojavani.9forum.info/forum.html

Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

Занимательная физика

КНИГА II

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА

پرلمان

فیزیک برای سرگرمی

کتاب دوّم

بنگاه نشریات «میر»
مسکو

на персидском языке

© حق چاپ محفوظ و مخصوص
بنگاه نشریات «میر» است

۱۹۷۷

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 زمان» 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 ببخشد. 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

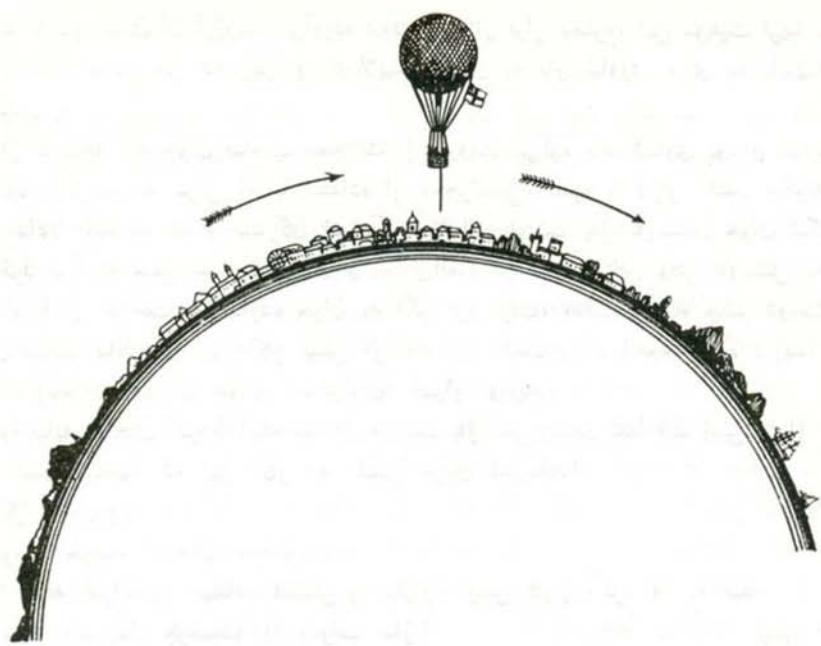
سیرانو دو برژراک نویسنده باقریحه و بذله‌گوی فرانسوی قرن ۱۷ در کتاب هجوآمیز خود «تاریخ دول در ماه» (سال ۱۶۵۲) ضمن سایر مطالب، حادثه عجیبی را که گویا برایش روی داده بود، نقل میکند. یک بار هنگامیکه سرگرم آزمایش‌های فیزیکی بود، به دلیل غیر قابل درکی با ظرف‌های شیشه‌ای خود به هوا بلند شد. وقتی پس از چند ساعت 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 ناملایمت 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.

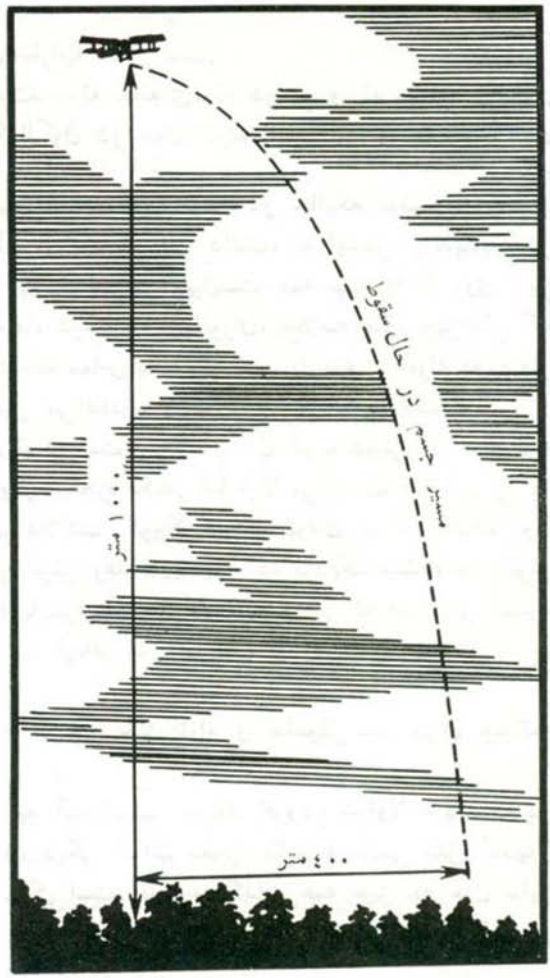
البته یقین دارید که بار در باغ خانهٔ او خواهد افتاد. اما با اینکه باغ و خانه درست زیر هواپیمای شما واقع است، بار بهیچوجه در آنجا نخواهد افتاد.

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.

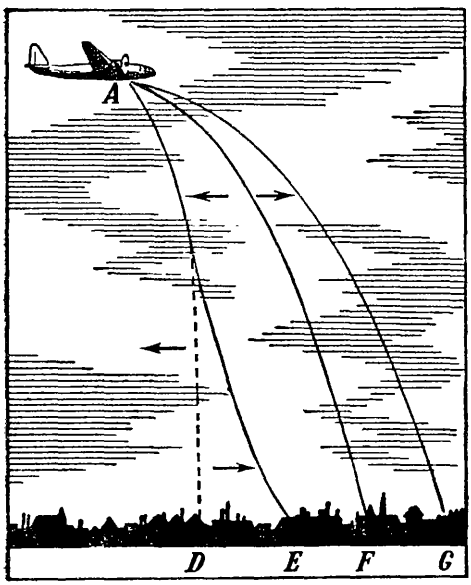
چنانچه هواپیما در ارتفاع زیاد و با سرعت زیاد پرواز کند، انحراف از خط عمودی ممکن است بسیار زیاد باشد. باری که در هوای بی‌باد از هواپیمائی که در ارتفاع ۱۰۰۰ متر با سرعت ۱۰۰ کیلومتر در ساعت پرواز میکند، رها شود، در حدود ۴۰۰ متر جلوتر از آن نقطه‌ای خواهد افتاد که بطور عمودی زیر هواپیما واقع بوده است (شکل ۲).

اگر مقاومت هوا را در نظر نگیریم، حساب کردن آن ساده است. از فرمول حرکت با شتاب ثابت یعنی $S=\frac{gt^2}{2}$ نتیجه میشود که $t=\sqrt{\frac{2S}{g}}$. بنا 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 $\frac{۱۰۰۰۰۰}{۳۶۰۰}\times ۱۴$ 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.

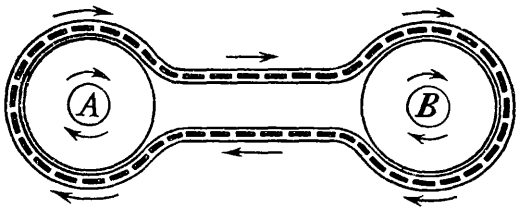


شکل ۳ — مسیر بمب‌هائی که از هواپیما پرتاب میشود: AF — در هوای بی‌باد، AG — وقتی باد در سمت حرکت هواپیما می‌وزد، AD — وقتی باد از روبرو می‌وزد، AE — وقتی باد در بالا از روبرو و در پائین در سمت حرکت هواپیما می‌وزد.

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.

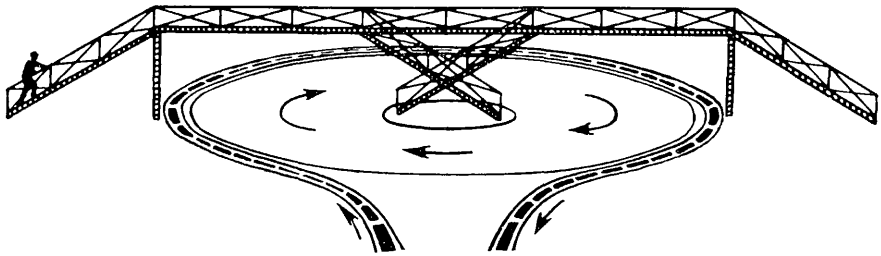
بنابر این، کاملاً امکان‌پذیر است که شرایطی فراهم بیاوریم که وقتی قطار از ایستگاه میگذرد، بی‌آنکه بایستد یا از سرعت خود بکاهد، مسافرین پیاده و سوار شوند.

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.*

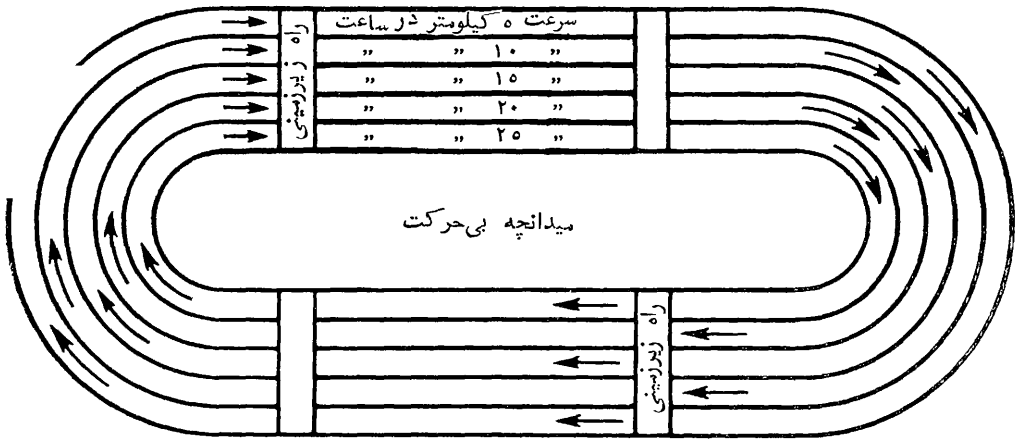
در ایستگاههای راه آهن میتوان حتی بدون سکوهای متحرک مخصوص نیز، مسافران را ضمن حرکت سریع قطار از واگن پیاده و به واگن سوار کرد. تصور کنید که قطار سریع‌السیری از کنار ایستگاه معمولی ساکن میگذرد و ما میخواهیم که بدون توقف قطار، عده‌ای مسافر سوار آن بشوند. فرض کنید که این مسافران فعلاً در قطار دیگری جای دارند 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.

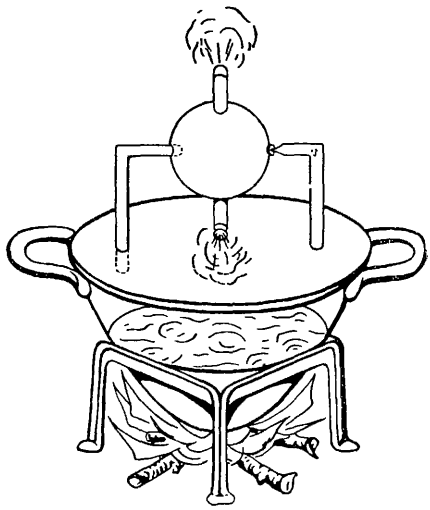
چرا موشک پرواز میکند؟

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 زمان 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.

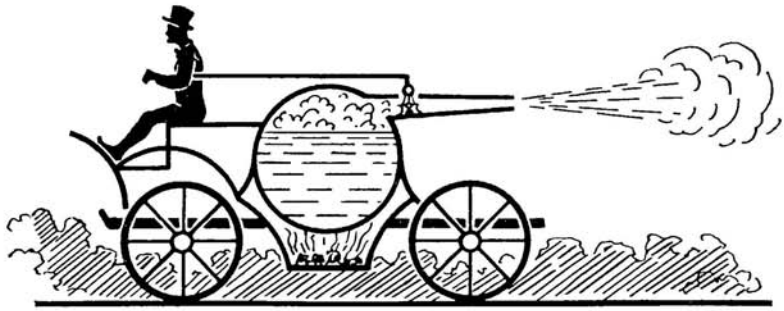
در واقع امر، موشک توپی استکه به جای گلوله گاز از آن خارج میشود. فشفشه‌های دوار که لابد در شب‌های آتش‌بازی دیده‌اید، نیز روی همین اصل میچرخند: چند لوله روی چرخی کار گذاشته شده است، باروت داخل لوله‌ها میسوزد و از یک طرف لوله‌ها با فشار بیرون می‌آید، خود لوله‌ها (و همراه آنها چرخ) به سوی دیگر به حرکت درمی‌آیند 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.

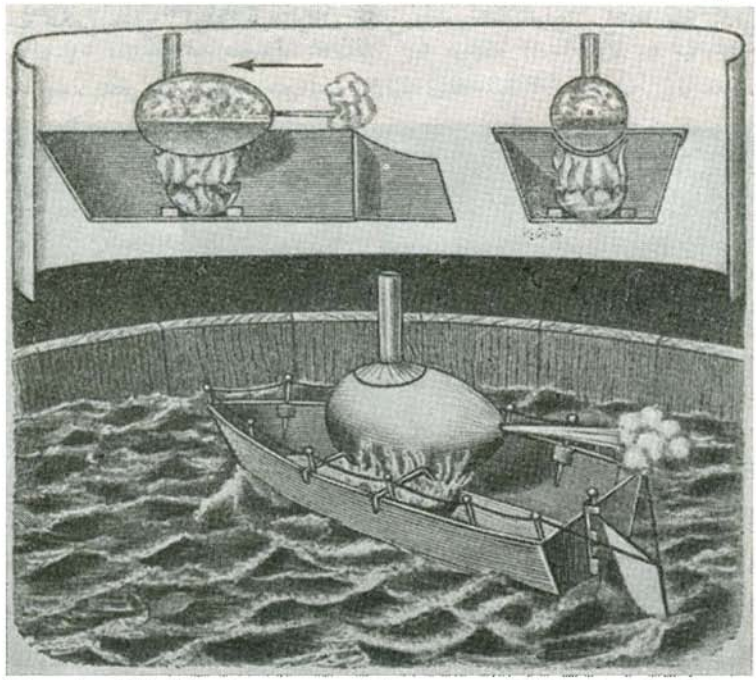
میدانیم که قدیم‌ترین ماشین بخار که در قرن دوم قبل از میلاد به وسیلهٔ هرون اسکندرونی اختراع شده بود، بر اساس همین اصل ساخته شده بود. بخار بوسیلهٔ لوله‌ای از دیگ (شکل ۷) به درون کرهٔ مجوفی که روی یک محور افقی نصب شده بود، میرفت و سپس از دو لولهٔ کوچک زانوئی خارج میشد و این دو لوله را در جهت عکس خمیدگی لوله‌ها به حرکت درمی‌آورد و کره 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.

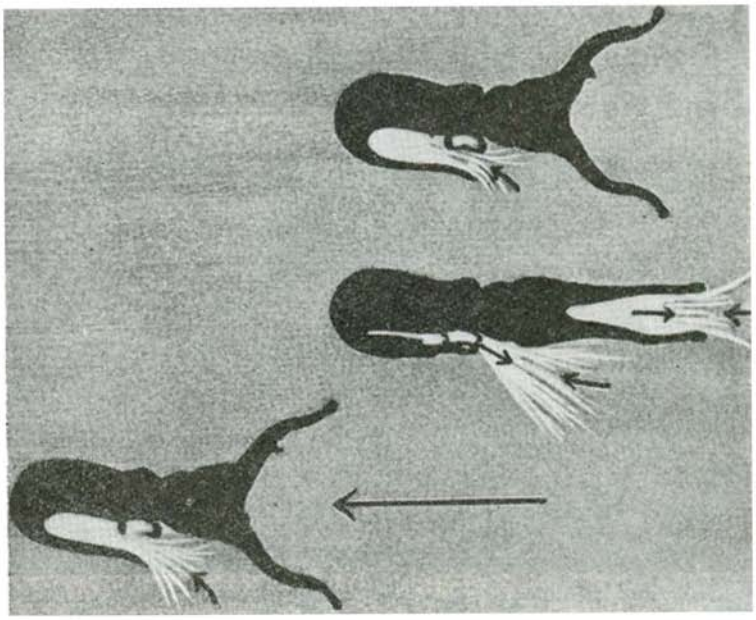
اتومبیل‌های موشکی، نوع معاصر و تغییر شکل یافته همان کالسکه نیوتن میباشد.

برای کسانی که به ساختن دستگاههای مختلف علاقه دارند، شکل یک کشتی کاغذی که به کالسکه نیوتن بسیار شبیه است، در اینجا کشیده شده است (شکل ۹). در دیگ بخاری که از یک تخم 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 سوراخ های پهنوئی 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 شکی 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 سناره‌ای به ستارهٔ دیگر پرواز کنیم؟

چه بسیار رمان‌های تخیلی که در این موضوع نوشته شده، چه بسا اشخاصی که مارا 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.

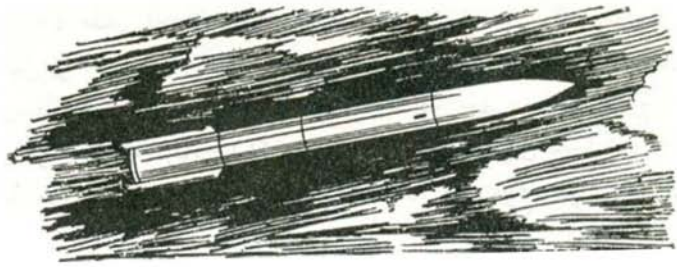
آیا واقعاً هیچ امکانی برای عملی ساختن این آرزوی دیرین وجود ندارد؟ آیا واقعاً اینهمه نقشه‌های جالب که چنان دلچسب و نزدیک به حقیقت در رمان‌ها توصیف شده است، در واقع غیر قابل اجرا است؟ در صفحات بعد باز هم در بارهٔ نقشه‌های خیالی مسافرت به ستاره‌ها بحث خواهیم کرد. اکنون با طرح عملی اینگونه پروازها که برای 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 خوراکی، 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 .

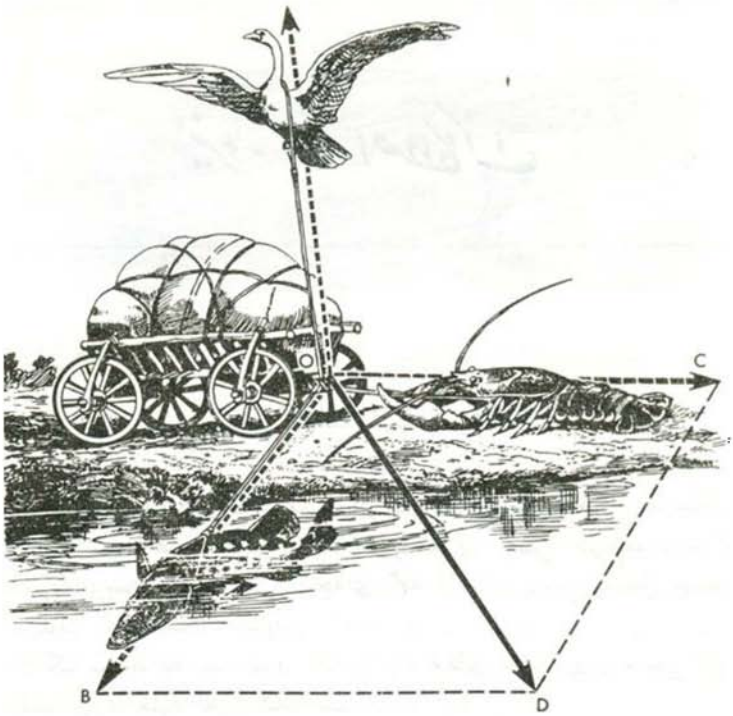
یک مسأله مکانیک مربوط به چند نیرو که با زاویه‌های معین روی جسمی اثر میکنند ، به ما داده شده است . جهت نیروها چنین تعیین شده است :

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 چرخ ها 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

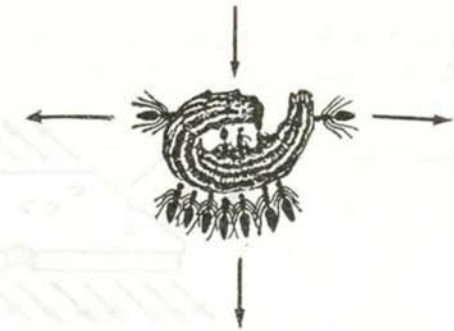


شکل ۱۲ — حل مسأله قو ، خرچنگ و ماهی داستان کریلوف طبق قوانین مکانیک. نیروی منتجهٔ (OD) باید ارابه را به رودخانه بکشد.

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.

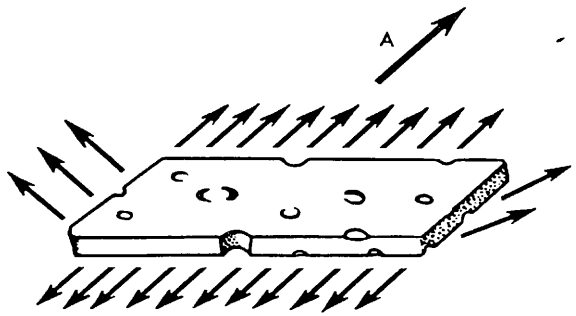
کمتر کسی میداند که مورچه‌ها، این زحمتکشان خستگی‌ناپذیر که همان کریلوف آنها را بعنوان کارکنان نمونه، مورد مدح و ستایش قرار میدهد، هنگام کار دستجمعی درست همانطور عمل میکنند، که در داستان قو و خرچنگ و ماهی مورد تمسخر داستان‌نویس قرار گرفته است. و چرخ کار مورچه‌ها هم، بطور کلی، بد نمیچرخد. در اینجا نیز قانون 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 ۱۵ — 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 ۱۵ یک تکه پنیر به شکل مربع مستطیل تصویر شده است که ۲۵ 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 ۲۵ 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 * .

