ISSN 1606-917X

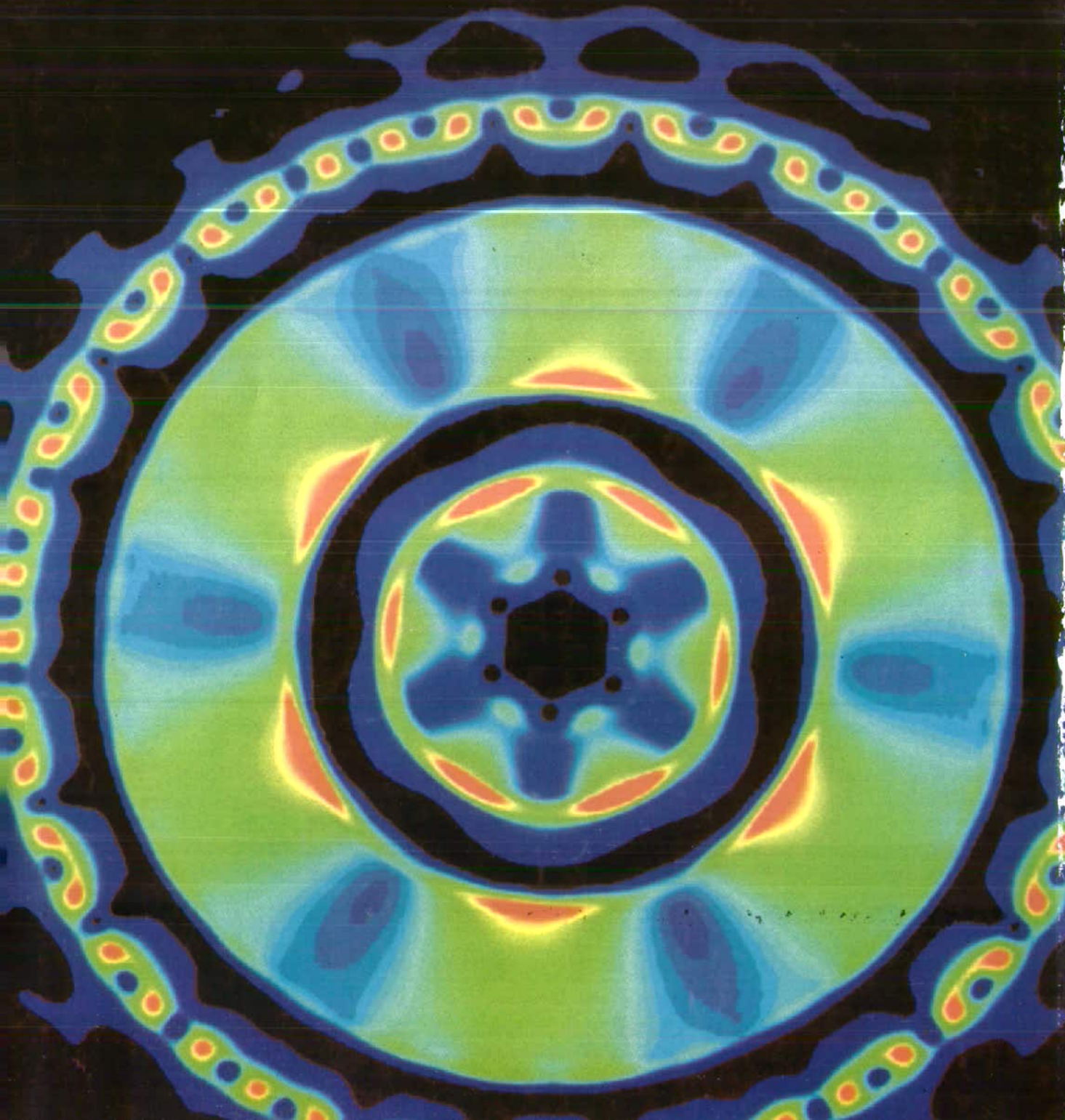
رشد

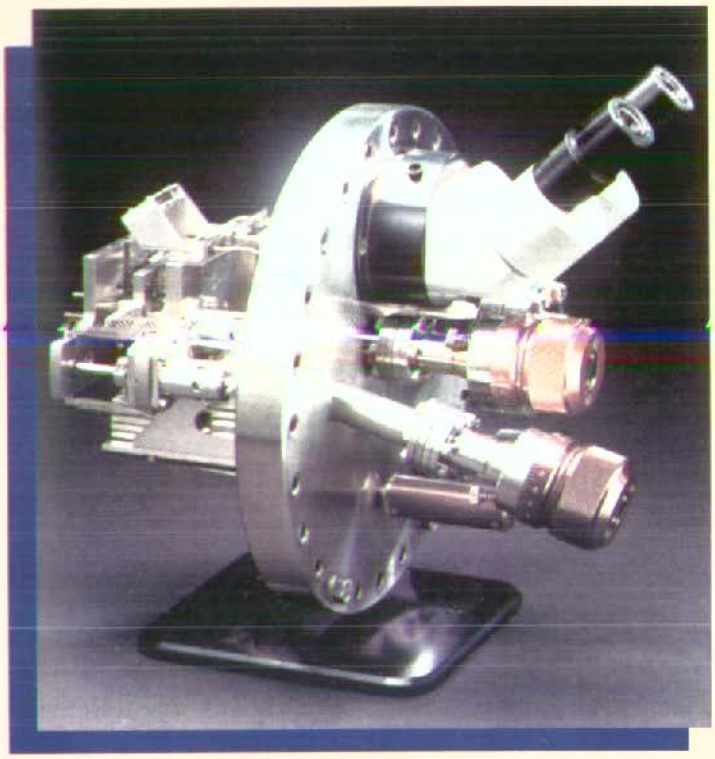
فیزیک

۵۷

آموزش

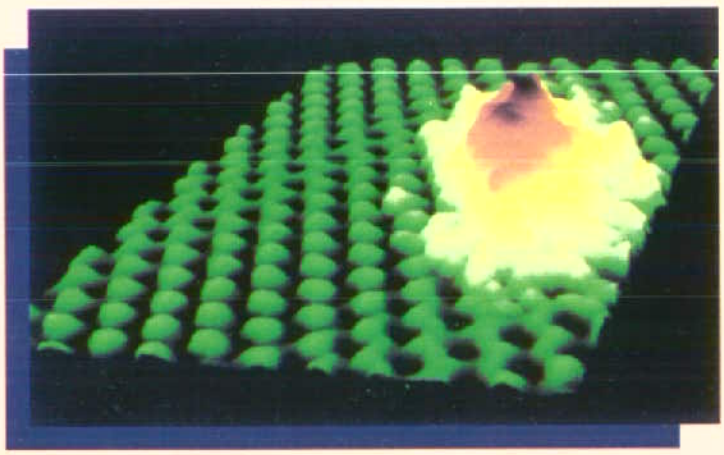
سال سیزدهم - بها ۵۰۰ ریال





میکروسکوپ تونل‌زنی روبشی می‌تواند جزییات قرار گرفتن اتم‌ها را در مقیاس 10^{-10} m نشان دهد.