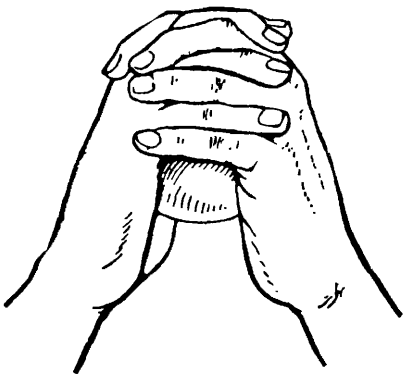
علت استحکام فوق‌العاده پوست تخم مرغ فقط و فقط در شکل محدب آن است و علت استحکام کلیهٔ انواع گنبدها و طاق ها نیز در همین محدب بودن آنها است .

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 .

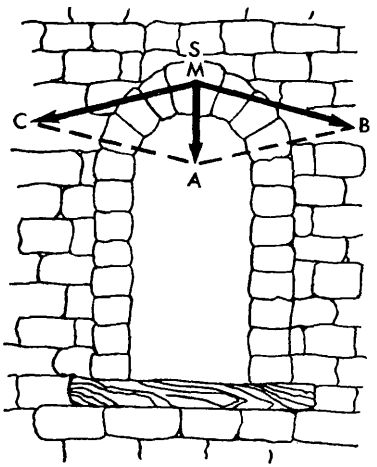
پوست تخم مرغ نیز طاقی است ، اما یکپارچه . وقتی از خارج به آن فشاری وارد آید ، به آن آسانی‌ها که از چنین جسم ظریف و شکننده‌ای انتظار میرود ، نخواهد شکست . میتوان پایه‌های میز نسبتاً سنگینی را روی چهار تخم مرغ نپخته گذاشت و تخم مرغ ها نخواهند شکست (برای اینکه میز استوار بماند باید سر و ته تخم مرغ ها را 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 .

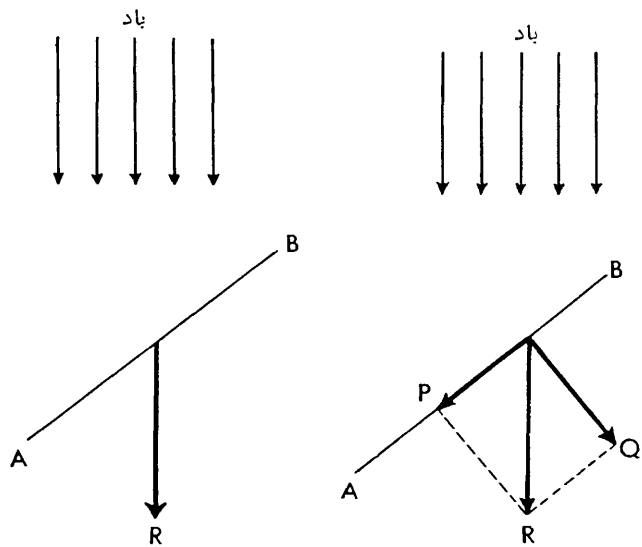
با بادبان در خلاف جهت باد

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

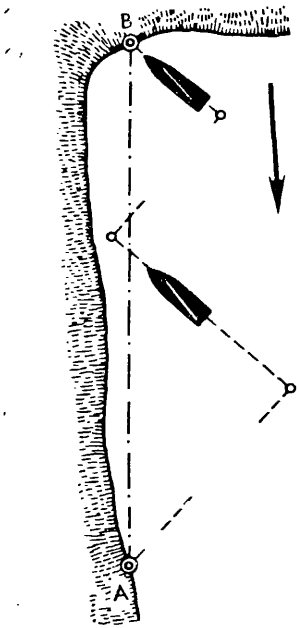
در حدود یک چهارم زاویهٔ قائمه است ، و حرکت کردن درست در خلاف جهت ا د یا با زاویهٔ ۲۲ درجه نسبت به آن — هردو به یک اندازه غیر قابل فهم است .

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 .

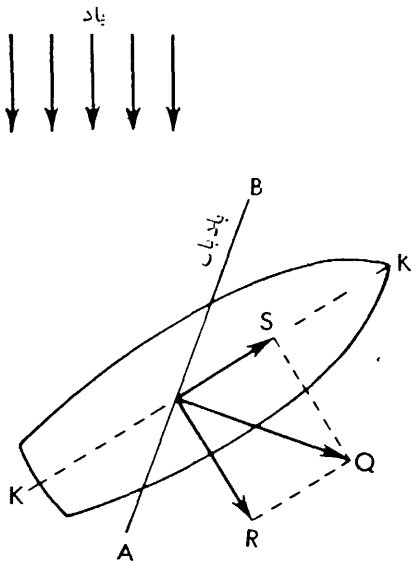
وقتی این مطلب را دانستیم می‌فهمیم که چگونه کشتی بادی میتواند با زاویه کوچکی در خلاف جهت باد حرکت کند . فرض میکنیم که خط KK خط طولی کشتی است (شکل ۱۹) . باد در سمتی که بوسیلهٔ چند بردار نشان داده شده ، تحت زاویهٔ حاده بر این خط میوزد . خط AB نمایش دهندهٔ بادبان است . بادبان را طوری نگه میدارند که سطح آن 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 .

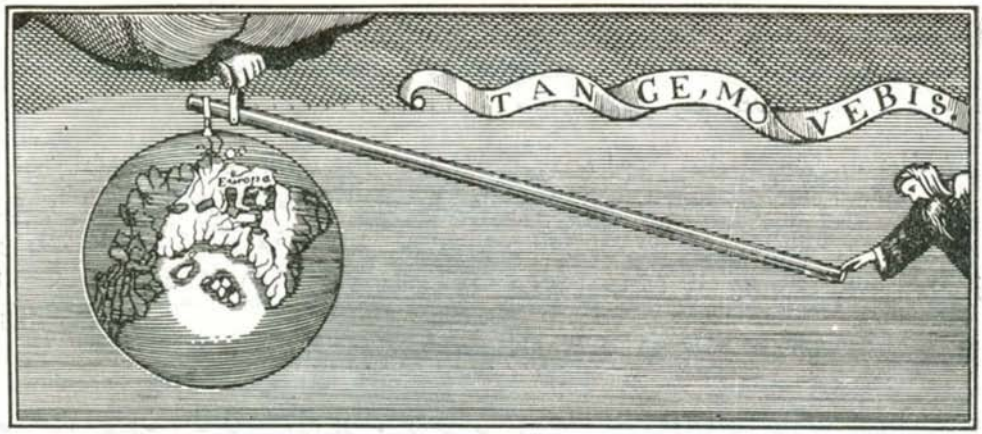
دو نیرو تجزیه میکنیم : نیروی R عمود بر خط طولی کشتی ، و نیروی S در سمت خط طولی کشتی به طرف جلو. از آنجا که حرکت کشتی در جهت R با مقاومت شدید آب رو برو میشود (در کشتی‌های بادی تیر حمال طولی در عمق زیادی قرار دارد) میان نیروی R و مقاومت آب تقریباً تعادل بر قرار میشود. فقط نیروی S باقی میماند ، و این نیرو ، 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 وارینیون (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 بر 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 بیلیون 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 :

$$\lg ۵۰۰۰ = \lg f + ۲\pi \times \lg ۲/۷۲ \quad \text{یعنی}$$
$$f = ۹/۳ \text{ کیلوگرم}$$

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.

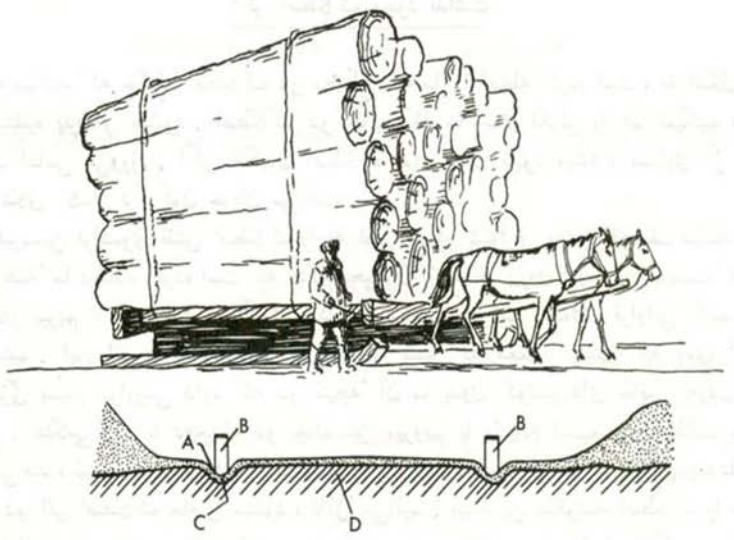
اصطکاک پدیده‌ای است بقدری معمول و متداول که جز موارد فوق‌العاده استثنائی نیازی نیست که آن را به یاری بخواهیم، خودش به یاری ما میشتابد.

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 ما را 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 تراموای 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».

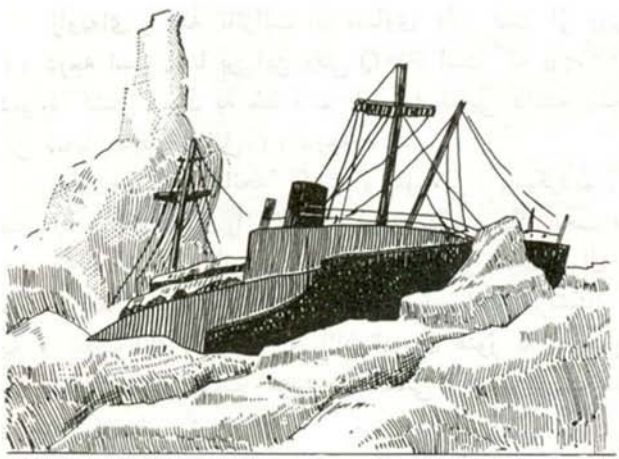
«ضمن تصادم سه اتومبیل و دو واگن تراموای در نزدیک هایدپارک، ماشین ها به علت انفجار بنزین بکلی نابود شدند...»

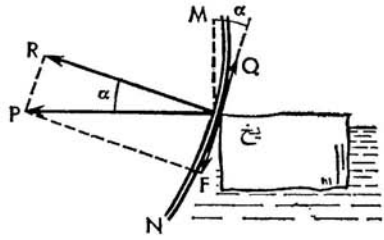
«پاریس، ۲۱ — یخبندان در پاریس و حومه آن باعث حوادث فلاکت‌بار فراوانی شده است...»

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 یخ‌های 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 یخ‌ها. 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 تو 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 :

$$Q=0/2R$$

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 $Q=R\times 0/2$ است پس از نامساوی $F>Q$ نامساوی دیگری حاصل میشود : $R<Rtg\alpha$ یا $tg\alpha>0/2$

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 $\alpha<11^\circ$ 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 متورم شدهٔ بدنهٔ کشتی در محل اتصال

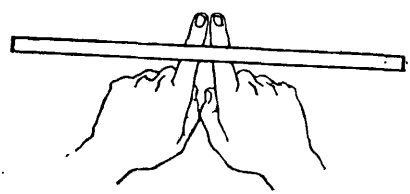
میترکیدند . میخ های پرچ با صدای شدیدی به اطراف میپریدند . در یک چشم به‌هم زدن کنارهٔ چپ کشتی از ته دماغهٔ کشتی تا انتهای پاشنهٔ عرشه کنده شد ... »

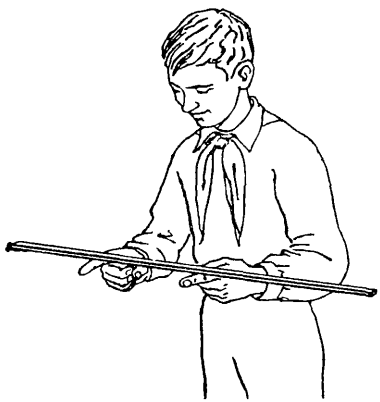
پس از مطالعهٔ آنچه در اینجا گفته شد ، لابد علت فیزیکی این سانحه برای خوانندگان روشن است .

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 ۲٤ 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 .



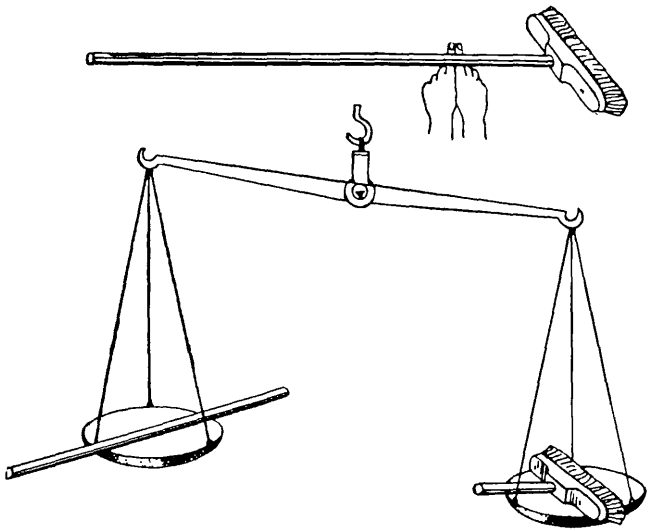


شکل ۲٤ — آزمایش با خط‌کش.
در بالا : پایان آزمایش.

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

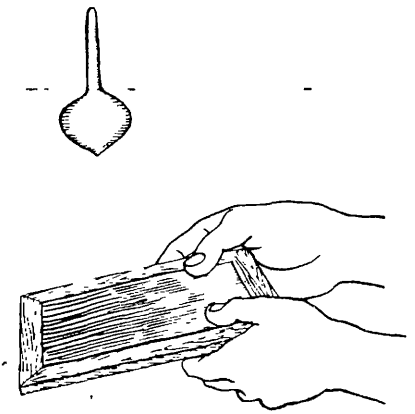
چرا فرفرهٔ در حال چرخش نمی‌افتد ؟

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.

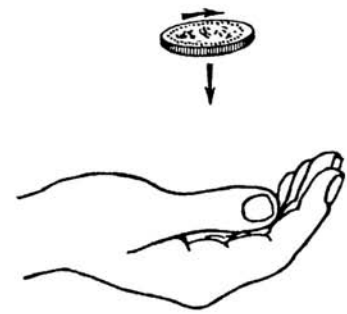
از بررسی کلیهٔ حرکت‌هائی که هنگام تأثیر نیروی خارجی بر فرفره در آن به وجود می‌آید ، صرفنظر میکنیم . این بررسی احتیاج به توضیحات بسیار مفصل دارد که البته خسته‌کننده است . فقط یک مطلب را توضیح میدهیم و آن اینکه به چه علت همهٔ اجسام در حال چرخش میکوشند جهت محور چرخش خود را بدون تغییر نگه دارند .

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 .

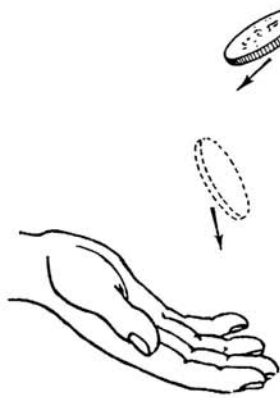
هنر ژنگلورها

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

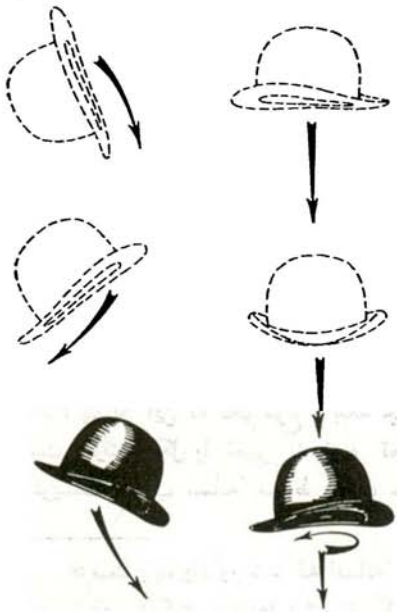


شکل ۲۸ — سکه‌ای را که ضمن پرتاب بچرخانند این طور در هوا حرکت میکند.



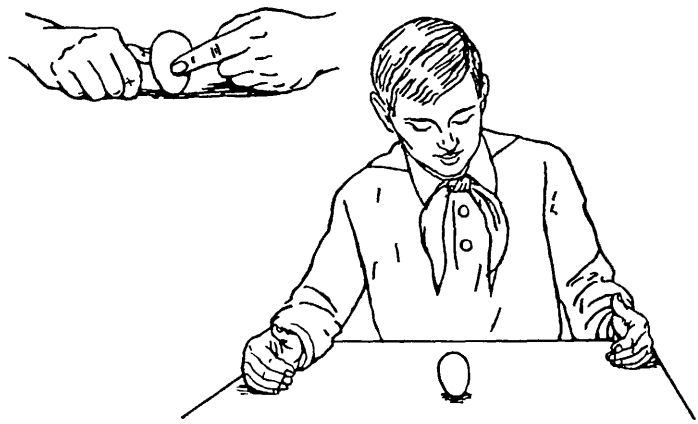
شکل ۲۹ — سکه‌ای که بدون چرخش پرتاب شده باشد، به حالت تصادفی می‌افتد.

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.

---

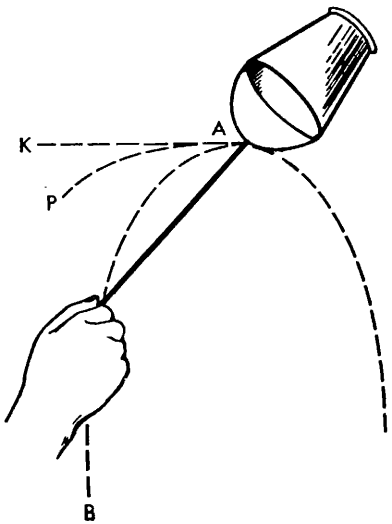
* ضمناً باید یادآور شد که افسانهٔ معروف تخم مرغ کریستف کلمب پایه و اساس تاریخی ندارد. آنچه شخص دیگری مدت‌ها پیش از کریستف کلمب و به علت کاملاً دیگری انجام داده، در افواه به این دریانورد شهیر نسبت میدهند. این شخص برونلسکی (۱۳۷۷ — ۱۴۴۶ میلادی) معمار ایتالیائی و سازندهٔ گنبد عظیم کلیسای فلورانس بود. او 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 مرکزگرای 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 مرکزگرای 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 :

$$\frac{v^2}{۰/۷} \geqslant ۹/۸ \; ; \; v \geqslant \sqrt{۰/۷ \times ۹/۸} \; \text{و بالاخره} \; v \leqslant ۲/۶ \; \text{متر در ثانیه}$$

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 * .

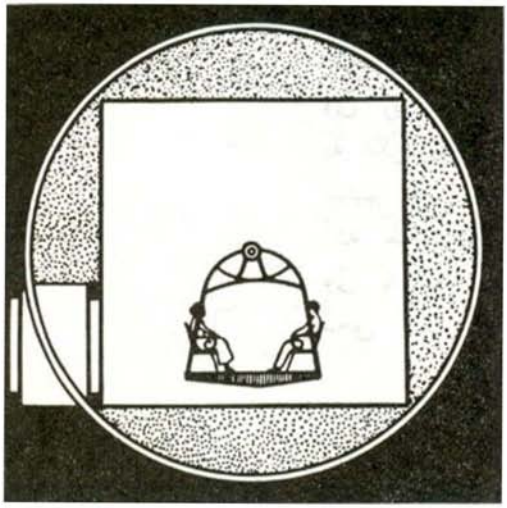
---

* 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 متشکله 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:



شکل ۳۳ — شمای ساختمان «تاب شیطان».

«تاب از یک سیلهٔ عرضی در ارتفاع معینی از کف اطاق آویزان است. وقتی همه نشستند، مأمور ویژه‌ای درب ورودی را می‌بندد، تخته‌ای را که از روی آن وارد میشوند برمیدارد 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.

در این میان نوسان‌های تاب دمبدم شدیدتر میشود. ظاهراً، تاب تا سطح سیلهٔ 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 سیلهٔ 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 گذاست و در تمام مدتی که تاب میخوریم به شاخص ترازو نگه کرد. شاخص ترازو همیشه همان وزن وزنه، یعنی یک گیلوگرم 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 گاه سنگین‌تر میشود و گاه تقریباً هیچ وزنی ندارد. حال که این پدیده ملاحظه نمیشود، پس اطاق میگردد، نه ما.

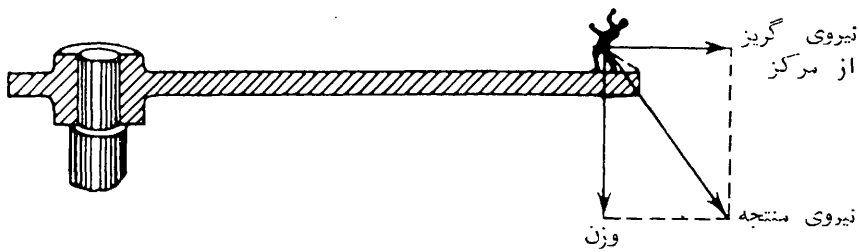
در کرهٔ «جادوشده»

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.

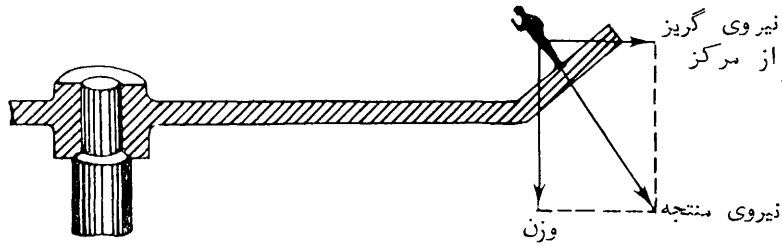
ابتدا به یاد می‌آوریم که وقتی انسان روی سکوی گردی که به سرعت میگردد، ایستاده است چه حس میکند.

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.

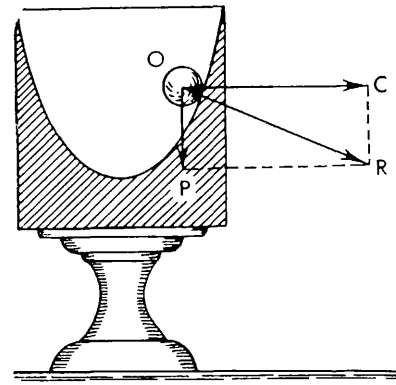
اگر به عوض آب در استکان موم مذاب بریزیم و استکان‌را آنقدر بگردانیم تا موم سرد شود، آنوقت سطح موم سفت‌شده یک شکل شلجمی کاملاً دقیق خواهد بود. این سطح وقتی با سرعت معینی بگردد، برای اجسام سنگین مانند سطح افقی است. گلوله‌ای را که در هر یک از نقاط آن قرار بدهیم، به پائین نمی‌غلتد، بلکه در همان سطح باقی میماند (شکل ۳۶).

حالا به آسانی میتوان ساختمان کره «جادوشده» را فهمید.

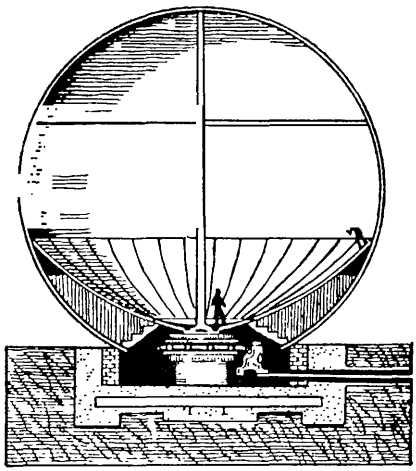
کف آن (شکل ۳۷) سکوی بزرگ گردنده‌ای است که به شکل منحنی شلجمی ساخته شده. گرچه عمل گردش بوسیله دستگاهی که زیر سکو پنهان است، بسیار یکنواخت و هموار صورت میگیرد، ولی باوجود این اگر اشیائی که در اطراف آدم هستند همراه او نمیگردیدند، آدم روی این سکو دچار سرگیجه میشد. برای اینکه به بیننده امکان ندهند حرکت را 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).

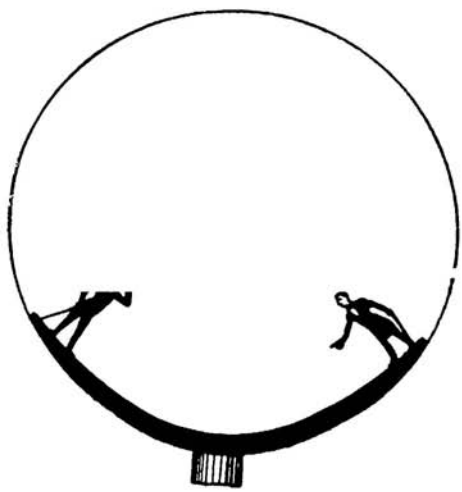
اگر در کف کرهٔ «جادوشده» آب بریزند، آب در سطح مقعر آن پخش میشود و به صورت لایه‌ای با ضخامت یکنواخت می‌ایستد. به نظر آدم‌ها می‌آید که آب مانند دیوار مایلی جلو چشم آنها ایستاده است.

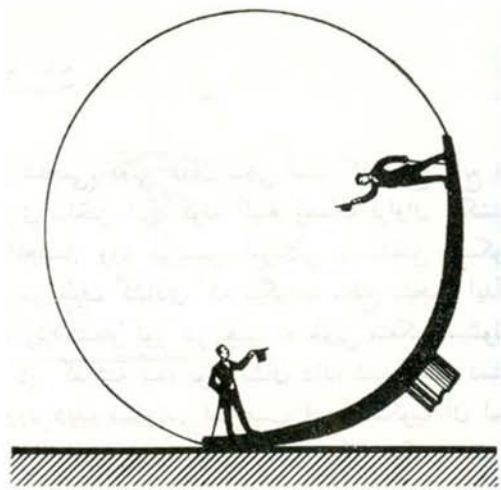
گوئی در این کرهٔ حیرت‌آور تصورات عادی در بارهٔ قوانین ثقل نابود میشوند و ما به جهان افسانوی معجزات نقل مکان میکنیم...

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).

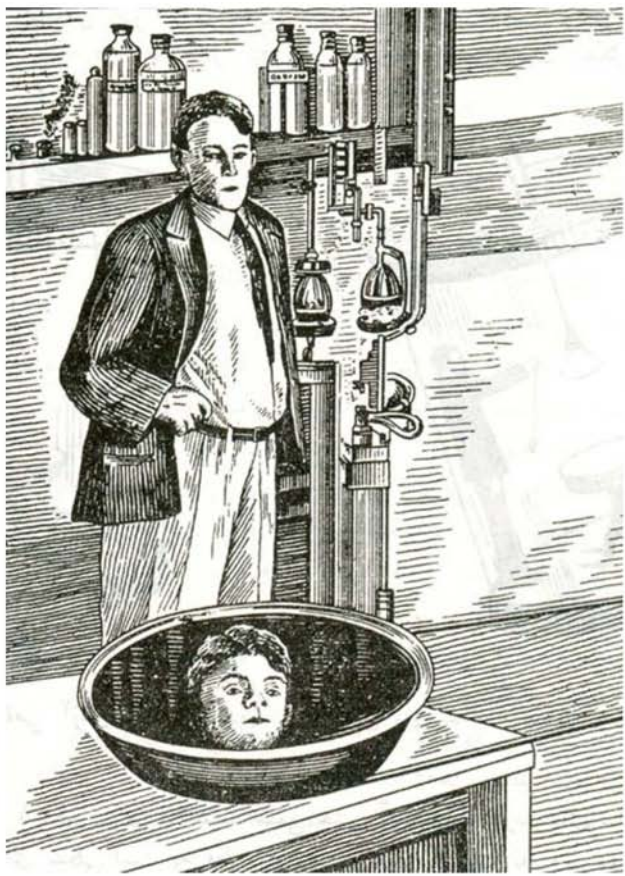
شکل ۳۹ — حالت واقعی آزمایشگاه گردنده.

شکل ۴۰ — حالت تصوری همان آزمایشگاه گردنده.

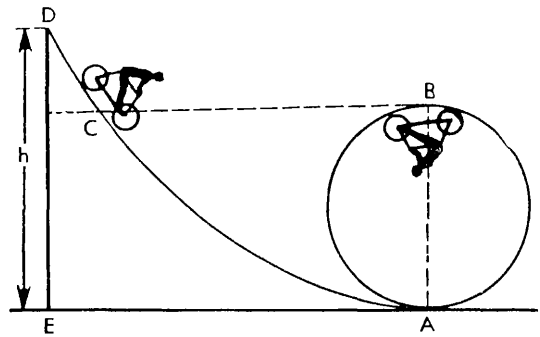
در آلمان در شهر گتینگن برای تحقیقات علمی چنین آزمایشگاه گردنده‌ای ساخته‌اند. این آزمایشگاه (شکل ۳۹) اطاق استوانه‌ای شکلی است به قطر ۳ متر که با سرعت تا ۵۰ دور در ثانیه میگردد. چون کف اطاق مستوی است، وقتی اطاق میگردد، کسی که پای دیوار ایستاده باشد، به نظرش می‌آید که گوئی اطاق به عقب کج شده و خود او روی دیوار مایلی دراز کشیده است (شکل ۴۰).

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، بستگ 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. اما 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 در 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* $v=\sqrt{2gx}$ یا $v^2=2gx$ بیان میشود. بنا بر این سرعت دوچرخه‌سوار در نقطهٔ B نیز مساوی است با $\sqrt{2gx}$، یعنی $v^2=2gx$.

سپس، برای آنکه دوچرخه‌سوار وقتی به بالاترین نقطهٔ راه دایره‌ای رسید، نیافتد، باید (با فرمول‌های ص ۵۲ مقایسه کنید) شتاب مرکزگش حاصله در این نقطه بیش از شتاب ثقل باشد، یعنی باید $g<\frac{v^2}{r}$ یا $gr<v^2$ باشد. میدانیم که $v^2=2gx$، بنا بر این باید $gr<2gx$ یا $x>\frac{r}{2}$ 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 $\frac{1}{2}$ 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 $\frac{1}{4}$ 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 اتکاء 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).

کمبود وزن

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 کاسته 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 مرکزگرا با مجذور سرعت نسبت مستقیم دارد، میتوان به آسانی حساب کرد که زمین باید با چه سرعتی بچرخد تا شتاب مرکزگرا 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؟

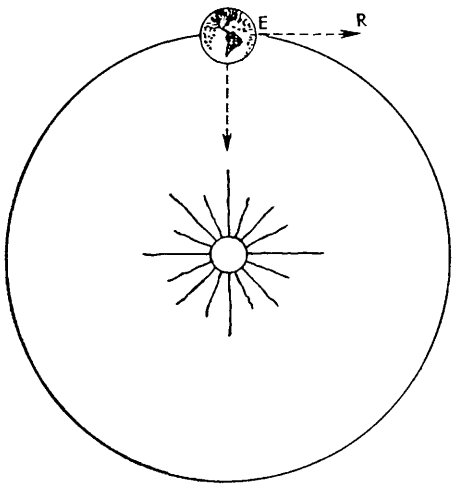
آراگو منجم نامدار فرانسوی نوشته است: «اگر ما در هر دقیقه سقوط اجسام را مشاهده نمیکردیم، این امر برای ما عجیب‌ترین پدیده بود». در نتیجهٔ عادت است که جذب کلیهٔ اجسام بوسیلهٔ زمین به نظر ما پدیده‌ای طبیعی و عادی می‌آید. آما وقتی به ما میگویند که اجسام نیز یکدیگررا جذب میکنند، حاضر نیستیم باور کنیم، زیرا 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 نپتون 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.

طناب فولادی از زمین به خورشید

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 ۲۰۰۰۰۰۰ 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 مسدودی 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 کەور «کەوریت» 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 کەور 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 «کەوریت» 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 «کەوریتی» 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 حرکات 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».

تیراندازی در ماه

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 تفنگ 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:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{500^2}{2 \times 10} = 12500 \text{ متر}$$

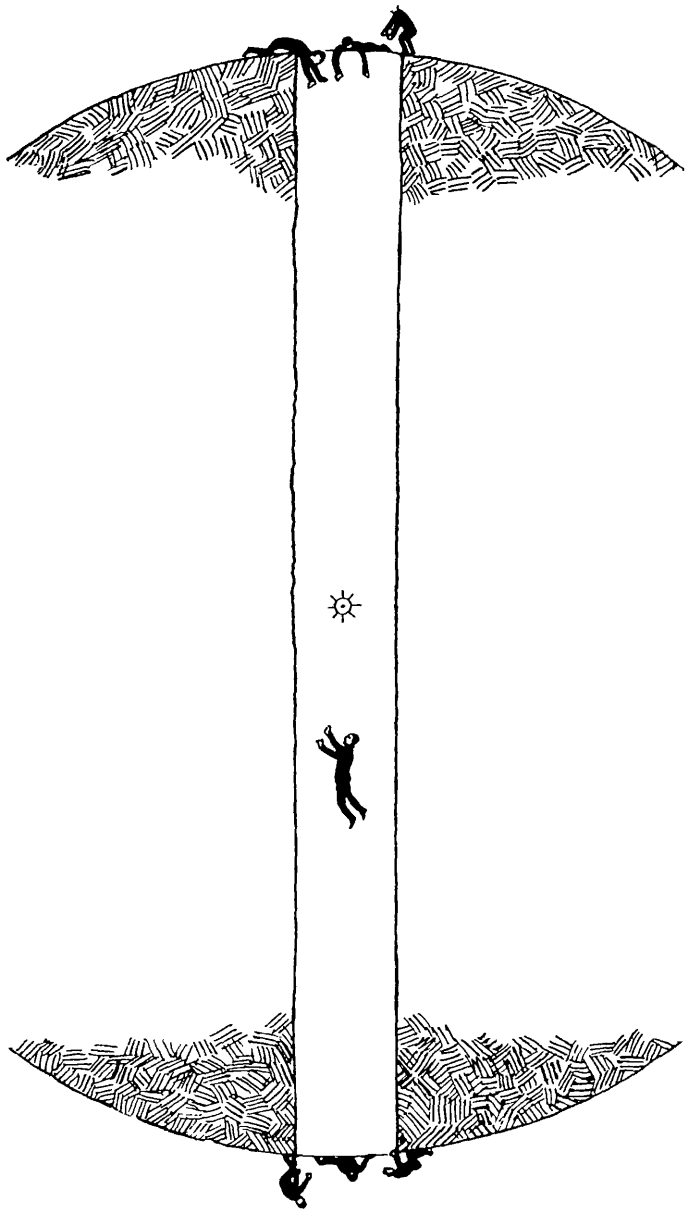
یا ١٢/٥ کیلومتر. اما در ماه که شدت ثقل شش بار کمتر است g معادل $\frac{10}{6}$ خواهد بود و ارتفاعی که گلوله تا آنجا بالا رفته، باید معادل ٦×١٢٥٠٠ یعنی ٧٥ کیلومتر باشد.

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 ٤٥ — 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.

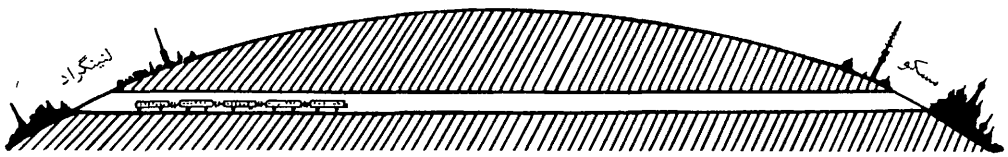
فلاماریون سپس میگوید:

«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 انحنا 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 ریل‌گذاری 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!

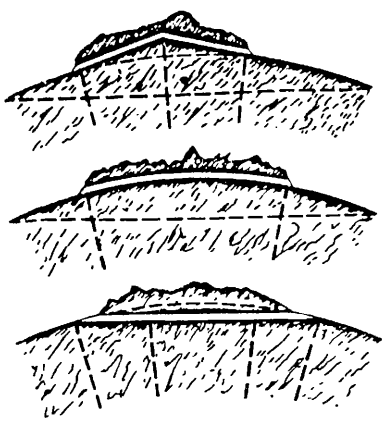
تونل ها را چگونه حفر میکنند؟

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

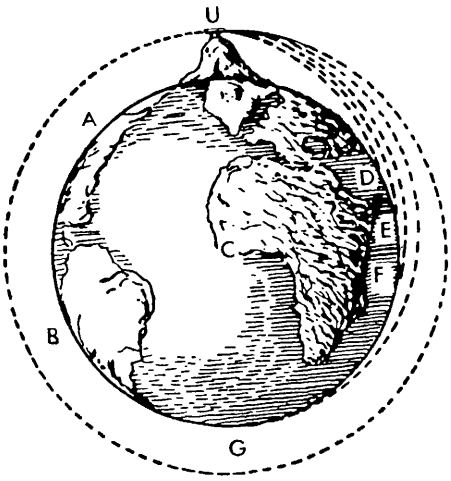
رشته سخن را به نیوتن نابغه و کشف قانون جاذبهٔ عمومی میسپاریم. او در اثر خود «اصول ریاضی فیزیک» می‌نویسد *:

«سنگی‌را 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 دوباره 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. اولاً — 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. باربیکن کاملاً 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 جدی‌تر 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 یابد. 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 آناً له میشدند. در لحظهٔ تیراندازی وزن فقط سیلندر مستر بارییکن 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 ما را 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 امتداد یابد... 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 میابد، 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 اتومبیل 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 زمان 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).

$$S = ۲۱۰ = \frac{at \times t}{۲} = \frac{۱۶۰۰۰\, t}{۲} = ۸۰۰۰\, t \quad \text{و} \quad v = at = ۱۶۰۰۰$$

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 :

$\frac{۱}{۴۰}\, a = ۱۶۰۰۰$ 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 .*

---

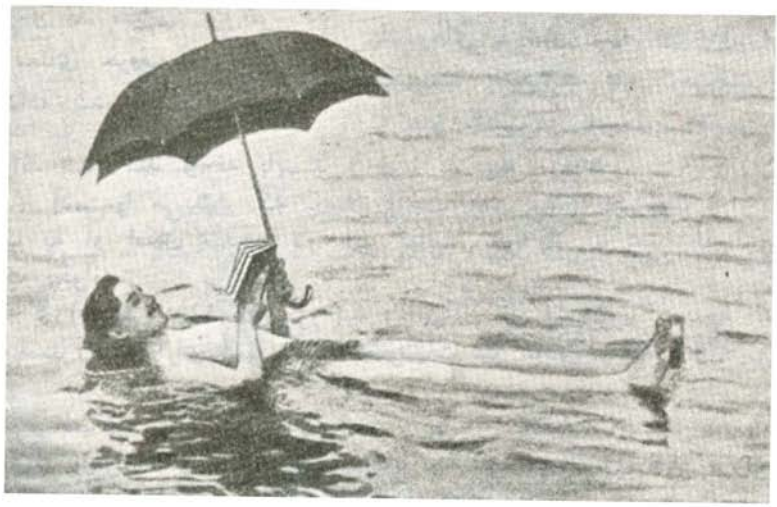
* کلیه احکام و قضاوت‌های این فصل صحیح است، و اما در باره اینکه مسألهٔ پروازهای فضائی عملاً چگونه حل میشود ، خوانندگان میتوانند از مطبوعات سال های اخیر اطلاعاتی بدست بیاورند (هیأت تحریریه) .

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.



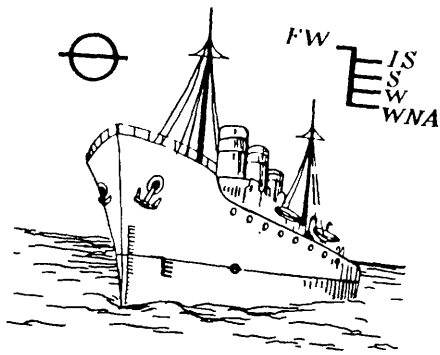
شکل ۴۹ — آدم در سطح بحر لوت (از روی عکس).

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 از 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 سرگبار 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 «لیتکه» 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 دربسته‌ای 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 پیشامد 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

---

* ت 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 ۳۰ متر بالا می‌آمد (در نتیجهٔ آنکه آب‌های فشرده شده حجم معمولی خود را بدست می‌آوردند) . « آب اقیانوس ها ۵۰۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع خشکی را که وجود 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 . *

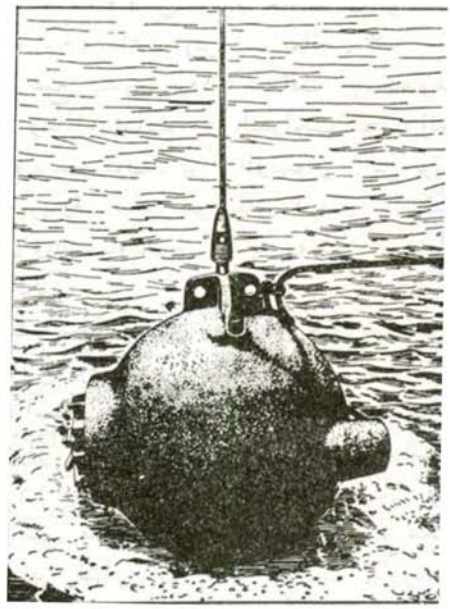
این رزم‌ناو زیردریائی میتوانست بدون اینکه در راه به هیچ بندری برود ، مسافت بین بندرهای فرانسه و جزیره ماداگاسکار را بپیماید . « سورکوف » از لحاظ وسائل آسایش و استراحت محل زندگی سرنشینان ، شاید ، از « ناوتیلوس » دست کمی نداشت . بعلاوه « سورکوف » بر « ناوتیلوس » این برتری مسلم را نیز داشت که در عرشهٔ فوقانی 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 اصطکاک 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 ۱۱/۵ کیلومتر رسید! طبق معلومات کنونی این گودترین جا در جهان است.

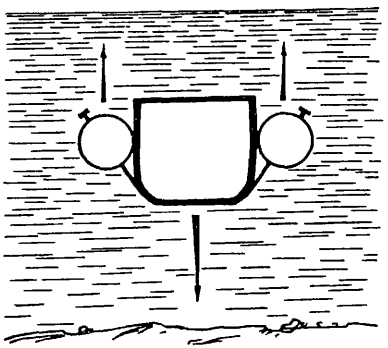
یخ‌شکن «سادکو» را چگونه بالا آوردند؟

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 مأسور کارهای زیرآبی ویژه» هستند، با بالا آوردن بیش از ۱۵۰ کشتی بزرگ از زیر آب در جهان شهرت بسزائی کسب کرده اند. 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.

ببریتسکی سرمهندس کشتی سازی مؤسسه نامبردهٔ بالا که رهبری این کارها را برعهده داشت، مینویسد:

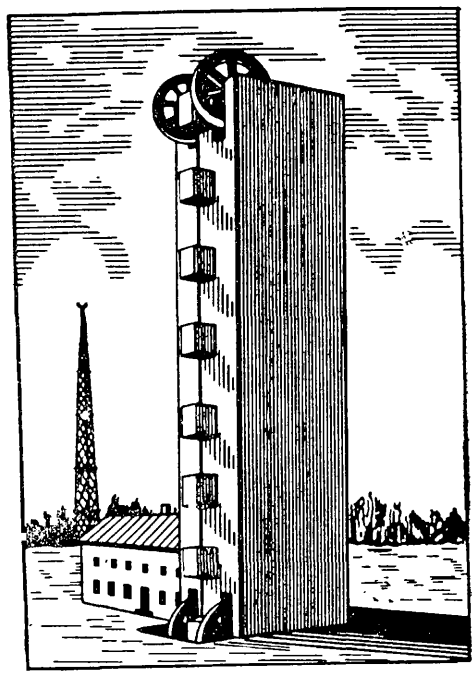
«دسته مأمور نجات چهار بار با عدم موفقیت روبرو شد تا بالاخره توانست موفق شود. سه بار با دقت و هیجان منتظر بالا آمدن کشتی بودیم اما، بجای آن، می‌دیدیم که پانتون‌های کنده شده در میان کوهی از امواج کف‌آلود بسرعت و بی‌نظم و ترتیب به سطح آب می‌آمدند و شلنگ‌های پاره‌شده، چون مار زخمی به خود می‌پیچیدند. دو بار 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

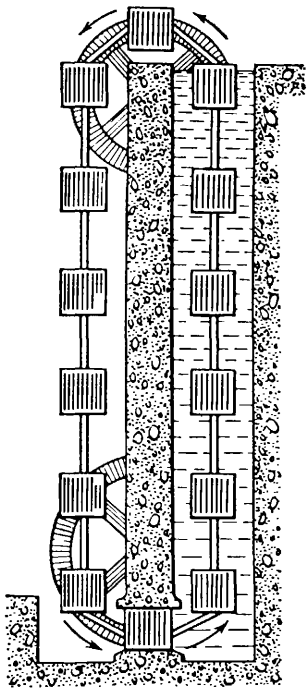
در میان طرح‌های بیشمار «محرک‌های دائمی» طرح‌های زیادی نیز بوده است که بر اساس روی آب آمدن اجسام شناور تنظیم شده بود. ستون توخالی بزرگی به ارتفاع ۲۰ متر پر از آب است. در بالا و پائین ستون دو قرقره کار گذاشته شده که طناب محکمی به شکل نوار بی‌انتها به روی آنها کشیده شده است. ۱٤ جعبه مکعب توخالی به طول یک 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.