تصویری که به کمک میکروسکوپ تونل‌زنی روبشی از اتم‌های طلا (نارنجی) بر سطح گرافیک (سبز) گرفته شده است.



ISSN 1606-917X

بسم الله الرحمن الرحیم

رشد

آموزش فیزیک

۵۷

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی
دفتر انتشارات کمک آموزشی
دورهٔ انتشار: تابستان ۱۳۸۰

معیار توسعه یافتگی چیست؟ ○ *منیژه رهبر*/ ۲
شما چه فکر می کنید؟ ○ *حسن قلمی باویل علیایی*/ ۳
فیزیک تصویری ○ *محمد علی پزشپور*/ ۴
نگاهی دیگر به حرکت پرتابه ○ *ژینیون یو*/ ۵
سراب اپتیکی ○ *آندره سیرادزان*/ ۶
چیزی به نام انرژی رایگان وجود خارجی ندارد، ○ *کاترینا جیانونا*/ ۹
فعالیت‌های گروهی دانش‌آموزان ○ *محمد علی پزشپور*/ ۱۵
محاسبه مستقیم شار الکتریکی عبوری از سطح هندسی ○ *سینا شکری*/ ۱۶
خارج کردن بار از نوار چسب ○ *راندال هارینگتون*/ ۱۸
مهبانگ و کد ژنتیک ○ *جنیو سکره*/ ۲۱
چگونه آلودگی هوا مانع از بارندگی می‌شود؟ ○ *اوئن تون*/ ۲۳
خطرات الکتریکی، جریان‌های نشتی ○ *داگلاس ژیان کولی*/ ۲۶
چه عواملی بر مسیر حرکت یک جسم مؤثرند؟ ○ *جهانگیر ریاضی*/ ۲۸
اندازه‌گیری فشار خون ○ *جونز - چیلدرز*/ ۳۰
قانون دوم در مورد سیستم‌های با جرم‌های متغیر ○ *دیوید چالدر*/ ۳۲
چگونه نیروی اصطکاک این قدر باهوش است؟ ○ *جاناتان اف. ریچارد*/ ۳۳
علم و خلاقیت ○ *داگلاس ژیان کولی* / ۳۶
قطارهای پرنده مغناطیسی ○ *بولوم فیلد*/ ۳۷
بیست ونهمین المپیاد بین المللی فیزیک ○/ ۵۰

مدیر مسؤول: علیرضا حاجیان‌زاده
سردبیر: دکتر منیژه رهبر
مدیر داخلی: احمد احمدی
طراح گرافیک: پروانه هادی‌پور
هیأت تحریریه:
احمد احمدی. روح الله خلیلی بروجنی.
منیژه رهبر. سید جعفر مهرداد.

نشانی دفتر مجله: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۶۵۸۵
تلفن توزیع و بازرگانی: ۸۸۳۹۱۸۶
تلفن دفتر مجله: ۹-۸۸۳۱۱۶۱ داخلی: ۲۷۱
چاپ: شرکت افست (سهامی عام)
تیراژ: ۶۰۰۰ نسخه

❖ دفتر انتشارات کمک آموزشی، این مجلات را نیز منتشر می کند:
رشد کودک (ویژهٔ پیش دبستان و دانش آموزان کلاس اول دبستان) رشد نوآموز (برای دانش آموزان کلاس دوم و سوم دبستان) رشد دانش‌آموز (برای دانش آموزان کلاس چهارم و پنجم دبستان) رشد نوجوان (برای دانش آموزان دورهٔ راهنمایی) رشد جوان (برای دانش آموزان دورهٔ متوسطه) مجلات رشد معلّم، تکنولوژی آموزشی، آموزش ابتدایی، آموزش معارف اسلامی، آموزش شیمی، آموزش زبان وادب فارسی، آموزش زبان، آموزش راهنمایی تحصیلی، آموزش ریاضی، آموزش زیست شناسی، آموزش جغرافیا، آموزش تاریخ، آموزش تربیت بدنی (برای دبیران، آموزگاران، دانشجویان تربیت معلم، مدیران مدارس و کارشناسان آموزش و پرورش)

❖ مجله رشد آموزش فیزیک نوشته ها و حاصل تحقیقات پژوهشگران و متخصصان تعلیم و تربیت، ویژه آموزگاران، دبیران و مدرسان را، در صورتی که در نشریات عمومی درج نشده و مرتبط با موضوع مجله باشد، می پذیرد. ❖ مطالب باید یک خط در میان و در یک روی کاغذ نوشته و در صورت امکان تایپ شود. ❖ شکل قرار گرفتن جدولها، نمودارها و تصاویر ضمیمه باید در حاشیهٔ مطلب نیز مشخص شود. ❖ نثر مقاله باید روان و از نظر دستور زبان فارسی درست باشد و در انتخاب واژه های علمی و فنی دقت لازم مبذول گردد. ❖ مقاله های ترجمه شده باید با متن اصلی همخوانی داشته باشد و متن اصلی نیز ضمیمهٔ مقاله باشد. ❖ در متنهای ارسالی باید تا حد امکان از معادلهای فارسی واژه ها و اصطلاحات استفاده شود. ❖ زیرنویسها و منابع باید کامل و شامل نام اثر، نام نویسنده، نام مترجم، محل نشر، ناشر، سال انتشار و شماره صفحهٔ مورد استفاده باشد. ❖ مجله در رد، قبول، ویرایش و تلخیص مقاله های رسیده مختار است. ❖ آرای مندرج در مقاله ها، ضرورتاً مبین نظر دفتر انتشارات کمک آموزشی نیست و مسؤولیت پاسخگویی به پرسشهای خوانندگان، با خود نویسنده یا مترجم است. ❖ مجله از بازگرداندن مطالبی که برای چاپ مناسب تشخیص داده نمی شود، معذور است.