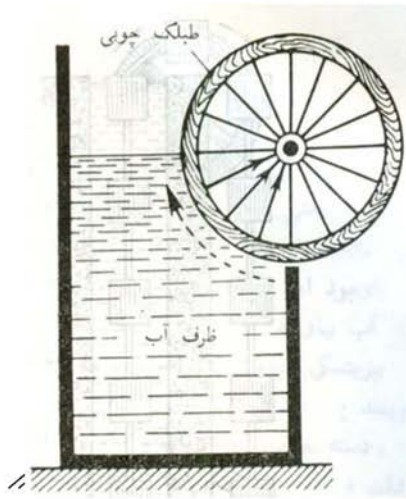
حالا روشن است که اگر در سراسر کشور تعداد زیادی از این دستگاهها بسازیم، از آنها کار بی‌حد و حصری بدست می‌آوریم که برای تمام نیازمندیهای اقتصاد ملی کافی است. دستگاهها آرمیچر دینام‌ها را میچرخانند و به هر مقدار که بخواهیم نیروی برق میدهند.

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



شکل ۵۵ — باز هم یک طرح دیگر محرک «دائمی» آبی.

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.

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 مسألهٔ 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.

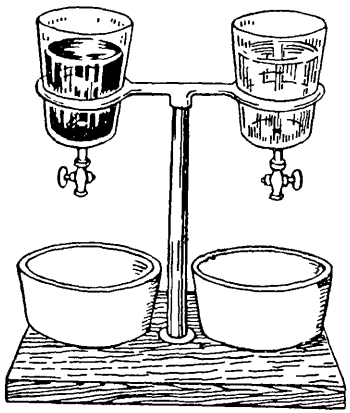
ساده بود، اما درست نبود. نباید فکر کرد که سرعت ریزش آب از اول تا آخر یکسان است و تغییر نمیکند. وقتی یک استکان آب از سماور ریخت، آب از شیر سماور با فشار کمتری میریزد،

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.

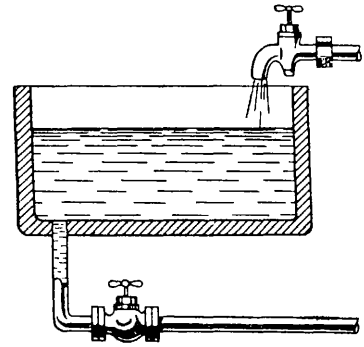
حالا به مسأله‌ای که اول طرح کرده بودیم، برمیگردیم. اگر پس از ریختن ٢٠ استکان آب از سماور ارتفاع سطح آب بالای سوراخ شیر سماور چهار بار کمتر شود، استکان بیست و یکم در مدت زمانی دو برابر استکان اول پر خواهد شد. اگر پس از مدتی ارتفاع سطح آب ٩ بار کمتر شود برای پر کردن استکان بعدی مدت زمانی سه بار بیشتر از 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؟»



شکل ۵۷ — مسألهٔ حوض آب.

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:

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

$$\frac{۱}{۵} - \frac{۱}{۱۰} = \frac{۱}{۱۰}$$

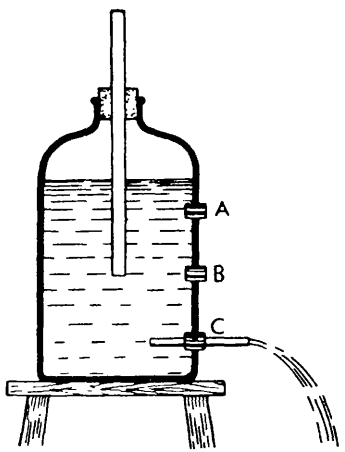
حوض پر میشود، بنا بر این برای پر شدن تمام حوض ۱۰ ساعت وقت لازم است. این راه حل نادرست است. دخول آب به حوض را میتوان با فشار ثابت و در نتیجه یکنواخت شمرد، اما خروج آب از حوض در شرایط تغییر سطح آب صورت میگیرد، بنابر این غیر یکنواخت است. از اینکه لوله دوم حوض را در $\frac{۱}{۱۰}$ ساعت خالی میکند، بهیچوجه 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 بعد سال ۱۶۵۴ 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.

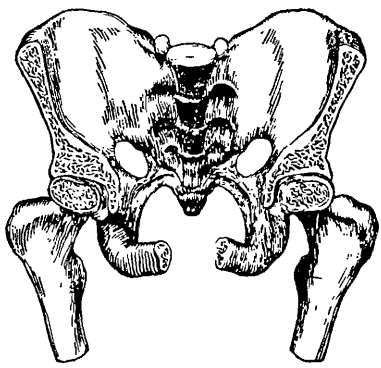
من دو نیمکرهٔ مسی هر یک به قطر سه چهارم گز ماگدبورگ* سفارش دادم. اما در واقع

* 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 $\frac{۱۰۰۰}{۸۰}$ 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

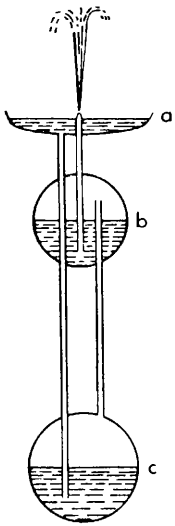
لابد خوانندگان گرامی با آن نوع فوارهٔ معمولی که به هرون مکانیسین دوران باستان نسبت میدهند، آشنائی دارند. قبل از آنکه به شرح و توصیف تازه‌ترین انواع این دستگاه بسیار جالب بپردازیم، ساختمان فوارهٔ هرون‌را یادآور میشویم. فوارهٔ هرون (شکل ۶۰) از سه ظرف عبارت است که ظرف بالائی a سرباز و دو ظرف دیگر b و c 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 ٤ کیلومتر در ساعت. نیروی کشش هر اسب را بطور متوسط معادل ۱۵ درصد وزن آن اسب میگیرند. اسب سبک در حدود ٤۰۰ 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.

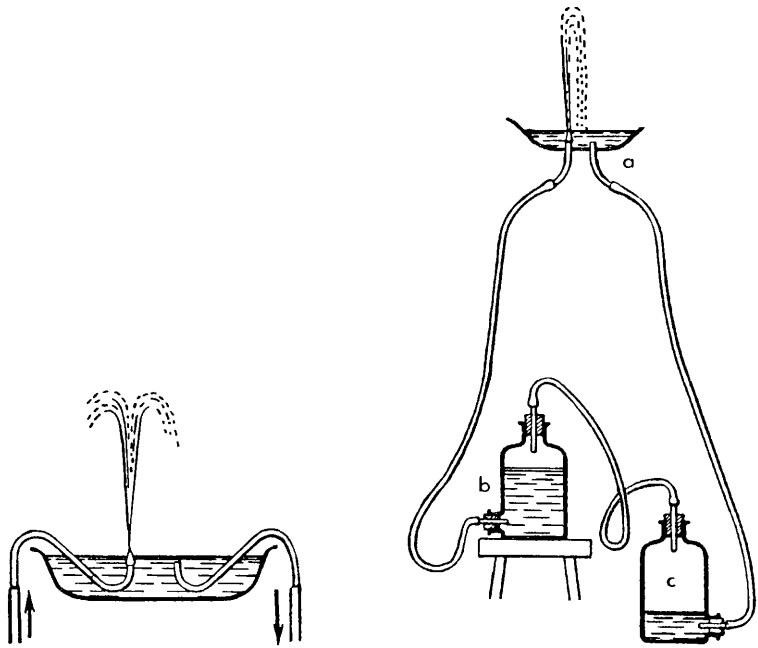


شکل ۶۰ — فوارهٔ باستانی هرون.

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 $13/5\ h_2$ 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

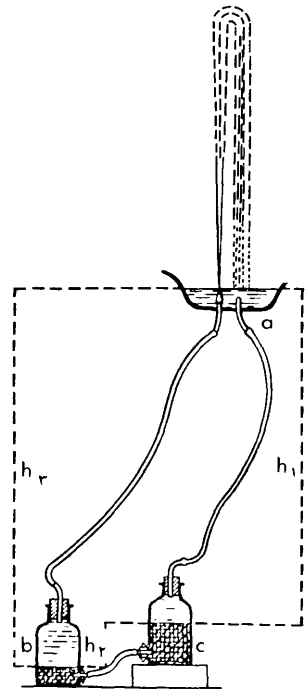
$$13/5\ h_2 + h_1 - h_3$$

اما $h_3 - h_1 = h_2$؛ بنابر این میتوانیم بجای $h_3 - h_1$ 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 $12/5\ h_2$ 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.

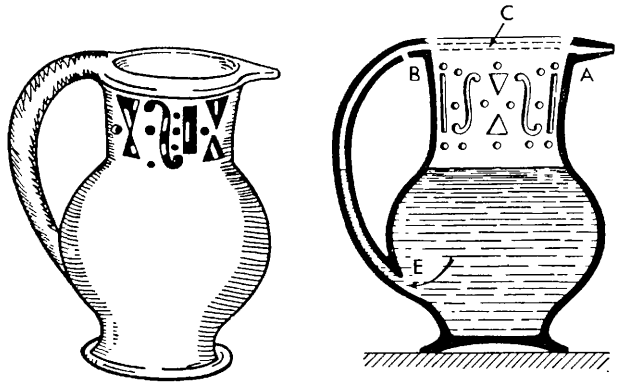


شکل ۶۲ — فواره‌ای که تحت تأثیر فشار جیوه کار میکند. آب فواره به ارتفاع تقریباً ده برابر اختلاف سطح جیوه بالا میرود.

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 سوراخ‌های 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 سوراخ‌های 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.

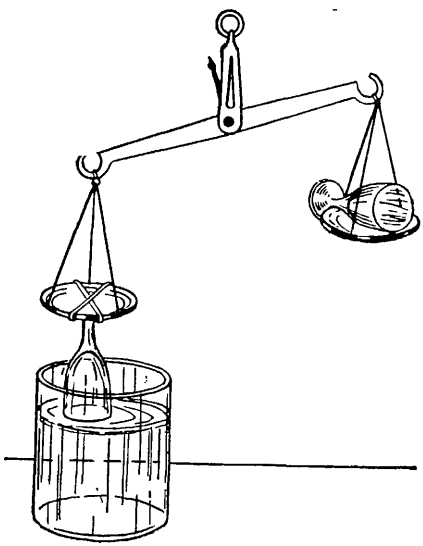
من میپرسم:

— خوب، اگر نریخت، آنوقت چطور؟

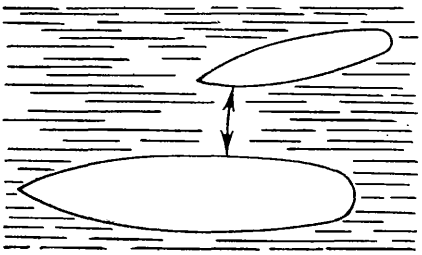
واقعاً هم میتوان آب‌را در استکان وارونه‌شده طوری نگاه داشت که نریزد. این حالت در شکل ۶۴ نشان داده شده است. جام شیشه‌ای وارونه‌شده که به ته یک کفه ترازو بسته شده، پر از آب است و آب از آن نمیریزد، زیرا لبه جام در داخل ظرف آبی است. در کفهٔ دیگر ترازو جام دیگری عین این جام گذاشته شده است.

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.

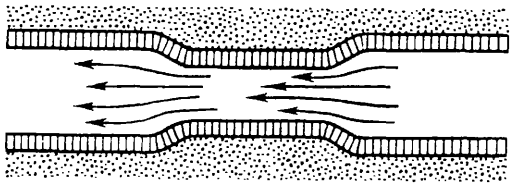
به چه علت کشتی‌ها یکدیگر را جذب میکنند؟

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 مانور این پدیده را در نظر میگیرند و به حساب می‌آورند.

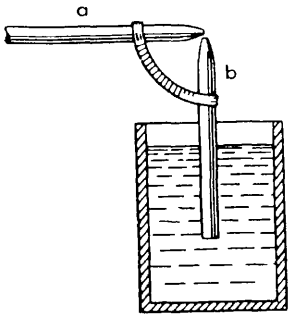


شکل ٦٦ — در قسمت‌های تنگ کانال سرعت جریان آب بیشتر و فشار آن بر دیواره‌ها کمتر از قسمت‌های گشاد است.

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.

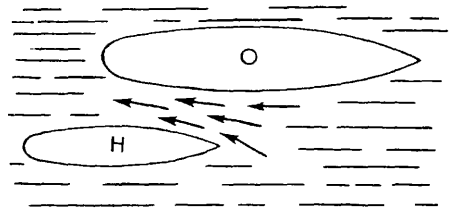
این اصل در مورد گازها نیز صادق است. این پدیده در آموزش گازها «پدیده کلمان — دزورم» (به نام دو فیزیسین که آن را کشف کرده‌اند) نام دارد، و اغلب آن را «تناقض آئروستاتیک» نیز مینامند. از قراری که میگویند، این پدیده نخستین بار بطور تصادفی و در شرایط زیر کشف شد. در یکی از معدن‌های فرانسه به کارگری دستور دادند 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.

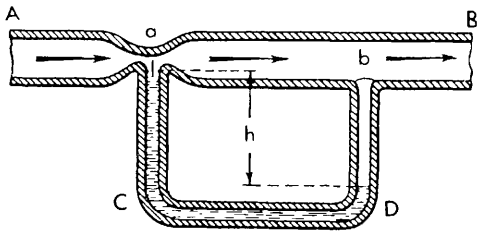
در نتیجهٔ این عمل چه حادثه‌ای باید روی بدهد؟ کشتی‌ها باید تحت تأثیر فشار آب خارجی به طرف یکدیگر حرکت کنند و، طبیعی است که کشتی کوچکتر، بیشتر و سریع‌تر تغییر مکان میدهد، در حالیکه کشتی بزرگ و عظیم تقریباً در جای خود بی‌حرکت میماند. به این دلیل است که وقتی یک کشتی بزرگ بسرعت از کنار کشتی کوچکی میگذرد، 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.

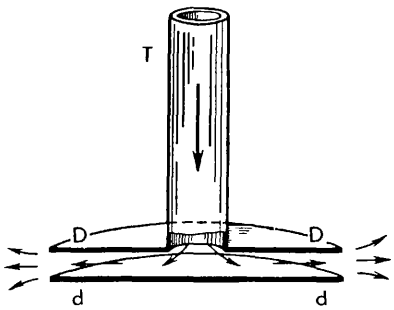
گرچه پدیده‌های مربوط به «اصل برنولی» بهیچوجه نادر نیستند، با وجود این اشخاص غیر متخصص از آنها چندان اطلاعی ندارند. به این دلیل سودمند خواهد بود اگر قدری مفصل‌تر و مشروحتر این اصل‌را بررسی کنیم. در زیر قسمتی از مقاله‌ای را که در یک مجلهٔ علمی عامه‌فهم در این موضوع انتشار یافته است، نقل میکنیم.

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.



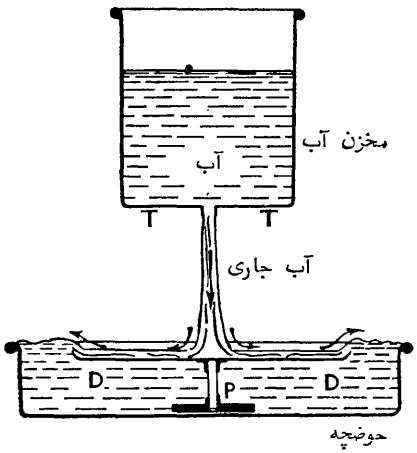
شکل ۶۹ — نمایش اصل برنولی. فشار در قسمت تنگ (a) لولهٔ AB کمتر از فشار در قسمت گشاد آن (b) است.



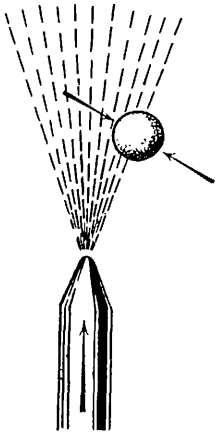
شکل ۷۰ — آزمایش با دو صفحه.

در شکل ۶۹ این اصل نشان داده شده است.

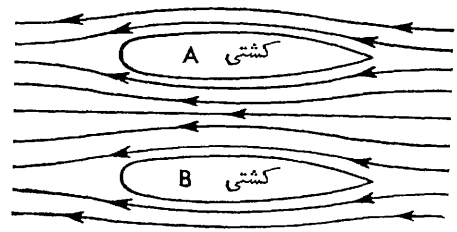
هوا در لولهٔ AB جریان دارد. جائی که مقطع لوله — مانند a — کوچک است، سرعت جریان هوا زیاد است، جائی که مقطع لوله — مانند b — بزرگ است، سرعت جریان هوا کم است. جائی که سرعت زیاد است، فشار کم است و جائی که سرعت کم است، فشار زیاد است. در نتیجهٔ کم بودن فشار هوا در نقطه a، مایع داخل لوله C بالا می‌آید و در عین حال در نتیجهٔ زیاد بودن فشار هوا در نقطهٔ b مایع داخل لولهٔ D پائین میرود.



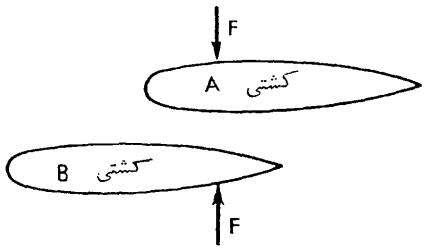
شکل ۷۱ — وقتی آب از مخزن روی صفحهٔ DD میریزد، صفحه روی میلهٔ P قدری بالا میرود.



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 ، هر چه 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.

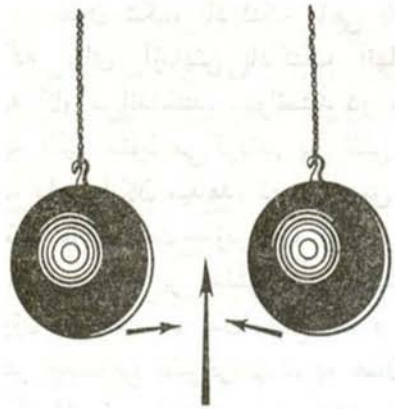
در شکل ۷۲ گلوله کوچک سبکی نشان داده شده که در فواره هوا شناور است. جریان هوا از زیر به گلوله میخورد و نمیگذارد گلوله بیافتد. وقتی گلوله از داخل فوارهٔ هوا خارج شود، هوای محیط اطراف دو باره آن را به داخل فوارهٔ هوا برمیگرداند، زیرا فشار هوای محیط اطراف گلوله که سرعت کمی دارد، زیاد و فشار هوای فواره که 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.

باشد. سرعت جریان آب فضای تنگ و محدود میان دو کشتی بیشتر از سرعت جریان 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.



شکل ۷۰ — اگر میان دو گلولهٔ سبک آویزان هوا بدمیم، گلوله‌ها آنقدر به یکدیگر نزدیک میشوند تا به هم بچسبند.

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 ۷۰ 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

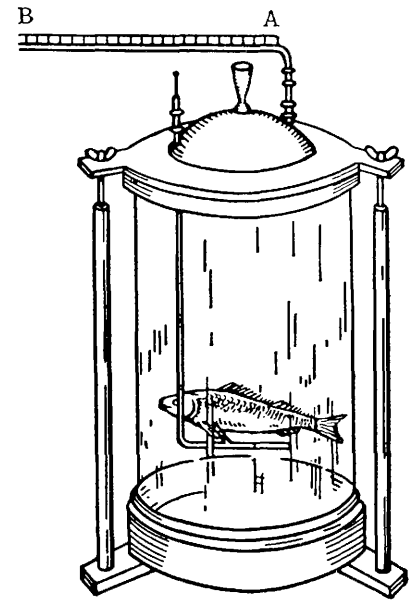
معمولاً در باره نقشی که کیسهٔ مملو از هوای داخل بدن ماهی دارد مطالب زیر را که ظاهراً هم خیلی شبیه به حقیقت است، میگویند و مینویسند: ماهی برای آنکه از طبقات پائینی آب به طبقات بالاتر بیاید، بادکنک خود را باد میکند. آنوقت حجم بدنش افزایش مییابد و وزن آب هم حجم بدنش از وزن خود ماهی بیشتر میشود و طبق قانون 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.