تصویر روی جلد برگرفته از: Science 21 July 2000
مقطع یک تار نوری متشکل از چند لایه که برای انتقال علائم الکتریکی به کار می رود. مطالعات اخیر نشان داده است که با استفاده از کابل های کاملاً دی الکتریک می توان بر مشکلات ناشی از قطبش و پراش که در تارهای معمولی صورت می گیرد اجتناب کرد.

معیار توسعه یافتگی چیست؟

منیژه رهبر

امروزه معیار توسعه یافتگی هر کشور سهمی است که نیروی انسانی در سرمایهٔ ملی آن کشور دارد. این سهم با رشد فناوری جامعه افزایش می‌یابد، به طوری که برای کشوری چون ژاپن که به رغم امکانات طبیعی محدود خود توانسته است جایگاهی ممتاز در اقتصاد جهانی به دست آورد در حدود ۸۰ درصد است. اما، در کشورهای به اصطلاح در حال رشد شاید این سهم از ۳۰ درصد تجاوز نکند. تکیهٔ این گونه کشورها هنوز به منابع زیرزمینی و امکانات طبیعی است که البته به علت نداشتن نیروی متخصص کافی نمی‌توانند استفاده شایسته را از آنها بکنند و ارزش این منابع حیاتی را کشورهایی تعیین می‌کنند که به مرحلهٔ توسعه یافتگی رسیده‌اند.

عاملی که سبب می‌شود نیروی انسانی هر کشور بتواند نقش خود را در توسعه و پیشرفت آن کشور ایفا کند بدون شک آموزش مناسب با توجه به امکانات و نیازهاست. البته، افراد جامعه بشری در نقاط مختلف جهان از استعدادهای بالقوهٔ کم و بیش یکسانی برخوردارند. ولی آنچه باعث می‌شود در مراحل بعدی این استعدادهای طبیعی شکوفا شوند و در جهت پیشرفت جامعه به کار روند، پرورش استعدادها به صورت مناسب و با توجه به شرایط جهان کنونی است.

اکنون آموزش و پرورش در اغلب کشورها کاملاً متحول شده است، کودکان و نوجوانان به گونه‌ای آموزش می‌بینند که بتواند در اجتماع به نحو شایسته‌ای زندگی کنند، ارتباط سازنده و با نشاط با سایر افراد جامعه برقرار سازند، ضمن احساس مسؤولیت نسبت به جامعه‌ای که در آن زندگی می‌کنند و با محترم شمردن حقوق همنوعان خود بتوانند بهترین بهره را از امکانات موجود بگیرند و شرایط مناسب را برای زندگی خود و دیگران فراهم سازند. به ویژه آنکه در جهان کنونی با توجه به چالش‌هایی که رشد روزافزون جمعیت، تهی شدن منابع طبیعی، صنعتی شدن و مسائل زیست محیطی به وجود آورده‌اند، ناآگاهی و رفتار نادرست به هیچ تردیدی فاجعه‌آمیز خواهد بود.

اکنون این پرسش اساسی مطرح می‌شود که ما تا چه حد توانسته‌ایم خود را با این نیازهای جامعهٔ نوین هماهنگ سازیم؟ آیا در مدارس خود رفتار درست در جامعه را به فرزندان خود می‌آموزیم، و حس مسؤولیت نسبت به اجتماع و همنوعان را در آنها تقویت می‌کنیم؛ یا به آنها یاد می‌دهیم که فرد زیرک کسی است که فقط به فکر منافع خود به هر قیمت، حتی تجاوز به حقوق دیگران باشد؟! آیا آنچه در مدارس ما تدریس می‌شود در جهت به دست آوردن شناخت بیشتر از محیط اطراف برای بهره‌برداری مناسب و مسؤولانه از آن است یا صرفاً یک رشته محفوظات بدون ارتباط با یکدیگر برای یاد گرفتن چگونگی تست زدن در آزمون‌های ورودی و سپس فراموش کردن آنها؟ آیا هدف فرزندان ما از آموزش عالی توسعهٔ معلومات در جهت به کارگیری بهتر استعدادها و

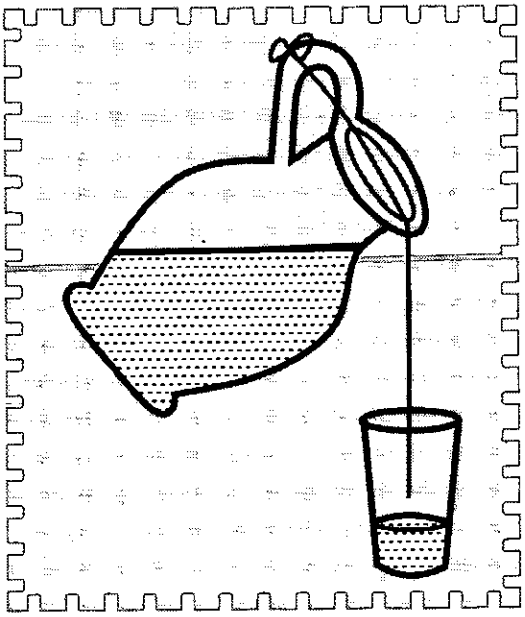
امکانات است یا صرفاً به دست آوردن مدرکی جهت استفاده از مزایای قانونی آن؟ آیا صهدف از توسعهٔ تحقیقات در کشور ما رفع مشکلات موجود در بخش های مختلف جامعه و بهره گیری بهینه از منابع موجود است یا صرفاً منتشر کردن مقاله ای در جهت ارائه آمار و ارتقاء مرتبهٔ شغلی؟ و آیا برنامه ای مدون و هدف دار در این مورد وجود دارد که نیازها و مشکلات، امکانات و تواناییهای کشور در آن لحاظ شده باشد؟ همایش های بسیاری که در کشور تشکیل می شود در جهت تبادل نظر و آشنایی با مسائل و استفاده از تجربیات افراد مختلف است یا صرفاً وسیله ای جهت صرف هزینه های بسیار با کمترین بازده و به فراموشی سپردن مسائل مطرح شدن و عدم پیگیری آنها یا تشکیل همایش بعدی؟

شکی نیست که اعضای متعهد جامعهٔ ما، که تعدادشان خوشبختانه بسیار زیاد است، هدفی جز پیشرفت کشور و ارتقاء سطح زندگی هموطنان خود ندارند. بنابراین، شاید روش هایی را که برای رسیدن به این اهداف به کار می بریم کارآیی چندانی ندارند. جهان امروز با سرعت باور نکردنی به پیش می رود و زمان دو برابر شدن معلومات بشری کوتاه و کوتاه تر می شود. پس هر نوع غفلت در این مورد پیامدهای فاجعه آمیز و غیرقابل جبران خواهد داشت. از هم اکنون باید با نگرش انتقادآمیز به شرایط و رفتار خود به فکر بهبود آنها و جبران خطاهای خود برآییم که فرصت چندانی در اختیار ما نیست.