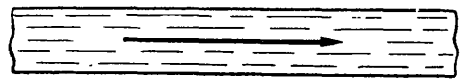
مشاهدات ماهیگیران نیز آنچه‌را که گفته شد، تایید میکند. وقتی از اعماق زیاد ماهی میگیرند، گاهی اتفاق می‌افتد که برخی از ماهی‌ها در وسط راه از تور رها میشوند، اما برخلاف انتظار، دو باره به همان عمقی که در آنجا صید شده بودند، بر نمیگردند، بلکه برعکس، با سرعت زیاده به سطح آب می‌آیند. در اینگونه ماهی‌ها گاهی مشاهده میشود که بادکنکشان باد کرده و از دهانشان بیرون زده است.

موج‌ها و گردبادها

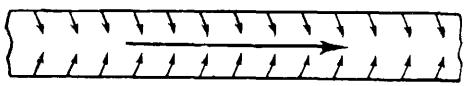
بسیاری از پدیده‌های روزمره فیزیکی‌را نمیتوان بر اساس قوانین ابتدائی فیزیک توضیح داد. حتی پدیدهٔ تموج و تلاطم دریا هنگام باد را نمیتوان در چهارچوب برنامهٔ فیزیک دبیرستان بطور کامل و همه‌جانبه توضیح داد. پس علت امواجی که در دماغهٔ کشتی شناور در آب آرام به دو سو پراکنده میشوند، چیست؟ چرا وقتی باد میوزد 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.

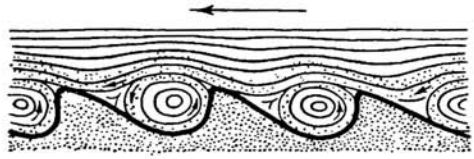
مایعی را در نظر مجسم میکنیم که در لوله جریان دارد. اگر تمام ذرات مایع در طول لوله روی خطوط موازی حرکت کنند، ما با ساده‌ترین نوع حرکت مایع، یعنی جریان آرام، یا به اصطلاح فیزیسین‌ها جریان «لامینر» سر و کار داریم. اما این نوع جریان بمراتب نادرتر از سایر انواع جریان‌ها، از جمله جریان ناآرام مایعات در لوله 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 بسج‌های 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

---

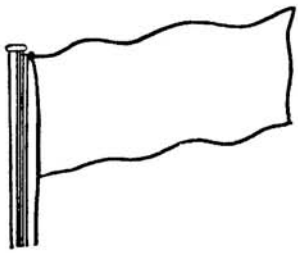
* سرعت بحرانی برای هر مایع با چسبندگی (ویسکوزیته) مایع نسبت مستقیم و با غلظت (جرم مخصوص) آن و قطر لوله‌ای که مایع در آن جاری است، نسبت معکوس دارد.

** 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).

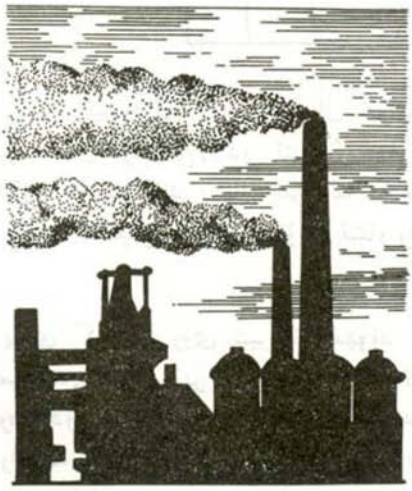


شکل ۸۱ — پرچم در حال اهتزاز هنگام وزش باد.

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

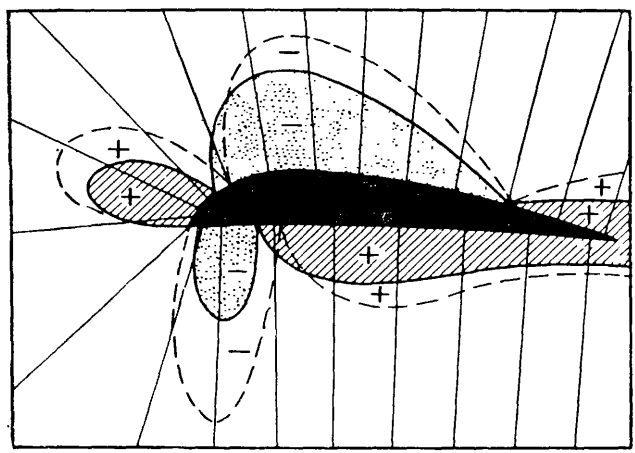
شکل ۸۲— سطح مواج شن در صحرا.



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 برادرزده‌اش 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 مییابد، 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) «	«
« «	۴×۸ متر	« «	۴(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 میابد (قانون ماریوت).

یادآور میشویم که در این مورد، بطوریکه از رمان معلوم است، صحبت از فقط ۴۸ 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 ۴۸ کیلومتر (۴۸۰۰۰ متر) چه فشاری وارد می‌آید. در فرمول ما n برابر با $\frac{۴۸۰۰۰}{۸}$ یعنی ۶۰۰۰ است. باید $۱/۰۰۱^{۶۰۰۰}$ را نیز حساب کرد. از آنجا که ۱/۰۰۱ را ۶۰۰۰ 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

$$۶۰۰۰ \times \lg ۱/۰۰۱ = ۶۰۰۰ \times ۰/۰۰۰۴۳ = ۲/۶$$

از روی لگاریتم ۲/۶ عدد مجهول را پیدا میکنیم، این عدد مساوی ۴۰۰ است.

بدین ترتیب در عمق ۴۸ کیلومتر فشار اتمسفر ۴۰۰ برابر فشار معمولی است، و بطوریکه آزمایش نشان داده است، تراکم هوا تحت چنین فشاری ۳/۵ بار افزایش میابد. 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 یابد، 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.

در چاه عمیق

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 ۳ کیلومتر است. در اینجا منظور عمقی که سرمتهٔ حفاری به آنجا رسیده، یعنی ۷/٥ 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 ۲۳۰۰ متر) که شخصاً به ته آن رفته است، چنین حکایت میکند:

«معادن طلای مشهور مورو ولخو در ٤۰۰ کیلومتری ریودوژانیرو واقع است. پس از ۱٦ 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 ۷۰۰ متر میگذریم و به دومین تونل میرسیم. وارد دومین چاه میشویم، هوا گرمتر میشود. حالا دیگر پائین‌تر از سطح دریا هستیم.

از سومین چاه ببعد 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 ٥۷ درجه است. حاصل این واقعیت وحشتناک و نفرت‌انگیز چیست؟ در حدود ۱۰ 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 ۲۳۰۰ متر چقدر است. اگر درجهٔ حرارت هوا مساوی درجهٔ حرارت در سطح زمین میبود، تراکم هوا، طبق فرمولی که میدانیم، به اندازهٔ $(۱/۰۰۱)^{\frac{۲۳۰۰}{۸}}$، یعنی ۱/۳۳ 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 ۳۱ درجه است. اگر نسیم ملایمی بوزد که کمی پرچم‌ها را تکان بدهد و برگ‌های درختان را نجنباند (با سرعت ۲ متر در ثانیه) حرارت پوست بدن ۷ درجه پائین می‌آید . وقتی باد تندی بوزد که پرچم‌ها را به اهتزاز در آورد (با سرعت ٦ متر در ثانیه) حرارت پوست بدن ۲۲ درجه پائین می‌آید و از ۳۱ درجه به ۹ 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 ماوراء بایکال که سرعت متوسط باد فقط ۱/۳ 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 * .

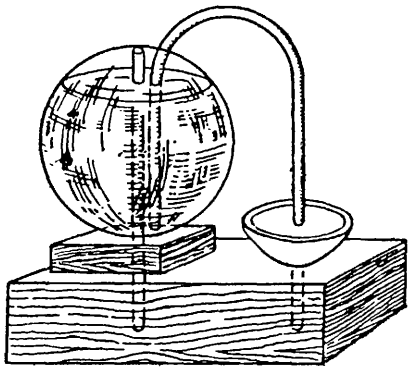
---

* 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 دودکش های کارخانه‌ها صورت میگیرد . به این دلیل است که دودکش های 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 آتش‌را 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 نمییابد ؟ 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 خاموش 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 :
— بارییکن ! 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 بارییکن 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 خوردن 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 میبافت 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 .

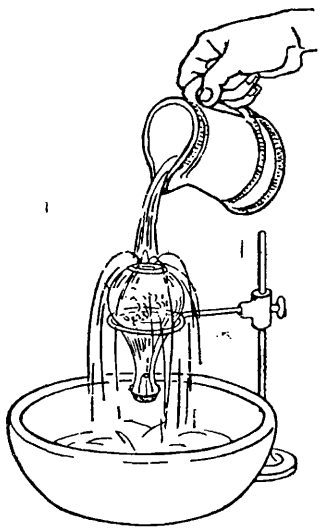
ممکن است چنین سؤالی پیش بیاید : آب ظرف شیشه‌ای با آب قابلمه چه تفاوت دارد ؟ در ظرف شیشه‌ای نیز همان آب است ، منتهی با دیواره شیشه‌ای از آب قابلمه جدا شده است . پس چرا این آب هم ، مثل آب قابلمه ، جوش نمی‌آید ؟

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 فابلمه 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 سنبلان 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 ٦٦ 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 ٦٦ 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 ماوراء 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 ٦٠ — ۷۰ میلیمتر نیست، میرفتند، مجبور میشدند آب جوش از آن هم کمتر داغ، یعنی فقط ٤٥ 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 ٦۰۰ متر در ۱۰۲ درجه جوش می‌آید.

آب در دیک ماشین بخار نیز تحت فشار بسیار زیاد میجوشد. مثلاً، آب تحت فشار ١٤ 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 ٥» مینامد، تحت فشار فوق‌العاده زیاد یعنی ۲۰٦۰۰ اتمسفر به دست می‌آید و در حرارت ۷٦ 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 ٥ 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 ۱/۰٥ میباشد. این یخ میبایست زیر آب برود، در صورتیکه یخ معمولی روی آب میماند.

---

* واقعاً هم، بطوریکه قبلاً (صفحه ۱٤۱) 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 ٦٦ پائین بیاید، باید به اندازهٔ $\frac{۳٤}{۳}$، یعنی در حدود ۱۱ کیلومتر بالا رفت.

سرما از زغال

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 ، یک‌مرتبه 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 .

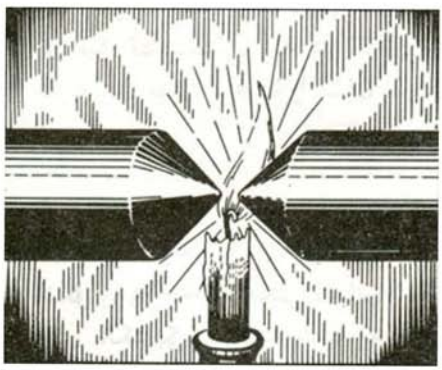
فصل هشتم

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 ـ 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 ــ 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 بی‌معنی تر به نظر می‌آید: در چه نقطه‌ای از کرهٔ زمین هر دو سر عقربهٔ قطب‌نما جنوب را نشان میدهند؟

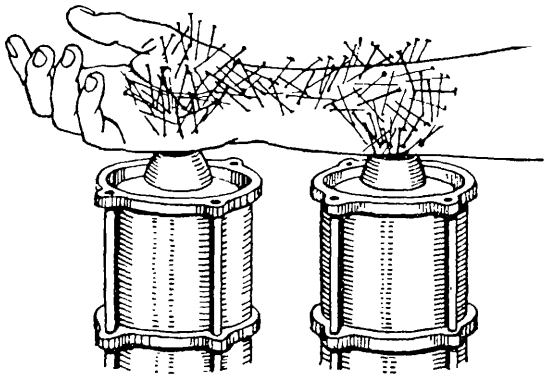
شما آماده‌اید جواب بدهید که چنین نقاطی در کرهٔ ما وجود ندارد و نمیتواند وجود داشته باشد. ولی چنین نقاطی وجود دارد.

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 سوهای 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.

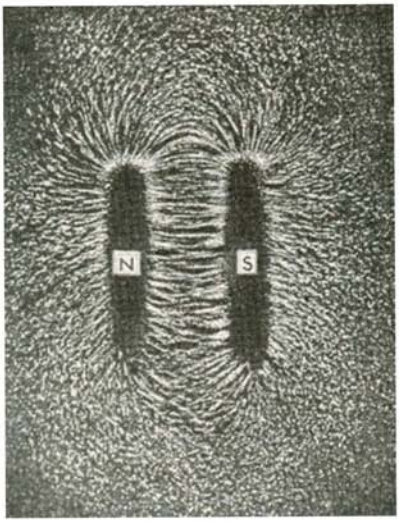
انسان عضوی که نیروی مغناطیسی را حس کند ندارد، به این دلیل ما فقط میتوانیم به وجود نیروهائی که آهن‌ربا را احاطه میکند پی ببریم*. اما از طریق غیر مستقیم به آسانی میتوان منظرهٔ سمت این نیروها را آشکار ساخت. این کار را بوسیله براده آهن بهتر از هر چیز میتوان انجام داد. یک ورقهٔ نازک و هموار براده آهن روی 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 ازصفحه 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).

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.



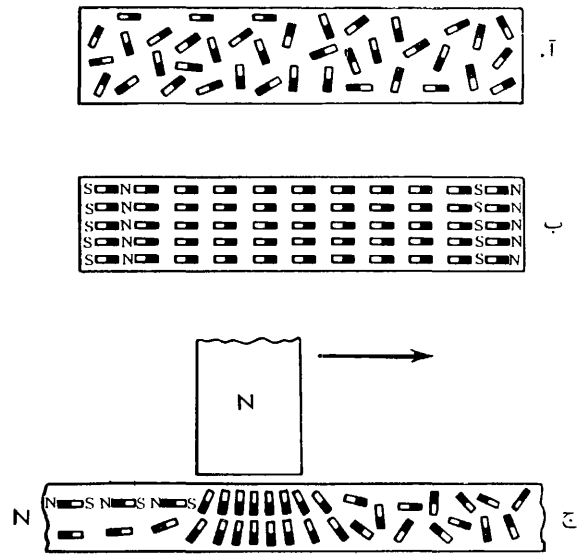
شکل ۹۲ — وضع قرار گرفتن براده‌های آهن روی مقوائی که قطب‌های آهن‌ربا را پوشانده است.

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

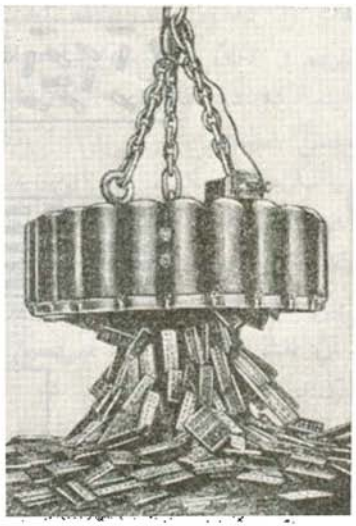


شکل ۹۳ :
الف — وضع قرار داشتن آهن‌رباهای کوچک اتمی در یک تکه فولاد مغناطیسی نشده؛
ب — وضع قرار داشتن آهن‌رباهای کوچک اتمی در فولاد مغناطیسی شده ؛
ج — عمل قطب آهن‌ربا روی آهن‌رباهای کوچک اتمی فولادی که آن‌را مغناطیسی میکنند.

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 درد سر 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، آهن‌ربارا 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.

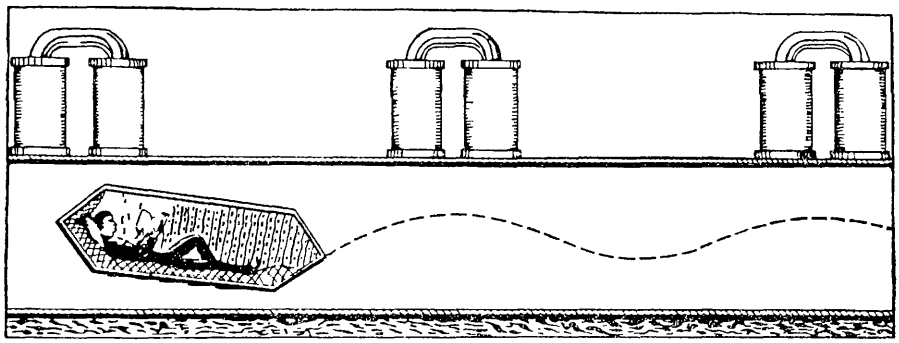
در دوره سیرانو دو برژراک (اواسط قرن ۱۷ میلادی) هنوز قانون کنش و واکنش کشف نشده بود. به این دلیل گمان نمیرود که نویسندهٔ فکاهی‌نویس فرانسوی میتوانسته است علت عملی نبودن طرح شوخی‌آمیز خود را بطور دقیق توضیح بدهد.

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 میخ ها 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 کوره‌های 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 کلیه 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 بدهش 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 .

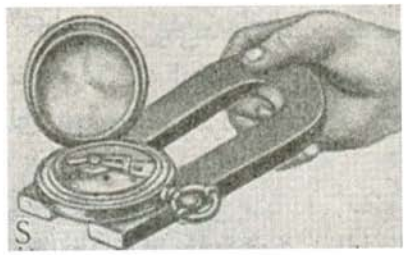
آهن‌ربای هوائی به سوی پیاده‌ها پیش رفت . سربازان با تمام نیرو میکوشیدند ، تفنگ‌های خود را نگهدارند ، اما کوشش آنها بیهوده بود . نیروی مقاومت‌ناپذیر تفنگ ها را از دست آنها میربود . باوجود این ، بسیاری از سربازان تفنگ را رها نمیکردند ، اما خودشان به هوا بلند میشدند . نخستین هنگ در چند دقیقه خلع سلاح شد . 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

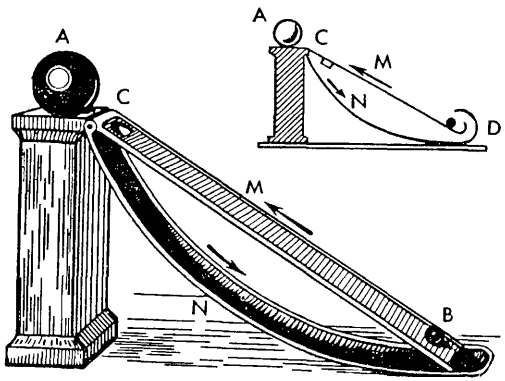
---

* 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.

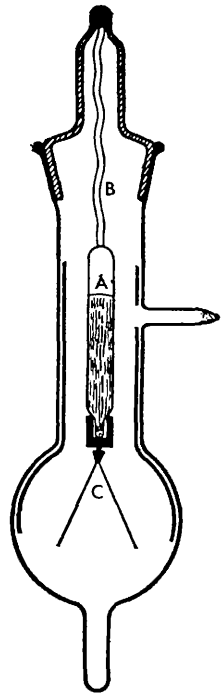
تقریباً محرک دائمی

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 رادیومی» 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.



شکل ۱۰۰ — ساعت رادیومی با کوک «تقریباً دائمی» برای ۱۶۰۰ سال.

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.

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!

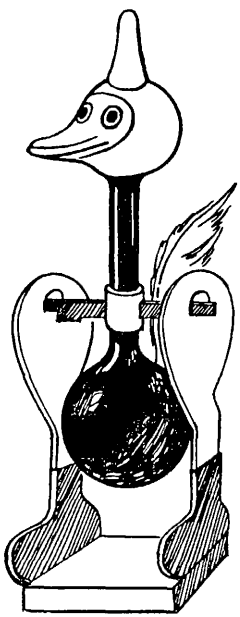
آیا میتوان از این محرک رایگان برای کارهای عملی استفاده کرد؟ متاسفانه، خیر. توان این محرک، یعنی مقدار کاری که در یک ثانیه انجام میدهد، بقدری ناچیز است که هیچ دستگاهی‌را نمیتواند به حرکت درآورد. برای آنکه به نتایج کمی محسوس برسیم، باید مقدار بمراتب بیشتر رادیوم در اختیار داشته باشیم. اگر به یاد بیاوریم که رادیوم عنصری است بسیار کم‌یاب و گرانبها، آنوقت قبول خواهیم کرد که اینگونه محرک رایگان فوق‌العاده ورشکست‌کننده است.

---

* قرن ۹ میلادی. (مترجم)

«مرغ سیرآب‌نشونده»

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.



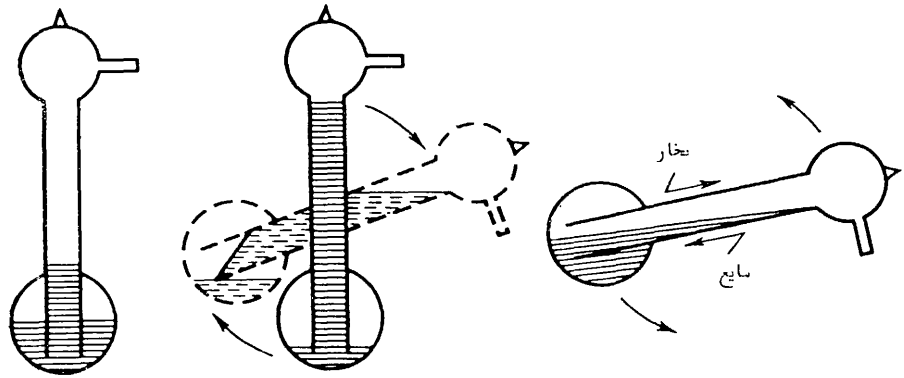
شکل ۱۰۱ — مرغ سیرآب نشونده.

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؟

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 رادیوآکتیو وسیلهٔ خوبی به دست محققین داده است تا بتوانند به طریق اطمینان‌بخشی سن زمین‌را حساب کنند.

تجزیهٔ رادیوآکتیو چیست؟ تجزیهٔ رادیوآکتیو 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 رادیوآکتیو 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*.

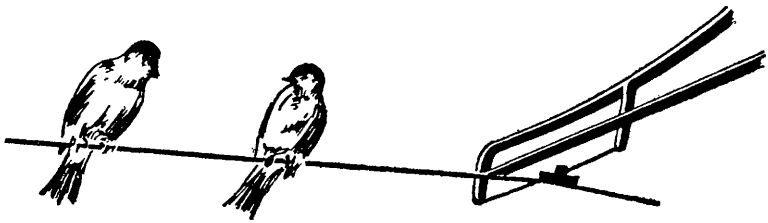
شش هزار میلیون سال نه فقط نسبت به عمر انسان بلکه نسبت به سراسر تاریخ بشریت رقمی است سرسام‌آور.