شما چه فکر می کنید؟

(ویژهٔ دانش آموزان)

حسن قلمی باویل علیایی



وسایل مورد نیاز آزمایش:

۱ـ پارچ آب

۲ ـ نخ

۳ـلیوان

یک تکه نخ را با آب خیس کنید و سپس انتهای آن را به دسته یک پارچ که تا نیمه پر از آب است ببندید. نخ را از بالای دهانه پارچ مطابق شکل بگذرانید و در درون یک لیوان قرار دهید. پارچ را به آرامی کج کنید، آب در امتداد نخ به درون لیوان می ریزد، علت را توضیح دهید؟

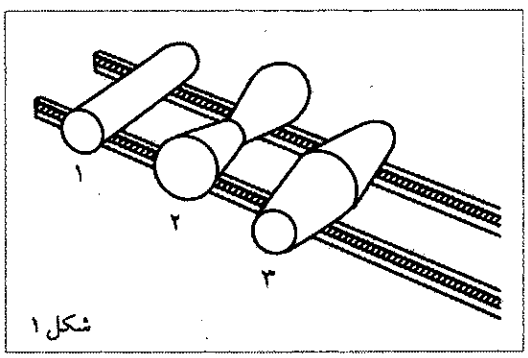
پاسخ های خود را به تهران صندوق پستی ۳۶۳ـ۱۵۸۵۵ گروه فیزیک و یا به پست الکترونیکی Iranphysicsedu @ physicist.net ارسال کنید.

فیزیک تصویری

محمدعلی پزشیور

در شکل زیر سه نوع غلتک روی ریلهای موازی شیبداری قرار دارند. غلتک(۱) یک استوانه است. غلتک(۲) دو مخروط ناقص است که از قاعده کوچکتر به هم چسبیده‌اند. غلتک(۳) دو مخروط ناقص است که از سطح قاعده بزرگتر به هم چسبیده‌اند.

هنگامیکه غلتک‌ها روی ریلها حرکت می‌کنند، یکی از



شکل ۱

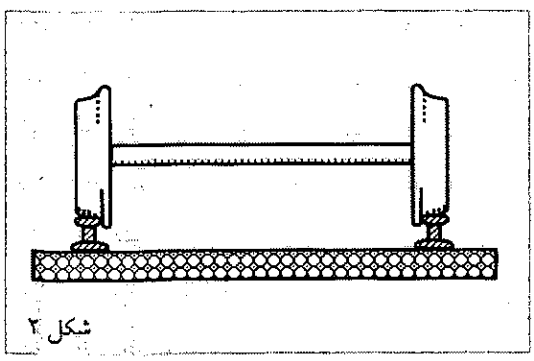
آنها کاملاً پایدار است و روی ریلها درست حرکت می‌کند. دیگری ناپایدار است و می‌خواهد از ریلها خارج شود و دیگری برای مسیر کوتاهی نسبتاً پایدار است. کدام یک پایدار و کدام یک ناپایدار است؟

پاسخ

۱ـ غلتک استوانه‌ای پایدار است و هنگامی درست می‌غلتد که عمود بر ریلها است. به‌طوری که اگر کمی مایل قرار گیرد و یا ریلها دارای انحنا باشند از ریلها خارج نمی‌شود. به‌عبارت دیگر غلتک استوانه‌ای پایداری نسبتاً خوبی دارد.

۲ـ غلتکی که از دو مخروط ناقص که سطح قاعده کوچکتر آنها به‌هم چسبیده است خیلی ناپایدار است. این غلتک تاهنگامی که بطور قرینه روی ریلها قرار گرفته باشد و فاصله ریلها تا مرکز غلتک مساوی باشد، درست می‌غلتد و هر دو طرف غلتک دارای سرعت‌های برابر است. اما هنگامی که قسمت‌های پهن‌تر غلتک با ریلها تماس می‌گیرد، سرعت در آن نقاط بیشتر می‌شود و غلتک بطرف خارج ریلها رانده می‌شود.

۳ـ غلتکی که از دو سطح قاعده بزرگ مخروط به‌هم چسبیده است، برخلاف غلتک دومی است و در نقاط تماس


شکل ۲

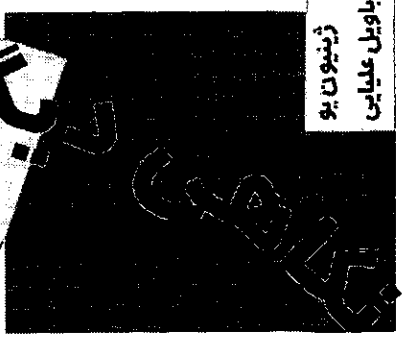
باسطح بزرگتر، سرعتش بیشتر می‌شود و بطرف مرکز کشانده می‌شود و اگر ضربه‌ای به‌یک طرف غلتک وارد شود، طرف دیگر غلتک، آنرا بطرف مرکز می‌راند؛ حتی اگر ریلها دارای انحنا باشند. جالب است آزمایش را تکرار کنید. حرکت نامنظمی (تلوتلو خوردن) که چرخهای قطار روی ریل راه آهن دارند برای پایدار شدن حرکت چرخها است. قسمت خارجی چرخ که در قسمت انحنای ریل قرار دارند مسافت بیشتری را طی می‌کنند تا قسمت داخلی چرخ که در قسمت باریکتر قرار دارد. به‌همین دلیل مسافری که درون قطار است تکان می‌خورد.

این موضوع درحقیقت کاربردی از رابطهٔ $V = r\omega$ است.

منبع:
The physics teacher November 2000, Vol 38, Number 8.

ترجمه: حسن قلمی باویل علیایی
ژینون یو

نگاهی دیگر به حرکت پرتابه



در بیشتر کتاب‌های مقدماتی و پیشرفته فیزیک، حرکت پرتابی بدون درنظر گرفتن مقاومت هوا بررسی می‌شود. در این نوع حرکت هرگاه زاویه پرتاب $\theta = 45^\circ$ باشد برد جسم بیشینه است. سارافین[1] در مقالهٔ خود ثابت کرد که بدون درنظر گرفتن مقدار سرعت اولیه، بیشترین طول مسیر پرتابه در حالتی است که زاویه پرتاب با محور افقی 56.46° باشد. در این مقاله به خاصیت جالب دیگری از پرتابه نیز اشاره شده است.

معادله مسیر حرکت پرتابه به‌صورت زیر است

$$y = x\tan\theta - \frac{1}{2}\frac{g}{(V.Cos\theta)^2}x^2 \qquad (1)$$

که در آن $V.$ سرعت اولیه و θ زاویه پرتاب است. $A(\theta)$ مساحت محصور بین مسیر حرکت پرتابه با محور افقی است. بنابراین خواهیم داشت:

$$A(\theta) = \int_0^R y\,dx \qquad (2)$$

همچنین برد پرتابه از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$R = \frac{V_0^2}{g}Sin(2\theta)$$

معادله(۱) را در معادله(۲) قرار می‌دهیم و سپس انتگرال می‌گیریم، جواب به‌صورت زیر خواهد شد:

$$A(\theta) = \frac{2}{3}\frac{V_0^4}{g^2}Cos\theta\ Sin^2\theta \qquad (3)$$

تابع $f(\theta)$ را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم

$$f(\theta) = Cos\theta\ Sin^2\theta \qquad (4)$$

روشن است که

$$f(0^\circ) = f(90^\circ) = 0$$

اکنون زاویه‌ای را که تحت آن $f(\theta)$ بیشینه می‌شود را به‌دست می‌آوریم. از دو طرف معادله(۴) نسبت به θ مشتق می‌گیریم.

$$\frac{df}{d\theta} = Sin^2\theta(3 - 4Sin^2\theta) \qquad (5)$$

با فرض آنکه $\theta \neq 0$ معادله(۵) را برابر صفر قرار می‌دهیم، خواهیم داشت:

$$Sin^2\theta = \frac{3}{4} \qquad (6)$$

یا

$$Sin\theta = \pm\frac{\sqrt{3}}{2} \qquad (7)$$

روشن است که علامت مثبت جواب فیزیکی معادله است. بنابراین پاسخ معادله(۶)، $\theta = 60^\circ$ است. بنابراین

$$f(60^\circ) = \frac{3\sqrt{3}}{16}$$

خواهد شد.

اگر بیشینهٔ $A(\theta)$ را با A_{max} نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$A_{max} = A(60^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{8}\ \frac{V_0^4}{g^2} \qquad (8)$$

اکنون به سه خاصیت جالب توجه کنیم. نخست اینکه، تحت زاویه 45° برد پرتابه بیشینه است. دوم، تحت زاویه $56/46^\circ$ طول مسیر حرکت پرتابه بیشینه است و سوم، تحت زاویه 60° مساحت محصور بین مسیر پرتابه و خط افق بیشینه است.

مرجع:

1. Haiduke Sarafian, "on projectile motion", The Physics Teacher. 37, 86(1999)

آموزش اپتیک هندسی با استفاده از

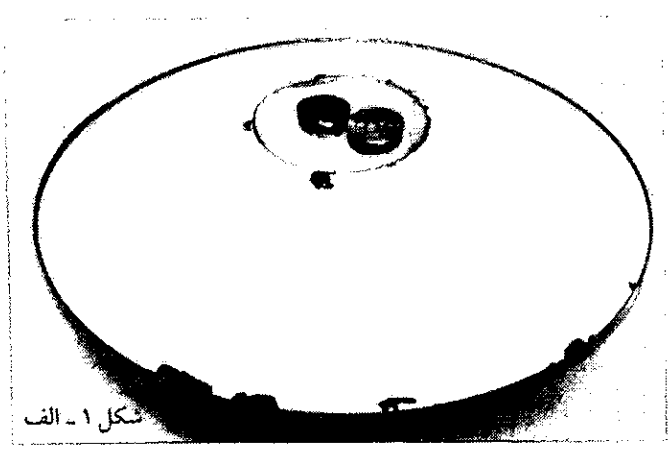
سراب اپتیکی

نوشته: آندره سیرادزان
مترجم: سیدجواد نورایی
(عضو هیأت علمی گروه فیزیک
دانشگاه فردوسی مشهد)

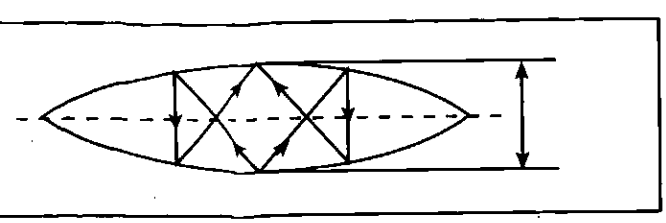
یک سرگرمی فیزیکی خوب باید توجه دانش‌آموزان را به‌خود جلب کند، آنها را به تعجب و تفکر وادارد و سرانجام بعضی مفاهیم را به‌خوبی به‌آنها بیاموزد. ما می‌خواهیم نگاه دقیق‌تری به‌یک اسباب‌بازی که مطمئنا به‌این دسته سرگرمی‌ها تعلق دارد، بیاندازیم. این وسیله «سراب اپتیکی» نام دارد.

سراب اپتیکی فقط از دو آینه مقعر تشکیل شده و طوری تنظیم شده است که از اشیاء کوچکی که در داخل سیستم قرار می‌گیرند، «تصاویری معلق در هوا» تولید کند (شکل ۱ـ الف و ۱ـ ب). کیفیت این تصاویر آنچنان بالاست و به‌قدری واقعی به‌نظر می‌رسند که تقریباً برای هر بیننده حقیقی جلوه می‌کنند و بیننده تصور می‌کند برای سکه حالت بی‌وزنی رخ داده است. بینندگان کنجکاو سعی می‌کنند شیء عجیب را لمس کنند و هنگامی که انگشتان آنها از میان شیء خیالی عبور می‌کند، شگفت‌زده می‌شوند. همه تعجب می‌کنند و سعی دارند بفهمند آنچه که می‌بینند واقعاً چیست؟

چندین سال است که از سراب اپتیکی در بخش فیزیک دانشگاه مرکزی میشیگان استفاده می‌شود. این وسیله در تمام موارد بسیار موفق بوده است و نظر بازدیدکنندگان را به‌خود جلب می‌کند. سادگی ظاهری دستگاه



شکل ۱ ـ الف



شکل ۱ـ ب

وسوسه‌انگیز است. وقتی اصول عملکرد آن را شرح می‌دهیم، تعداد کمی از بازدیدکنندگان قادرند توضیح صحیحی در مورد چگونگی وقوع پدیده بدهند و اکثراً موضوع را به پدیده‌های غریب «هولوگرافی» و یا مبهم (نوعی بازتاب) ربط می‌دهند. حتی نشان دادن یک دستگاه باز شده به بینندگان خیلی مفید واقعی نمی‌شود. درواقع، فیزیک جالب‌توجه و ساده‌ای در پشت این وسیله است که آن را مخصوصاً برای دانش‌آموزان متوسطه مفید می‌سازد.