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 ومنجر 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).

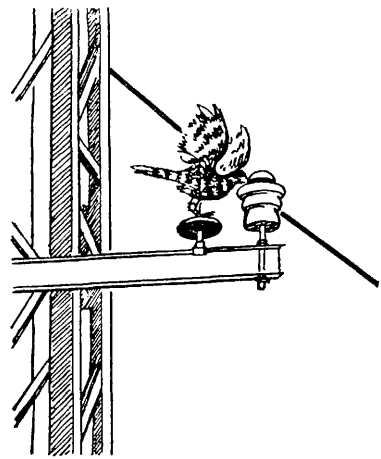


شکل ۱۰۳ — پرندگان روی سیم برق نشسته‌اند و هیچ صدمه‌ای نمی‌بینند. چرا؟

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 حد اکثر 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:

وات ۵۰۰۰۰۰۰۰۰ = $\frac{۵۰۰۰۰۰۰۰۰ \times ۲۰۰۰۰۰۰}{۲}$ = 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 $\frac{۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰}{۳۶۰۰ \times ۱۰۰۰}$ 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:

روبل ۵۶ = کپک ۵۶۰۰ = ٤ × 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!

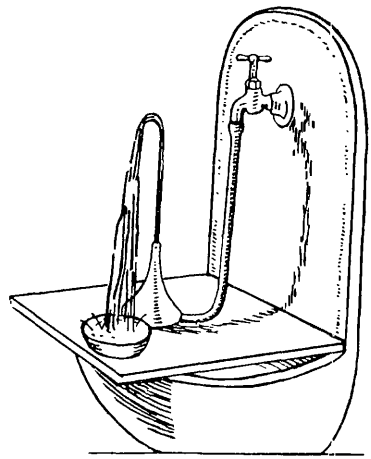
جالب است که الکتروتکنیک معاصر تا چه حد به امکان ایجاد برق طبیعی نزدیک شده است. در آزمایشگاهها اختلاف سطح تا ۱۰ میلیون ولت به دست آورده و جرقه‌هائی به طول ۱۵ متر ایجاد کرده‌اند. فاصله فوق‌العاده زیاد نیست...

رگبار صاعقه‌ای در اطاق

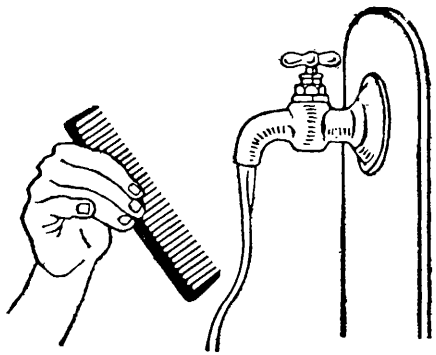
با یک لولهٔ کائوچوئی که یک سر آن را در سطل آبی که در جای بلندی قرار دارد، فرو کرده یا به شیر آب وصل کنید، به آسانی میتوانید در خانه فواره‌ای تهیه کنید. دهانهٔ لوله که آب از آن خارج میشود باید خیلی تنگ باشد تا آب به صورت رشته‌های باریک فواره بزند. برای نیل به این منظور ساده‌ترین کار آنستکه مغز یک تکه 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.

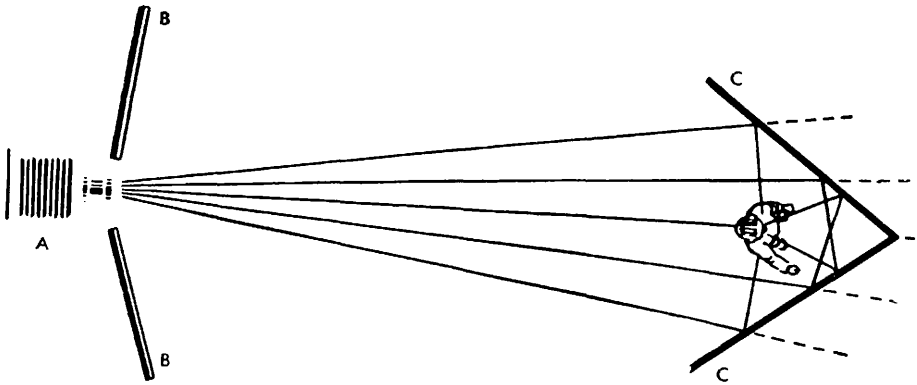
فصل نهم

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.



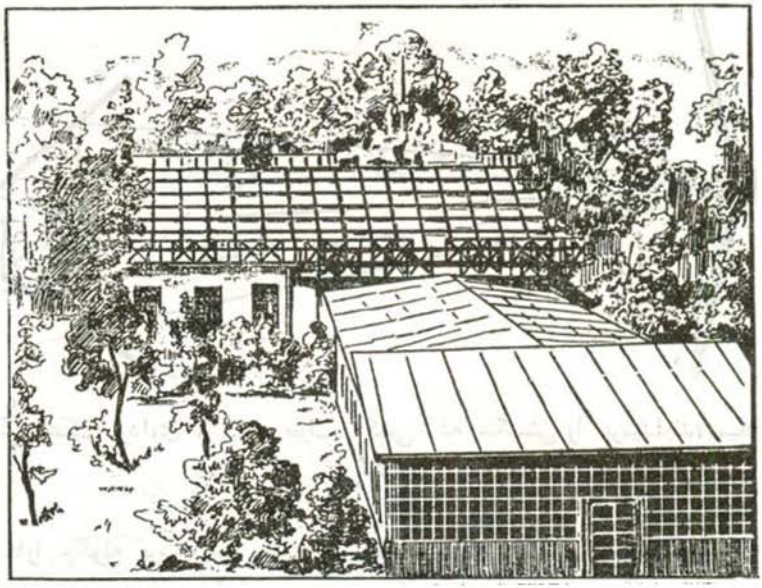
شکل ۱۰۸ — طرز عکس برداری از پنج طرف. کسی که عکسش را برمیدارند، میان دو آئینه CC می‌نشیند.

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.

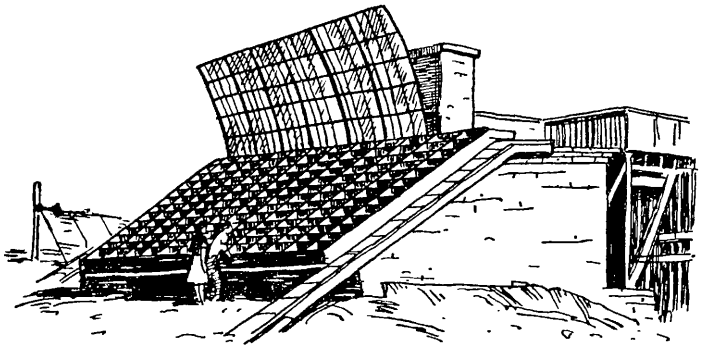


شکل ۱۰۹ — دستگاه آب‌گرم‌کن آفتابی در جمهوری شوروی سوسیالیستی ترکمنستان.

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 ٤۷ درصد (حد اکثر ٦۱ 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، گه 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،
لپ 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 (مؤلف 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 علیظتر 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*.

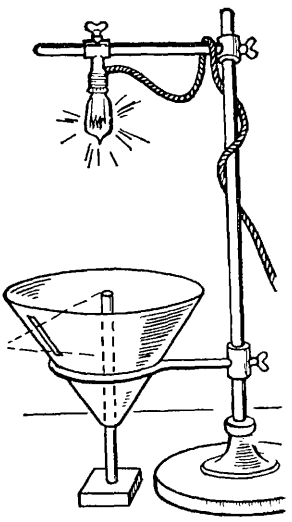
کمپ گفت:

— 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 ما را 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 ملت 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 ۰/۰۵ 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. اردوگاه‌را 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 آئینه‌مانندی که زمینه‌را در خود منعکس کند، رنگ استتاری است که برای هر شرایطی مناسب میباشد. جسمی که سطح آن آئینه‌مانند 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 دیریژابل‌های با جدار سفت به کار میبردند. سطح بسیاری از این دیریژابل‌ها آلومینیومی و درخشان بود که آسمان و ابرها در آن منعکس میشدند. اگر صدای موتور این دیریژابل‌ها 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.

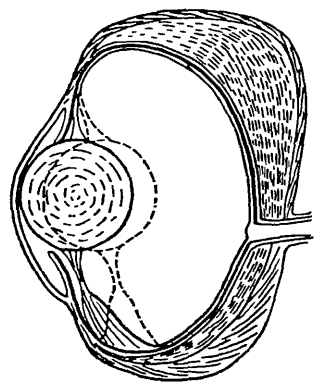
چشم آدم در زیر آب

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 ۱/۳٤ است. ضریب انکسار محیط‌های شفاف چشم آدم به قرار زیر است:

قرنیه و زجاجیه	۱/۳٤
عدسی	۱/٤۳
مایع آبی	۱/۳٤

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 ۱۱۲ — 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

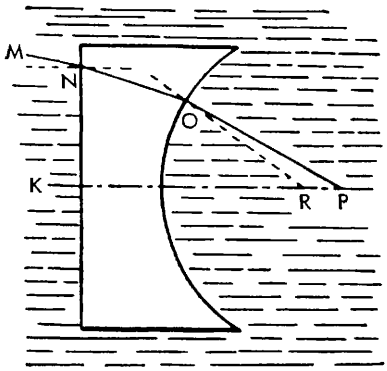
با کلاه غواصی (یا در اطاق «نائوتیلوس») میان چشم و آب قشری از هوا (و شیشه) قرار دارد، آنوقت جواب مسأله روشن میشود. این امر مسأله‌را از ریشه و بن عوض میکند. اشعهٔ نور وقتی از آب خارج میشوند و از شیشه میگذرند، ابتدا داخل هوا میشوند و از آنجا به چشم نفوذ میکنند. اشعه با هر زاویه‌ای که به شیشهٔ متوازی‌السطوح 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!

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»



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.

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).

آبتنی‌کنندگان بی‌تجربه

آبتنی‌کنندگان 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.

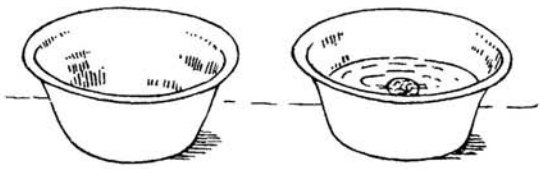
شکل ۱۱۴ — تغییر شکل قاشقی که در استکان آب قرار دارد.

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.

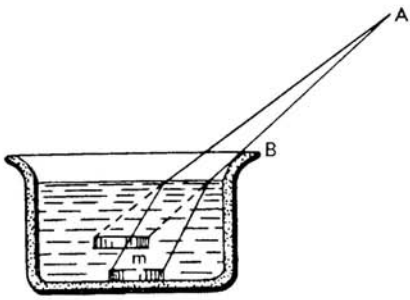
رفیقتان‌را طوری پشت میز بنشانید که نتواند کف ظرفی‌را که روی میز است، ببیند. در کف ظرف سکه‌ای بگذارید، البته دیواره ظرف مانع میشود که رفیق شما سکه‌را ببیند. سپس از او خواهش کنید که سرش‌را برنگرداند و در ظرف آب بریزید. پدیدهٔ غیر منتظره‌ای روی میدهد، رفیق شما سکه‌را در کف ظرف می‌بیند. به وسیلهٔ سرنگ آب 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



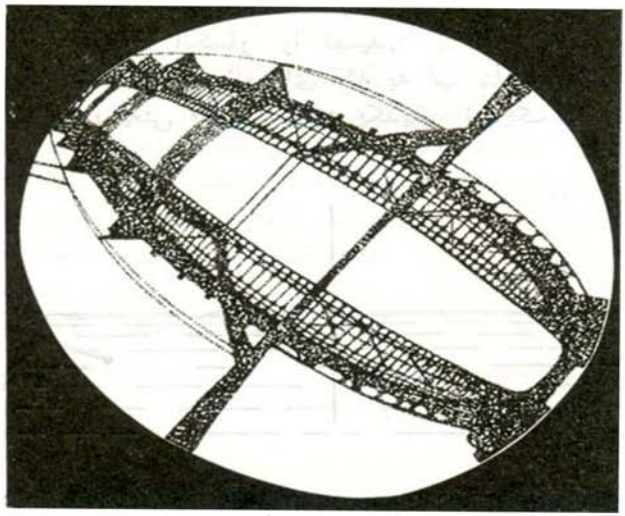
شکل ۱۱۵ — آزمایش با سکه و ظرف آب.

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.

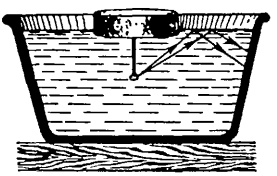
بدین ترتیب کف استخر مقعر به نظر می‌آید. اما اگر میتوانستیم از کف استخر به پلی که روی آن کشیده شده، نگاه کنیم، برعکس، پل بطوری که در شکل ۱۱۷ نشان داده شده، محدب به نظر می‌آمد (طرز برداشتن این عکس‌را بعداً توضیح میدهیم). در این مورد اشعه از محیط با ضریب انکسار کم (هوا) به محیط با ضریب انکسار زیاد (آب) 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 راه‌آهنی 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).

سنجاق نامرئی

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).



شکل ۱۱۸ — آزمایش با سنجاقی که در آب نامرئی است.

چرا اشعهٔ نور از سنجاق به چشم ما نمیرسند؟

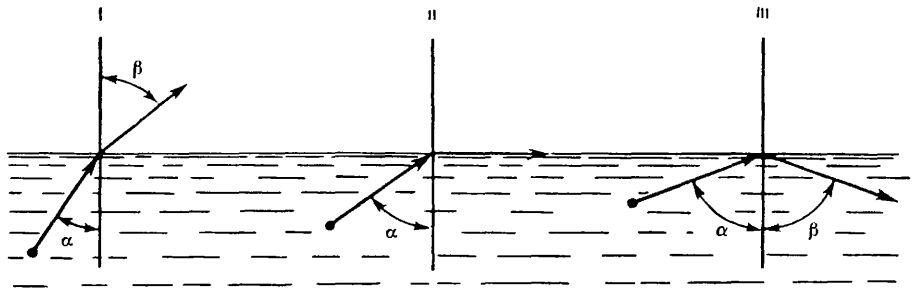
زیرا در اینجا آن پدیده‌ای روی میدهد که در فیزیک «انعکاس درونی کامل» نام دارد.

یادآور میشویم که این پدیده عبارت از چیست.

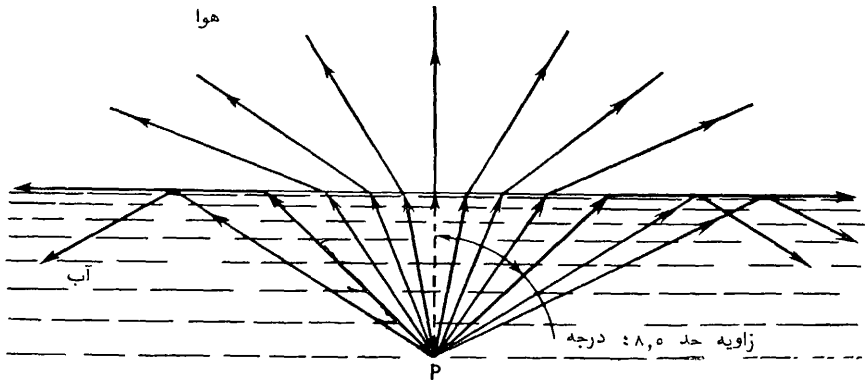
در شکل ۱۱۹ میتوان راهی‌را دید که اشعه ضمن عبور از آب به هوا (بطور کلی از محیط با ضریب انکسار زیادتر به محیط با ضریب انکسار کم‌تر) می‌پیمایند، و برعکس. وقتی اشعه از هوا به آب میروند، به «عمود تابش» نزدیک میشوند. مثلاً شعاعی که با زاویهٔ β به عمود بر سطح تابش میتابد، با زاویه α که از β کوچکتر است، داخل 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.

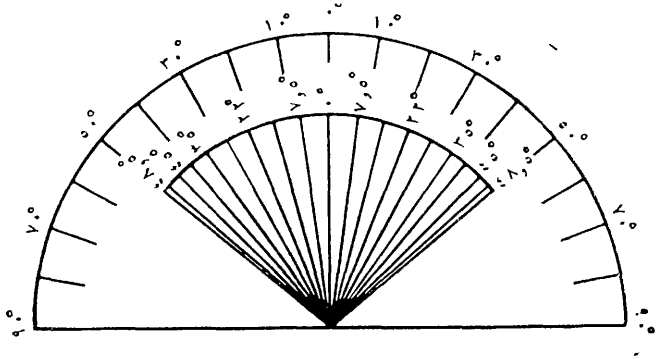
پس شعاعی که زیر آب در خارج از مخروط نامبرده قرار دارد، به کجا میرود؟ از قرار معلوم این شعاع اصلاً از آب خارج نمیشود و تماماً در سطح آب، چون در آئینه، منعکس میگردد. بطور کلی هر شعاع زیرآبی که با سطح آب با زاویه‌ای بیش از زاویهٔ حد (یعنی بیش از ۴۸/۵ درجه) تلاقی کند، منکسر نمیشود، بلکه منعکس میگردد، و بقول 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.



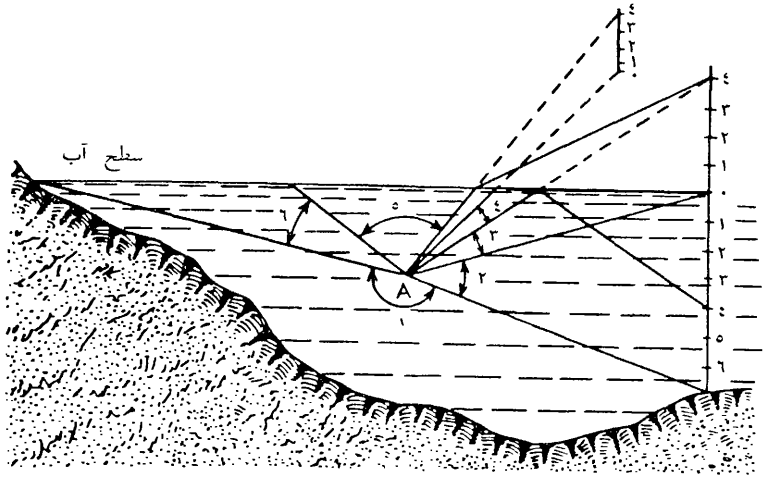
شکل ۱۲۱ — قوس ۱۸۰ درجه‌ای جهان روی آب برای بینندهٔ زیرآبی به قوس ۹۷ درجه‌ای کاهش میبابد. به همان نسبت که قسمت‌های قوس از نقطهٔ خط الرأس (۰°) دورتر باشند، میزان کاهش آنها بیشتر خواهد بود.

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.

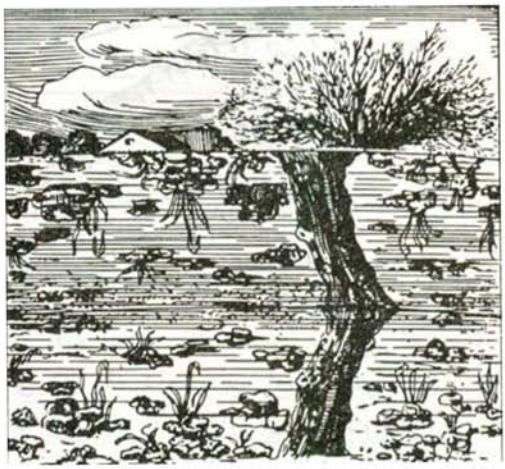
اما شکل خود سطح آب بیش از هر چیز دیگر موجب شگفتی میشود، زیرا از زیر آب مسطح به نظر نمی‌آید، بلکه مخروطی شکل به نظر می‌آید. آدم تصور میکند که در ته قیف عظیمی قرار دارد که تمایل دیواره‌های آن نسبت به یکدیگر قدری بیش از زاویه قائمه (۹۷ درجه) است. انتهای بالائی این مخروط را حلقه‌ای از رنگین‌کمان به رنگ‌های 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.



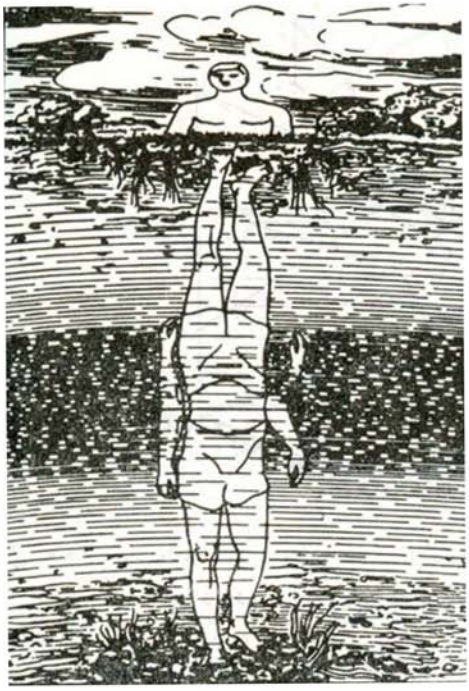
شکل ۱۲۲ — منظرهٔ عمق‌سنجی که تا نیمه در آب فرو رفته است، برای بینندهٔ زیرآبی که چشمش در نقطهٔ A قرار دارد. در زاویهٔ (۲) قسمتی از عمق‌سنج که داخل آب است، بطور مبهم دیده میشود و در زاویهٔ (۳) انعکاس همین قسمت در سطح داخلی آب. بالاتر از آن، قسمت خارج از آب عمق‌سنج بطور فشرده و ضمناً با فاصلهٔ معینی جدا 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 ۱۲٤ 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 نظ 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 فرود 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».