از این وسیله برای سنجش اطلاعات اپتیکی دانشجویانی که درس اپتیک را شروع کرده بودند، استفاده کردیم. وسیله شرح داده شد و سپس آن را بازکردیم و از آنها خواستیم فاصله دو آینه را در حالتی پیدا کنند که یک تصویر حقیقی و باندازه واقعی از جسم و در سطح آینه بالایی تشکیل شده است. برای ساده‌تر شدن محاسبات به دانش‌آموزان گفته شد آینه‌ها را کروی فرض کنند. به‌رغم آنکه در نمونه واقعی آینه‌ها سهموی هستند.

درواقع، انتظار نداشتیم که درهنگام این کار به‌این اندازه هیجان‌زده شوند.

نقطه شروع واضح بود[۲]. تنها معادله‌ای که ضروری به‌نظر می‌رسید، معادله آینه کروی بود.

$$\frac{1}{s}+\frac{1}{s'}=\frac{1}{f} \qquad (1)$$

که در آن S فاصله میان آینه و شیء، S' فاصله آینه و تصویر و f فاصله کانونی است که برای یک آینه مقعر R/۲ (R شعاع خمیدگی آینه کروی مقعر) است. بدیهی است که دو بازتاب برای تولید تصویر لازم است. در اینجا مسئلهٔ اساسی پیدا کردن فاصله دو آینه (t) برحسب شعاع آینه است. به‌طوری که دومین بازتاب، یک تصویر واقعی در فاصله t از آینه اول تولید کند.

با به‌کار بردن معادله (۱) برای اولین بازتاب داریم:

$$\frac{1}{t}+\frac{1}{s'}=\frac{2}{R} \qquad (2)$$

که رابطهٔ زیر را برای حمل تصویر بازتابیده از آینه می‌دهد.

$$S' = tR/(2t - R)$$

که طبق روش استاندارد برای بازتاب‌های پی‌درپی، اولین تصویر برای بازتاب دوم به‌عنوان شیء درنظر گرفته می‌شود. از آنجاکه در بازتاب دوم فاصله باید نسبت به آینه دوم درنظر گرفته شود، s را با $t-s'$ جانشین می‌کنیم و مجدداً معادله(۱) را برای بازتاب دوم به‌کار می‌بریم. معادله آینه به‌شکل زیر درمی‌آید:

$$\frac{1}{t-s'}+\frac{1}{s''}=\frac{2}{R} \qquad (3)$$

که محل تصویر بعد از دو بازتاب خواهد شد.

$$s'' = 2tR(t-R)/(R^2-6tR+4t^2)$$

این تصویر تنها درصورتی در سطح آینه دوم قرار می‌گیرد که s'' و t باهم مساوی باشند. اگر این شرط را بر s'' اعمال کنیم، فاصلهٔ دو آینه جواب‌های معادله درجه دو زیر هستند:

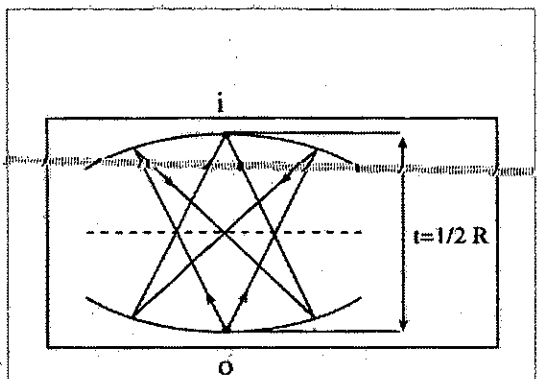
$$4t^2-8Rt+3R^2=0 \qquad (4)$$

که عبارت‌اند از: $t=0/5R$ و $t=1/5R$.

اولین جواب را معمولاً باهوش‌ترین شاگردان پیش‌بینی می‌کردند. اما، دومین جواب باعث تعجب آنها می‌شد و برخی تصور می‌کردند که معنی فیزیکی ندارد. با اندازه‌گیری خمیدگی آینه‌ها (در ناحیه رأس) به‌کمک یک گوی‌سنج و مقایسه فاصله با R/۲، صحت جواب اول تأیید شد. سپس، فاصله دو آینه را به‌تدریج افزایش دادیم. آزمایش جواب دوم (R 1/5) را نیز تأیید کرد (شکل ۲ـ الف و ۲ـ ب).

با این حال، به‌طور تجربی مشخص شد بیش از دو جوابی که نظریه پیش‌بینی می‌کند، وجود دارد. دانش‌آموزان به‌تجربه دریافتند که لازم نیست تعداد بازتاب‌ها برای تولید

شکل ۲ـ الف



شکل ۲ ـ ب

تصویر نهایی دوتا باشد. بلکه می‌تواند هر عدد زوجی مانند ۲ ، ۴ یا ۶ باشد. آنها به تجربه دریافتند که بازتاب‌های از مرتبه‌های بالاتر عامل تولید تصاویر اضافی هستند. برای اثبات این نکته، با به‌کاربردن معادله (۱) برای سومین و چهارمین بازتاب، و با این شرط که $s''' = t$ ، به شرطی برای فاصله آینه‌ها به صورت معادلهٔ درجه چهارم زیر می‌رسیم:

$$16t^4 - 64t^3R + 84t^2R^2 - 40tR^3 + 5R^4 = 0 \quad (5)$$

در اینجا استفاده از روش‌های عدد ضروری است، و موقعیت خوبی است که آنها را به‌کار بریم. برای این کار می‌توان یک ماشین‌حساب یا رایانهٔ شخصی را به‌کار برد. این معادله چهارجواب دیگر از: 0/19 R ، 0/691 R ، 1/309 R و 1/809 R دارد. بدیهی است در بازتاب‌های بعدی به معادلاتی از مراتب بالاتر برمی‌خوریم که حل آنها به کمک رایانه امکان‌پذیر است. با توجه به تقارن سیستم، پس از آنکه نیمی از بازتاب‌ها انجام شود، باریکه‌های نور تولیدشده به سمت مرکز تقارن سیستم موازی یا همگرا خواهند شد. درنتیجه اگر چهار بازتاب را در نظر بگیریم، تصویر بعد از دو بازتاب باید $\frac{1}{2}t$ یا بینهایت باشد. درنتیجه، یک شرط برای موقعیت تصویر نهایی (بعد از چهار بازتاب) که به شکل معادله درجه چهار بود با دو شرط که به وضعیت بعد از دو بازتاب یعنی دو معادله درجه دو بستگی دارد جایگزین می‌شود. این دو شرط را می‌توان مستقیماً از معادله (۳) و قرار دادن $s'' = \frac{1}{2}t$ یا ∞ به دست آورد که به شکل زیر درخواهد آمد:

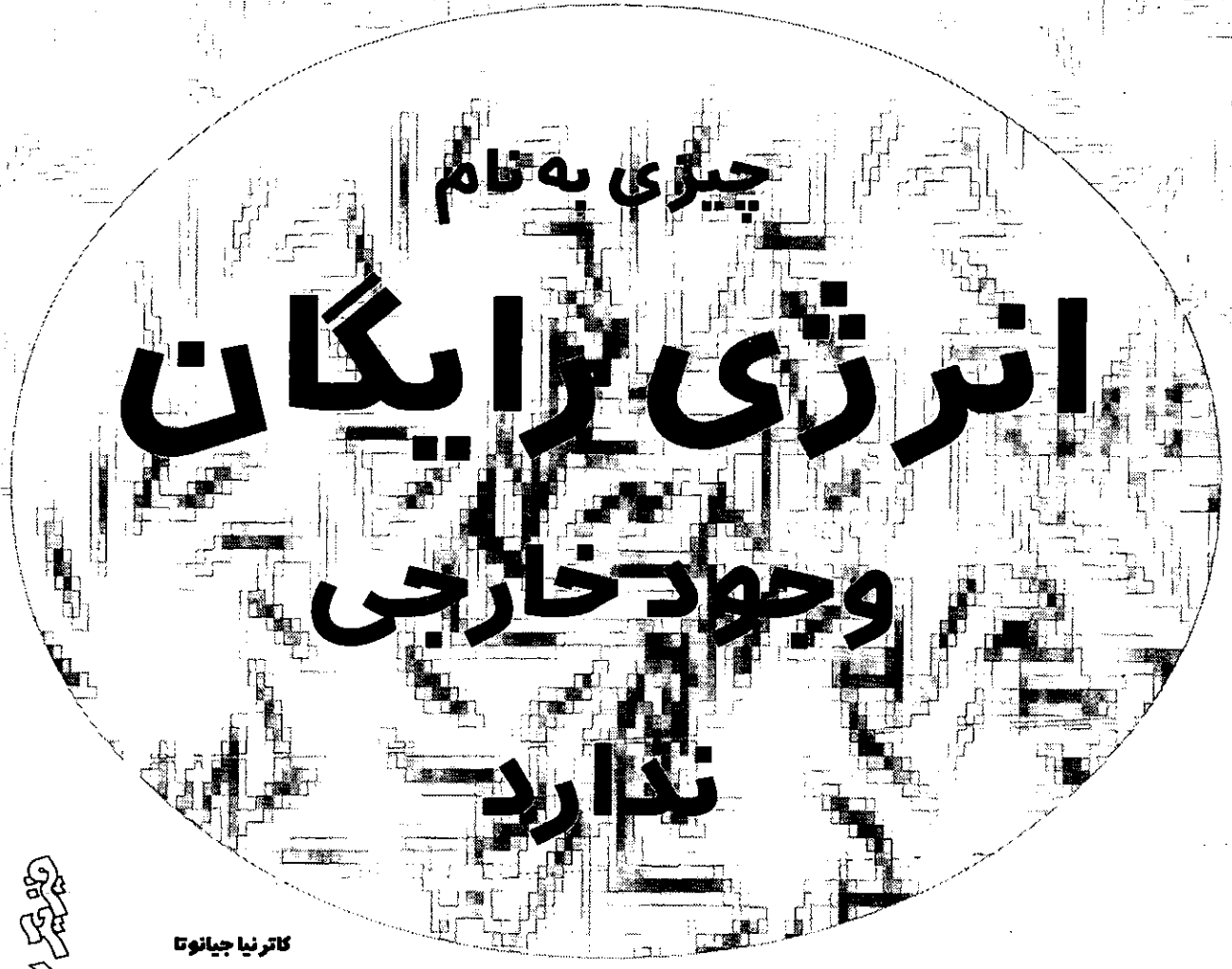
$$4t^2 - 6tR + R^2 = 0 \quad \text{و}$$
$$4t^2 - 10tR + 5R^2 = 0 \quad (6)$$

این معادله‌ها را می‌توان به روش جبری حل کرد و چهار جواب به دست آورد: $(3+\sqrt{5})R$ ، $(3-\sqrt{5})R$ ، $(3+\sqrt{5})R$ و $(5-\sqrt{5})R$ یا جواب‌هایی که از روشهای عددی به دست می‌آید با نتایج تجربی (اگر چه همه آنها قابل مشاهده نیستند)، کاملاً سازگارند. مبحث تقارن درجه معادله‌هایی را که تمام تصاویر بازتاب‌های پی‌درپی را توصیف می‌کنند را به نصف کاهش می‌دهد. با وجود این، فقط معادله‌های تا درجه شش را به سادگی می‌توان حل کرد. دانش‌آموزان ما نتایج را برای شش و هشت بازتاب به دست آوردند. به تحلیل سیستم در مراتب بالاتر، ممکن اپتیک فعالیت کاملاً پژوهشی است. به‌جای مرتبه‌های بالاتر دانش‌آموزان تشویق شدند که بازتابنده‌های کروی و سهموی و کاربرد آنها در سراب اپتیکی را بررسی کنند.

ما متوجه شدیم، اپتیک هندسی که اغلب آن را یک موضوع کم‌جاذبه در نظر می‌گیرند، با سرمایه‌گذاری‌های بسیار اندک می‌تواند کاملاً هیجان‌انگیز شود.