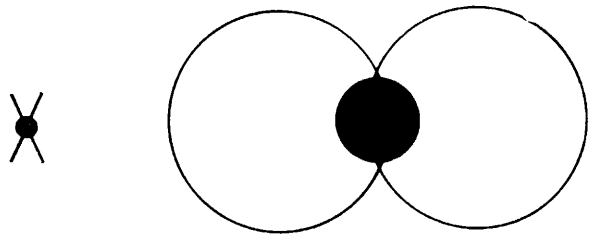
لکهٔ کور در چشم آدم

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!

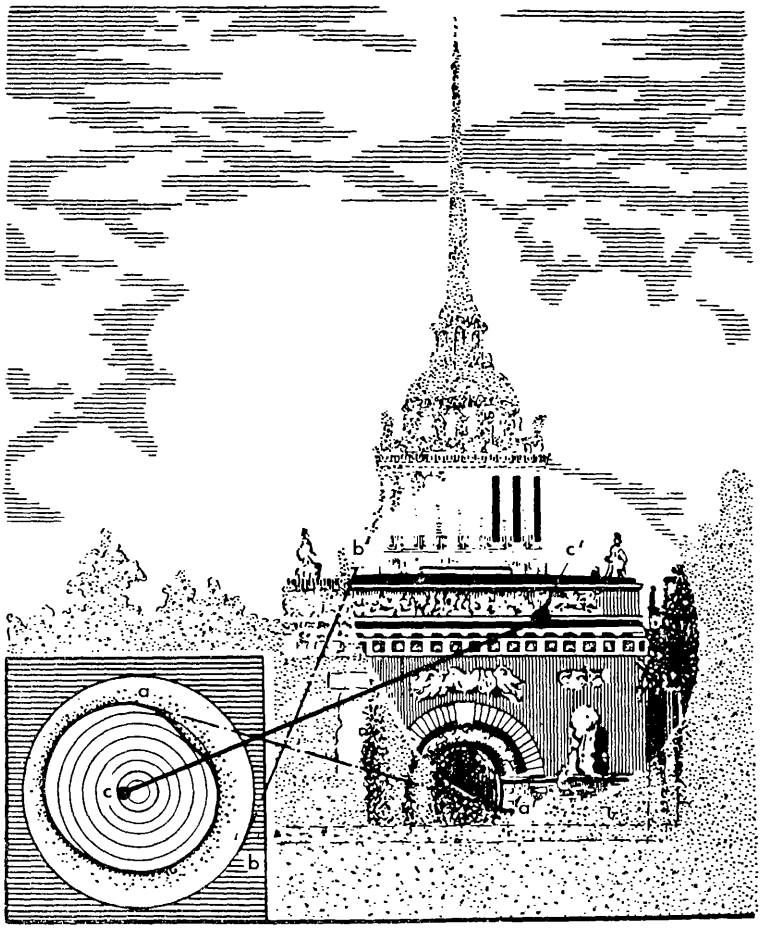
این آزمایش که نخستین بار در سال ۱۶۶۸ به وسیله ماریوت فیزیسین مشهور (به طرز دیگر) انجام شد بسیار مورد پسند درباریان لوئی ۱۴ قرار گرفت. ماریوت آزمایش‌را به طریق زیر انجام میداد: دو نفر از اشراف را در فاصله دو متر روبروی یکدیگر مینشاند و از آنها خواهش میکرد که با یک چشم به نقطهٔ معینی در کنار نگاه کنند. 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

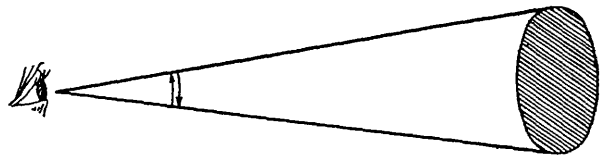


شکل ۱۲۶ — وقتی با یک چشم به عمارت نگاه میکنیم، قسمت نسبتاً کوچک میدان دید c′ را که با لکه کور (c) چشم منطبق است، اصلا نمی‌بینیم.

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.

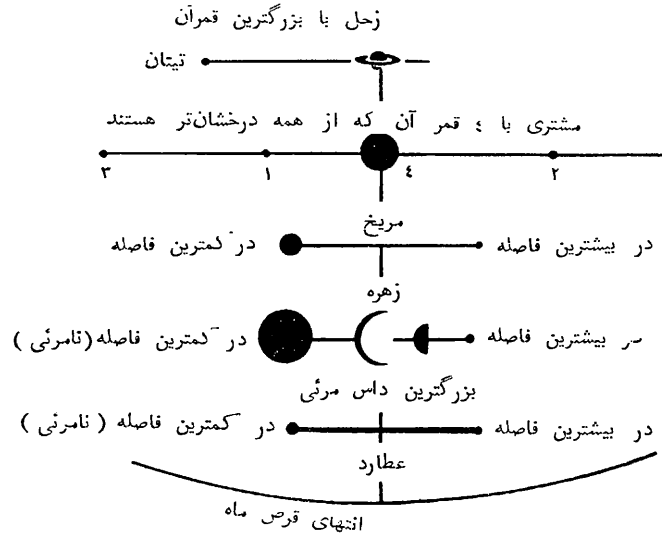
اگر بخواهیم دب اکبر را با حفظ اندازه‌های زاویه‌ای روی کاغذ رسم کنیم، به صورتی که در شکل ۱۲۸ نشان داده شده است، در خواهد آمد. وقتی از فاصلهٔ بهترین دید به این شکل نگاه کنیم، دب اکبر را به همان صورتی خواهیم دید که در گنبد فیروزه‌فام دیده میشود. این، به اصطلاح، نقشهٔ دب اکبر با حفظ اندازه‌های زاویه‌ای آن 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، بقدری 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 ۶۰ 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 تابعوی 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 ۶ 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 با گیاهان 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 ۷٤ 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 موهای 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:

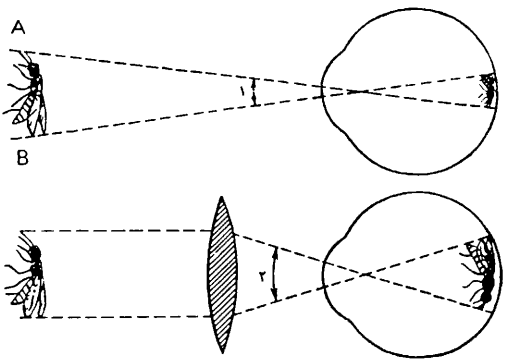
---

* 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 .

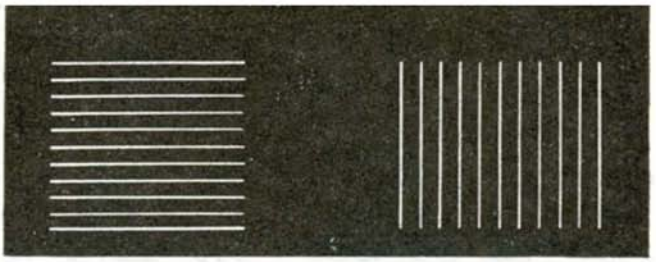
خودفریبی های بصری

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 » .

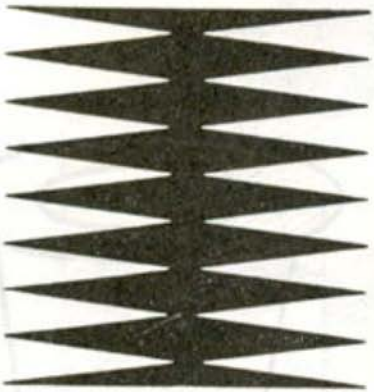
پس چه چیز است که در موقع به اصطلاح « خطای » حواس مارا میفریبد ؟ بدون شک آن چیزی مارا میفریبد که در این مورد معین ، قضاوت میکند، یعنی همانا ما . واقعاً هم اغلب خطاهای باصره فقط و فقط بسته به آنستکه ما نه فقط می‌بینیم ، بلکه بی اختیار قضاوت هم میکنیم ، ضمناً قضاوتی که باعث گمراهی ما میشود. پس ، این خطای 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؟

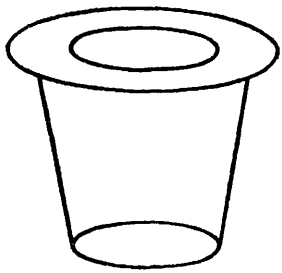
مثلاً خطای باصرهٔ شکل ۱۳۲ را که بر همه معلوم است، مورد بررسی قرار میدهیم. با اینکه در این شکل هر دو تصویر از مربع‌های کاملاً مساوی تشکیل یافته‌اند، تصویر سمت چپ باریک‌تر از تصویر سمت راست به نظر می‌آید. علت این پدیده آنستکه ما ارتفاع تصویر سمت چپ را با جمع کردن غیر ارادی فواصل جداگانه تخمین میزنیم، به 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 بزرگی 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؟

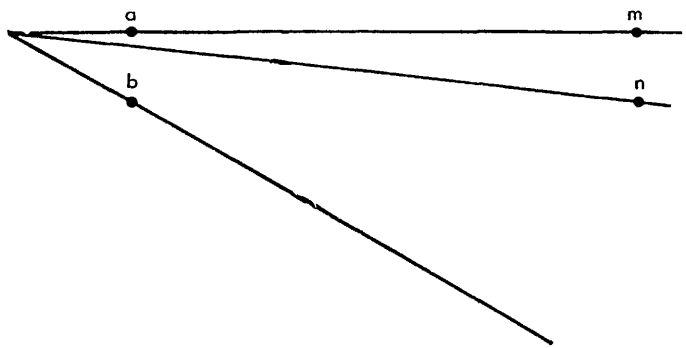
کدام یک از دو بیضی شکل ۱۳٤ بزرگ‌تر است : بیضی پائینی یا بیضی بالائی داخلی ؟ به سختی میتوان این فکر را از سر بیرون کرد که بیضی پائینی بزرگ‌تر از بیضی بالائی است . در صورتیکه هر دو بیضی مساوی هستند و فقط وجود بیضی بزرگی که بیضی بالائی را احاطه کرده است ، سبب میشود که بیضی داخل آن کوچک تر از بیضی پائینی 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 روبرو به آنها نگاه کنیم ، تبدیل میشوند و دو خط مستقیم پهلوئی به دیواره‌های سطل .

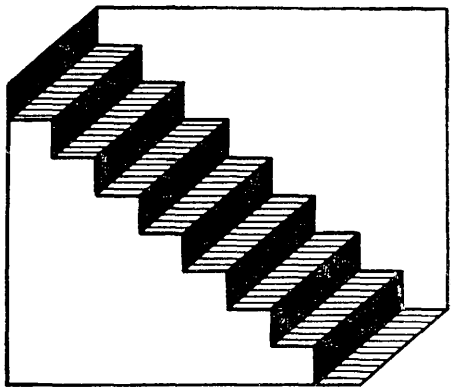
در شکل ۱۳۵ فاصلهٔ میان دو نقطهٔ a و b بیشتر از فاصلهٔ میان دو نقطهٔ m و n به نظر می‌آید . وجود خط مستقیم سومی که از رأس همان زاویه کشیده شده ، سبب تشدید خطای باصره میگردد .

نیروی تصور

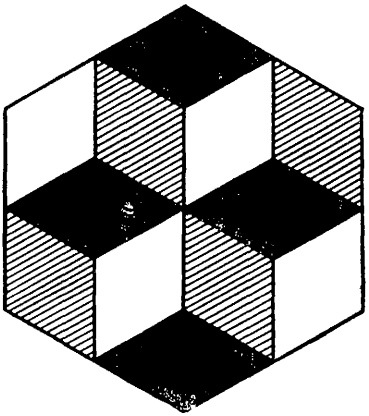
بطوریکه گفته شد ، بیشتر خطاهای باصره بسته به آن است که ما نه فقط نگاه میکنیم ، بلکه ضمن دیدن قضاوت هم میکنیم . فیزیولوژیست ها میگویند : « ما با چشم نگاه نمیکنیم ، بلکه با مغز نگاه میکنیم » . وقتی با خطاهای باصره‌ای که در آن تصورات بیننده آگاهانه در جریان دید شرکت میورزد آشنا شدید ، شما نیز با کمال میل با این گفته موافقت میکنید .



شکل ۱۳۵ — کدام فاصله بیشتر است : ab یا mn ؟

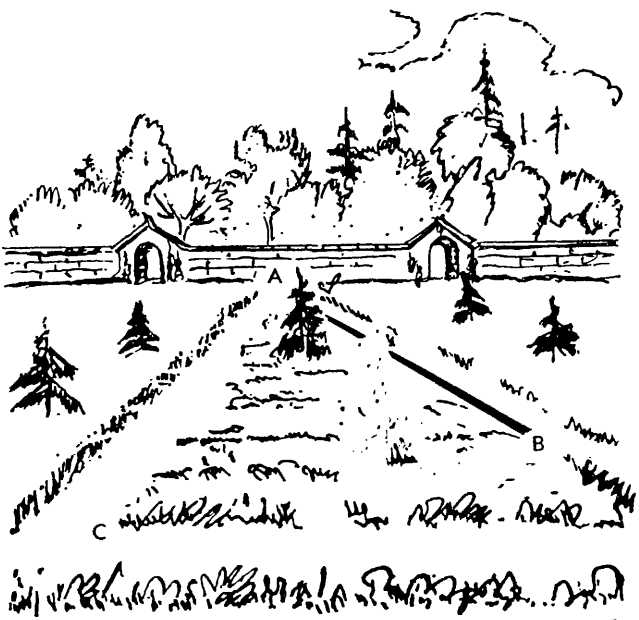


شکل ۱۳۶ — در این شکل چه چیز می‌بینید — پلکان یا فرورفتگی رف‌مانند، یا نوار کاغذی که به شکل فانوس تا شده است؟



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 رف‌مانند 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 رفسانند 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.

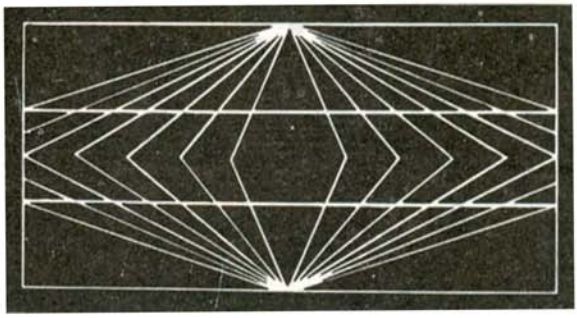
ضمناً وقتی مدت زیادی به شکل نگاه کنید، چون خسته میشوید، بی‌اراده گاه یک تصویر و گاه تصویر دیگر و گاه تصویر سوم را خواهید دید.

شکل ۱۳۷ نیز دارای همین ویژگی‌ها است.

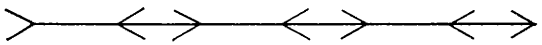
خطای باصره شکل ۱۳۸ جالب است، ما بی‌اختیار تصور میکنیم که فاصله AB کمتر از فاصله AC است، در صورتیکه مساوی هستند.

باز هم چند خطای باصره

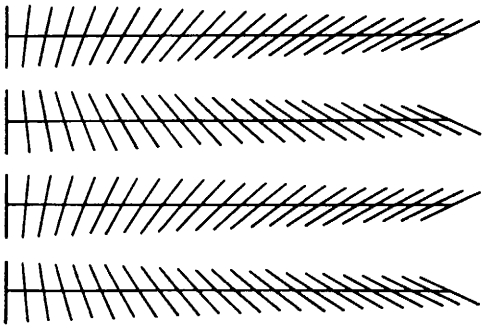
ما نمیتوانیم علت همهٔ انواع خطاهای باصره را توضیح بدهیم. گاهی حتی نمیتوان پی برد که در مغز ما چه استنباطاتی روی میدهد که سبب این یا آن خطای باصره میشود. در شکل ۱۳۹ بطور وضوح دو قوس می‌بینیم که برآمدگی آنها رو به یکدیگر واقع است. آدم حتی شک هم نمیکند که واقعاً چنین است. اما کافی است خط‌کش را روی این دو 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.



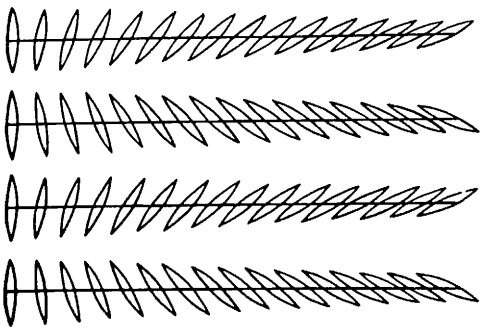
شکل ۱۳۹ — گرچه دو خط وسطی که از راست به چپ کشیده شده، دو قوس به نظر می‌آیند که برجستگی آنها رو به یکدیگر است، اما در واقع دو خط مستقیم موازی هستند. این خطای باصره از بین میرود: ۱ — اگر شکل را تا سطح چشم بالا بیاوریم و طوری به آن نگاه کنیم که نگاهمان در طول این دو خط بلغزد، ۲ — اگر نوک مداد را در نقطه‌ای از شکل بگذاریم و نگاهمان را در آن نقطه متمرکز کنیم.



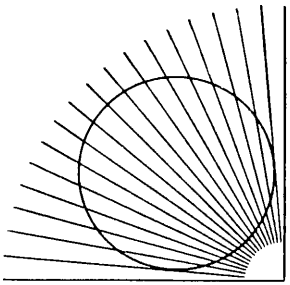
شکل ۱۴۰ — آیا این خط مستقیم به شش قسمت مساوی تقسیم شده است؟



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 می‌آیند.

به چند خطای باصرهٔ دیگر از همین نوع اشاره میکنیم. در شکل ۱۴۰ به نظر می‌آید که خط مستقیم به قسمت‌های نامساوی تقسیم شده است، اما اگر اندازه بگیریم، می‌بینیم که همهٔ قسمت‌ها مساوی هستند. در شکل ۱۴۱ و ۱۴۲ خطوط مستقیم موازی، غیر موازی به نظر می‌آیند. در شکل ۱۴۳ دایره، بیض شکل به نظر می‌آید.

جالب است که اگر خطاهای باصره‌ای را که در شکل های ۱۴۰ و ۱۴۱ و ۱۴۲ 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 ۱۴۴ 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 «علامگی نشان دادن» غیر ارادی عقل که مانع میشود ما آن چیزی را که واقعاً هست ببینیم، نهفته است.

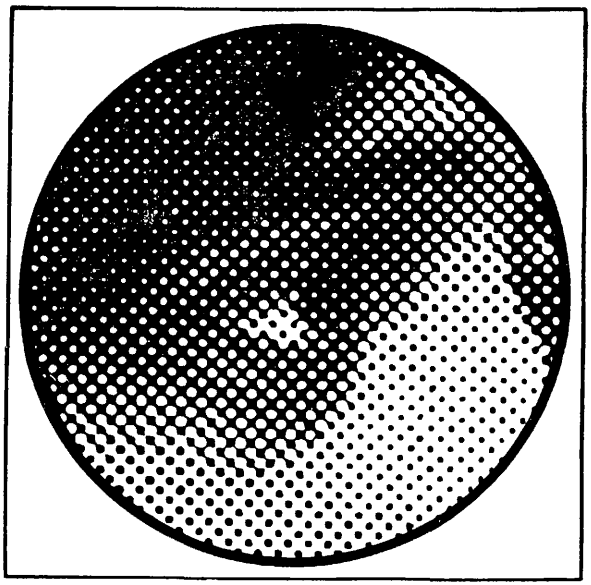
این چیست؟

اگر به شکل ۱۴۵ 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 — ۴ 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 ۱۴۴ 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.

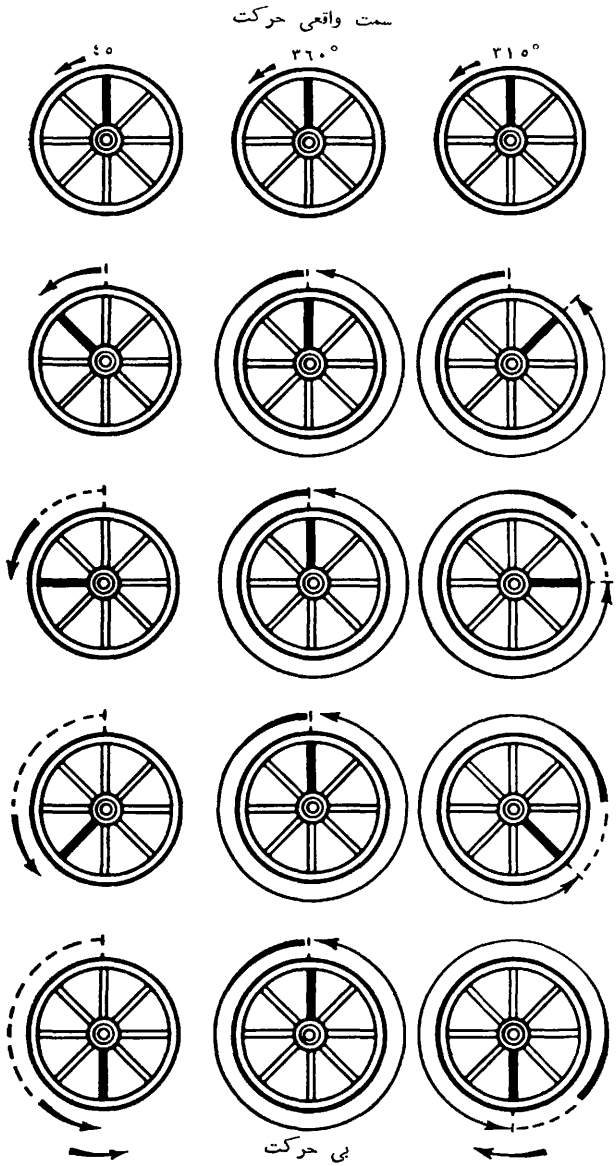
کتاب را هنگام مطالعه نگاه میداریم ، به صورت زمینهٔ یکپارچه‌ای درهم می‌آمیزند ، اما وقتی چشمه‌های تور درشت است ، درهم‌آمیزی در فاصلهٔ بیشتری صورت میگیرد . اگر خوانندگان گرامی آنچه را در بارهٔ زاویهٔ دید گفتیم به یاد بیاورند ، مطالب بالا را به آسانی میفهمند .

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 چرخ‌ها 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 اتوبیل 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 اتوبیل ، چرخ ها آهسته میچرخند .

ثالثاً — چرخ در فاصلهٔ میان دو عکس قدری کمتر از دور کامل میزند (مثلاً بطوری که د 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 .

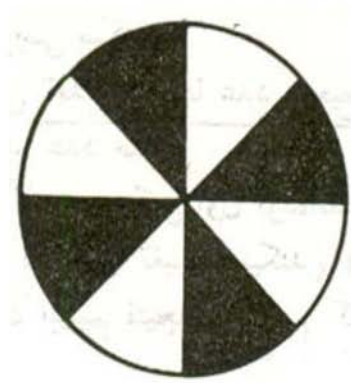
این مطلب در باره دو مورد دیگر نیز صدق میکند .

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 اتوبیلی 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 اتوبیل 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 اتوبیل را هم حساب کنیم . مثلاً ،



در مورد بالا، اگر قطر چرخ ۸۰ سانتیمتر باشد، سرعت حرکت اتومبیل 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 اتومبیل 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.

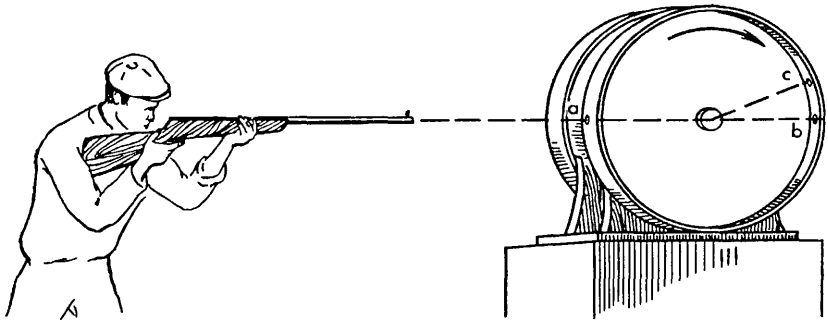
«میکروسکوپ زمان» در تکنیک

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 ۲۰۰ 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*.

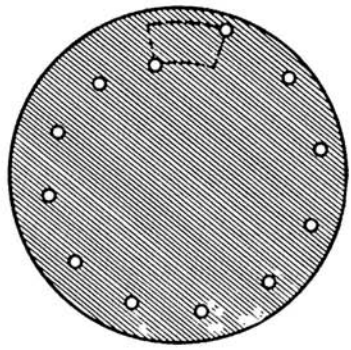
در پایان طرز اندازه‌گیری سرعت گلوله را بر اساس امکان تعیین دقیق تعداد دورهای صفحهٔ در حال چرخش، شرح میدهیم. روی محوری که به سرعت میچرخد صفحهٔ مقوائی میکشند که روی آن درجه‌بندی شده و لبه‌هایش را تا کرده‌اند، در نتیجه صفحه شکل استوانهٔ بی‌دری را دارد (شکل ۱۴۸). تیرانداز طوری به این جعبهٔ مقوائی تیراندازی 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.

---

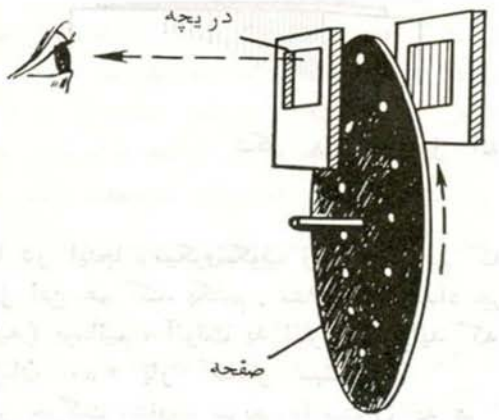
* دستگاه‌های به نام «استروبوسکپ یا «چرخش‌سنج» که در عمل به کار میروند و برای اندازه‌گیری بسامد جریان‌های با تناوب بسیار زیاد از آنها استفاده میشود، بر اساس همین اصل ساخته شده است. اندازه‌گیری با استروبوسکپ نتایج فوق‌العاده دقیق میدهد (مثلاً دقت اندازه‌گیری با استروبوسکپ الکترونی به ۰/۰۰۱ درصد میرسد). (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

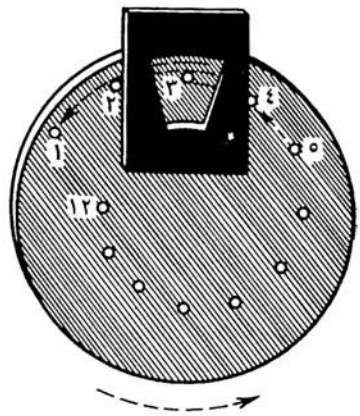


شکل ۱۴۹.



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.

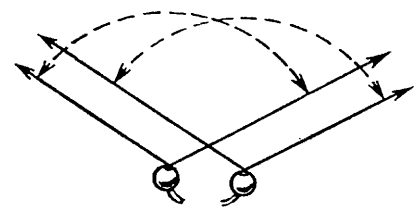
خود شما نیز میتوانید «صفحه نیپکوف» را تهیه کنید. برای سریع چرخاندن صفحه میتوانید به دور محور آن قیطانی بپیچید، البته اگر از یک موتور برقی کوچک استفاده کنید، خیلی بهتر است.

چرا خرگوش چپ‌چشم است؟

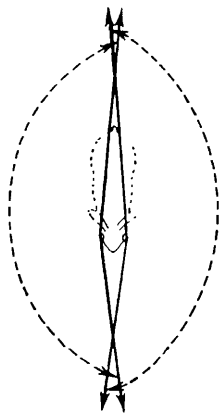
انسان یکی از موجودات بسیار معدودی است که هر دو چشمشان میتواند در آن واحد یک جسم معین را ببیند. میدان دید چشم راست فقط کمی با میدان دید چشم چپ تطابق ندارد.

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).

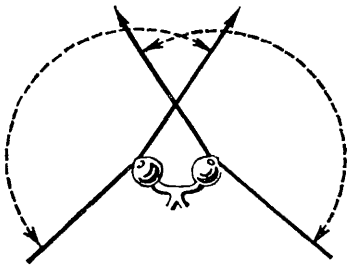
در شکل ۱۵۳ میدان دید خرگوش نشان داده شده است. شکل ۱۵۲ را با این شکل مقایسه کنید. خرگوش بی‌آنکه سرش را برگرداند، میتواند با چشم‌های کاملاً متباعدش نه فقط چیزهائی را که در جلوش هست، بلکه چیزهائی را که پشت سرش قرار دارد، نیز ببیند. میدان دید هر یک از چشم‌های خرگوش هم در جلو و هم در عقب باهم تلاقی میکنند! 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) .

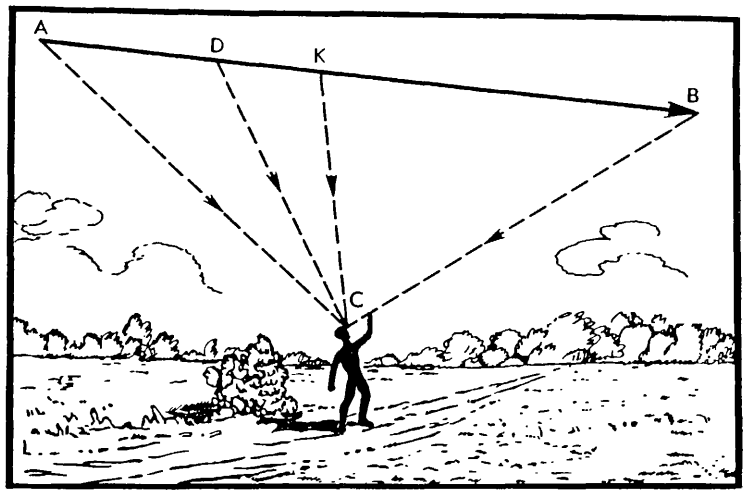
حالا ببینیم این مطلب در مورد گلوله‌های توپ و تفنگ واقعی چگونه است : آیا این گلوله‌ها از صوت سریع‌تر پرواز میکنند ، یا اینکه صوت از گلوله جلو می‌افتد و شخصی را که هدف قرار گرفته از نزدیک شدن گلولهٔ مرگبار باخبر میکند ؟

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 ۱۰۰) 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 آش‌شله‌قلمکاری 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 میابد. 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. اماگاهی 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.

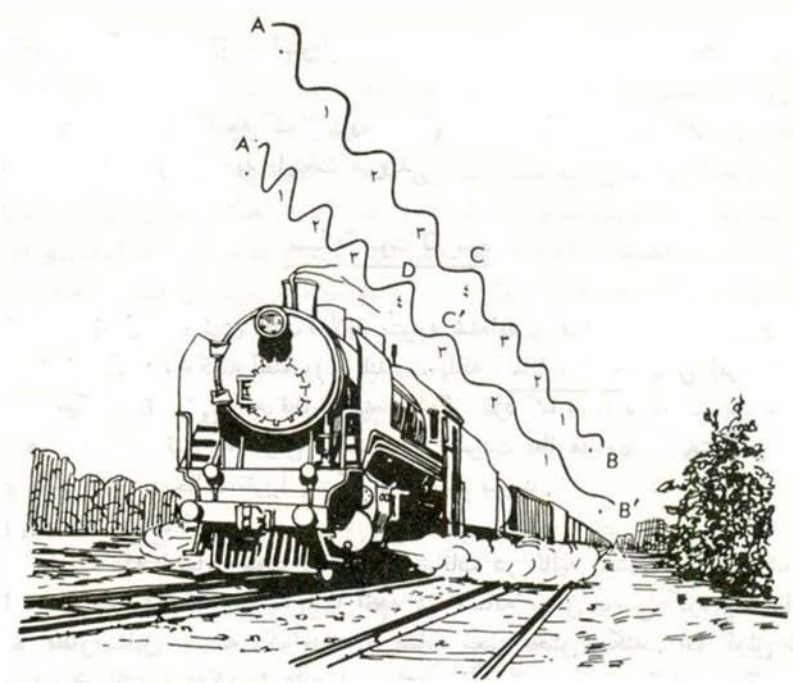
علت این پدیده چیست؟

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 ماوراءِ بنفش به بنفش و اشعهٔ قرمز به مادون قرمز تبدیل میشوند. خلاصه، اجزاءِ 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

قابل توجه خوانندگان گرامی!

در سال ۱۹۷۷ بنگاه نشریات «میر» کتاب ل. لاندائو و ی. رومر «نظریهٔ نسبیت چیست؟» را چاپ و منتشر میکند.

این کتاب یکی از موفقیت‌آمیزترین کوششها در ادبیات جهانی برای بیان اساس نظریهٔ نسبیت خصوصی آلبرت انشتین بزبان عامه‌فهم بوده است.

کتاب مذکور توسط آکادمیسین ل. لاندائو فیزیکدان برجستهٔ شوروی دارندهٔ جوایز لنین و نوبل در رشتهٔ فیزیک نظری با همکاری استاد ی. رومر نوشته شده است. نگارندگان توانسته اند بطور تأثیربخش و قانع‌کننده نشان دهند که مفاهیمی بظاهر ثابت و تغییرناپذیر مانند زمان، فضا و جرم در حقیقت قابل تغییر است. مثلاً زمان در موشک ستاره‌پیما کندتر سپری خواهد شد بطوریکه صدها سال زمینْ معادل تنها چند سال موشک خواهد بود.

کتاب فاقد محاسبات پیچیده و دارای بیان ساده و شیوا بوده قابل فهم توده‌های وسیع خوانندگان که اغلب معلومات تخصصی این رشته را ندارند، میباشد.

قابل توجه خوانندگان گرامی!

در سال ۱۹۷۸ بنگاه نشریات «میر» کتاب ب. دمیدویچ «مجموعهٔ مسایل و تمرینات آنالیز ریاضی» را بزبان فارسی چاپ و منتشر خواهد ساخت.

این کتاب متضمن بیش از ۳۰۰۰ مساله است. به مهمترین مباحث – تعیین حدود، روشهای مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری، رسم نمودار توابع، کاربرد انتگرالهای معین، سری‌ها، حل معادلات دیفرانسیل – توجه خاصی مبذول شده است.

در آغاز هر مبحث مقدمهٔ نظری مختصر و تعاریف و دستورهای اساسی و، علاوه بر این، نمونه‌های حل انواع اصلی مسایل بررسی شده و برای همهٔ مسایل جواب در آخر کتاب درج شده است.

خوانندگان گرامی !

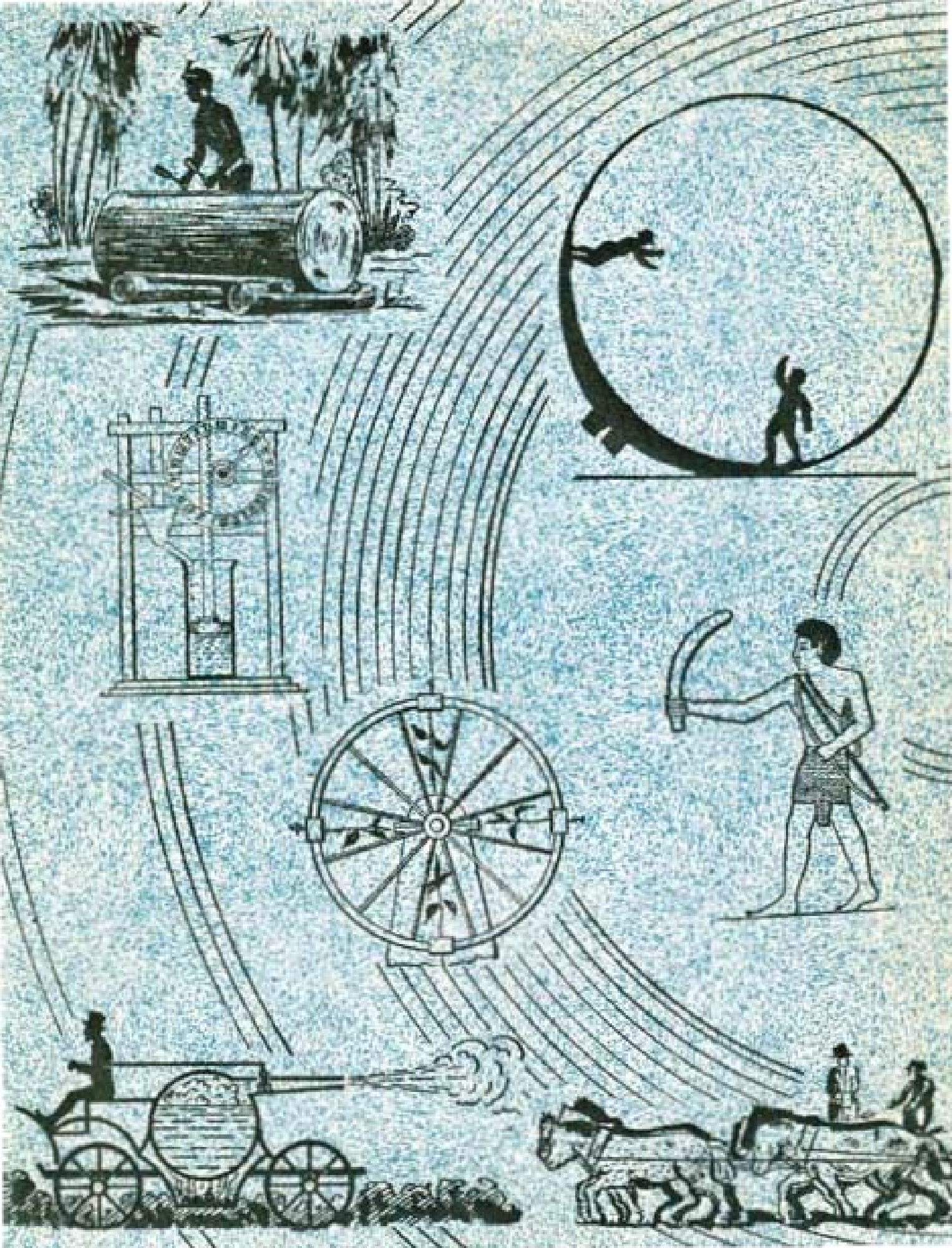
بنگاه نشریات «میر» خواهشمند است نظریات خود را در باره این کتاب و ترجمه و چاپ آن و نیز سایر نظریات و پیشنهادهای خود را برای ما بفرستید.

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 نشانی های زیر بفرستید :

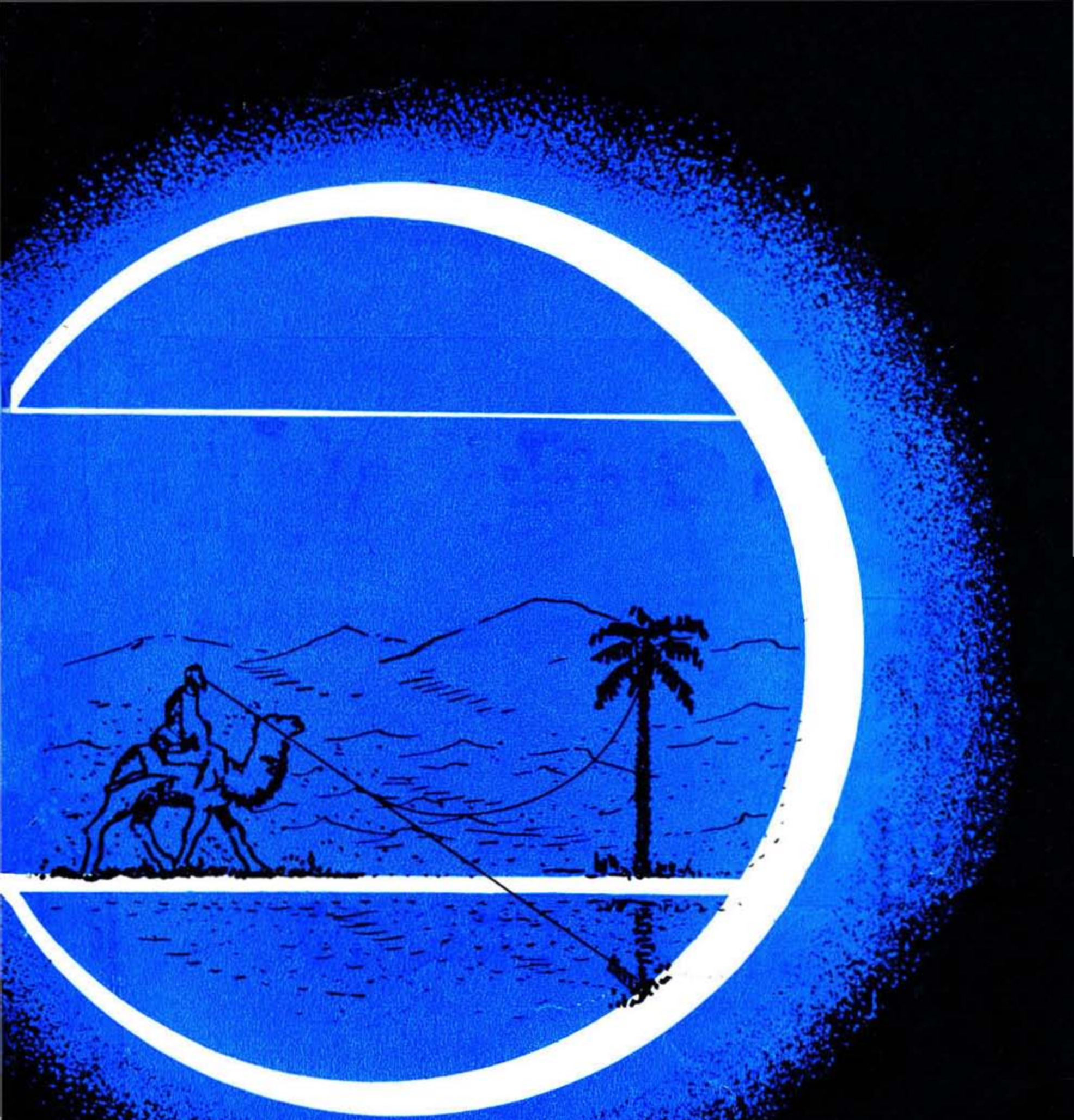
«میر» ، پروی ریژسکی ۲ ،
مسکو ، اتحاد شوروی
«مژکنیگا» ، گ — ۲۰۰
مسکو ، اتحاد شوروی

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



یاکوف پرلمان یکی از برجسته‌ترین مروجین علم و دانش میباشد. علاوه بر «فیزیک برای سرگرمی»، آثار مختلفی از قبیل «ریاضیات برای سرگرمی»، «جبر برای سرگرمی»، «هندسه برای سرگرمی»، «آیا فیزیک میدانید؟»، «فیزیک در هر قدم»، «مکانیک برای سرگرمی»، «سفرهای بین سیارات» و غیره نوشته که طی دهها سال توجه و علاقه خوانندگان شوروی را بر انگیخته است. بسیاری از کتابهایش به زبانهای خارجی ترجمه شده است.

پرلمان در زمان محاصره لنینگراد از طرف ارتش آلمان فاشیستی در سال ۱۹۴۲ درگذشت اما کتابهایش همچنان به زندگی خود ادامه میدهند. هر چاپ تازه فوراً بعد از پیدایش در بازار کتاب بفروش میرود. در چاپهای تازه فقط ارقام و احکام کهنه شده تجدید نظر گردیده در صورتیکه اساس ادبی و علمی بلاتغییر مانده است.



بنگاه نشریات «میر»
مسکو