مرجع:
The Physics Teacher Nov: 90 PP 534- 536

آندره سیرادزان



چیزی به نام انرژی رایگان وجود خارجی ندارد

کاترنیا جیانوتا
مترجم: مرسده ماکویی

اولین کسی که ماشینی واقعی با «حرکت دائم»[1] یا «انرژی آزاد»[2]، اختراع کند، یک شبه میلیاردر می‌شود. یک اشکال کوچک: ساخت این ماشین تمام قوانین فیزیک را نقض می‌کند.

با وجود اینکه «آرت گریملی»[3] بیش از آنچه که باید، از مشتریانش ناسزا می‌شنود، اما نگاهی صبورانه و تقریباً خوش‌بینانه به زندگی دارد. او مجبور است چون «آرت گریملی» آمریکایی متصدی ثبت اختراعات جدید است. او درباره مخترعان بیچاره‌ای که امید واهی اَبَر پولدار شدن را در سر می‌پرورانند و به او مراجعه می‌کنند چنین می‌گوید: «آنها آدمهای جالبی هستند. در حقیقت بعضی از آنها خیلی جالب و همچنین خیلی خُل و چل هستند. خیلی ساده بگویم آنها قوانین فیزیک را نمی‌دانند.»

«جورج هملین»[4]، همکار انگلیسی او بیشتر توضیح می‌دهد: «مشکل ما این است که نمی‌توانیم حق ثبت اختراع به وسیله‌ای بدهیم که برخلاف قوانین طبیعی پذیرفته شده ترمودینامیک است.» ثبت اختراع ماشینی با حرکت دائم یا انرژی رایگان، اندکی مشکل‌آفرین به نظر می‌رسد.

بیان «حرکت دائم» خیلی ساده پوزخند یک دانشمند متوسط را برمی‌انگیزد. و چه کسی می‌تواند او را سرزنش کند؟ ماشین‌هایی با حرکت دائم به ازای هیچ کار می‌کنند، یعنی رایگان انرژی پس می‌دهند، و قوانین فیزیک خیلی ساده، چنین اجازه‌ای را نخواهد داد. این نظریه چندان نامفهوم نیست. قانونی از فیزیک است که همگی آن‌را می‌دانیم. بنابراین قانون که اولین قانون ترمودینامیک است انرژی نمی‌تواند به وجود بیاید یا از بین برود. اینشتین در معادله مشهور خود $E = mc^2$، که نشان می‌دهد ماده و انرژی با بدست آوردن یا از دست دادن مضربی از سرعت نور قابل تبدیل به یکدیگر هستند، آن را اصلاح و جاودانه کرد.

این حقیقت که اینشتین ثابت کرد که نمی‌توان ماشینی با حرکت دائم ساخت، انسان را حتی امروزه از تلاش برای ساخت آن باز نمی‌دارد. علت آن چیست؟ خُب، اگر اسمتان را در بالای پروانه ثبت اختراع بگذارید، چنان پولدار خواهید شد که می‌توانید «بیل گیتس»[5] را به عنوان

پیشخدمت استخدام کنید.

طراحی ماشین‌هایی با حرکت دائم به قرن سیزدهم باز می‌گردد. حتی لئوناردو داوینچی، ۳۰۰ سال قبل از اینکه واژه‌ای به نام انرژی در سال ۱۸۰۱ ابداع شود، اقدام به چنین کاری کرد. امروزه، افراد یاغی باید با چند قانون ثابت ترمودینامیک دست و پنجه نرم کنند (بله، بیش از یک قانون) این مسئله و تشکیلات علمی که فکر می‌کند حرکت دائم چیزی جز چرت و پرت نیست.

حرکت دائم، امروزه معمولاً انرژی رایگان نامیده می‌شود، توصیفی اندکی مبهم، که به نظر می‌رسد شامل فرم‌های دیگر انرژی مانند انرژی خورشیدی، بادی و امواج نیز می‌شود ـ تمام آنها در محدودهٔ قانون پایستگی انرژی کار می‌کنند. این بازی کردن با واژه‌ها چیزی بیشتر از پرده‌ای دودی نیست که منتقدان حرکت دائم را به اشتباه به این فکر بیندازد که این مسئله بیشتر از آنکه آنها تصور می‌کنند علمی است. ولی این موضوع کسی را که به خوبی از ترمودینامیک آگاه است، گمراه نمی‌کند.

شگفت‌انگیز نیست که ببینیم که بیشتر اطلاعات درباره انرژی رایگان در شبکه اینترنت یافت می‌شود. بالاخره، هر اقلیتی که چندی از تأسیس آن گذشته می‌تواند در شبکه سایتی درست کند و درباره مطالبی که فکرشان را مشغول کرده است، به چرت و پرت گفتن بپردازد. لازم نیست کسی مانند «ریچارد فاینمن»[۶] باشید تا متوجه شوید هزاران صفحهٔ شبکه درباره سیستم‌های انرژی رایگان و وسایلی با «مزیت مکانیکی بزرگ‌تر از واحد»[۷] (منظور سیستم‌هایی است که ادعا می‌شوند بازدهی بیشتر از صد در صد دارند یعنی انرژی خلق می‌کنند)، چیزی بیش از سرپوش برای ماشین‌هایی با حرکت دائم نیستند. اگر بر مبنای میزان اطلاعات در شبکه قضاوت کنیم، طرفداران انرژی رایگان، گروهی کوچک، بیش از اندازه پرحرف، و شاید اندکی دیوانه، یعنی افراد عجیب و غریب دوست‌داشتنی هستند. ولی این حرف نباید باعث شود که فکر کنید همهٔ آنها افرادی بی‌آزار هستند.

می‌توان اصحاب انرژی رایگان را (که بیشتر آنها مرد هستند) به دو گروه تقسیم کرد. حقه‌بازها و شبه دانشمندان، سال‌هاست که سرمایه‌گذاران ساده‌لوح قربانی نقشه‌های شیادانه انرژی رایگان می‌شوند. مخترعین وسوسه‌انگیز همه را با این قول که سرمایه‌گذاری روی این طرح، سودآوری سرسام‌آوری را به دنبال خواهد داشت، فریفته‌اند، طرحی که ممکن است برای «جو پابلیک»[۸] قانع‌کننده باشد ولی جوابگوی بازرسی‌های علمی نیست.

قرصهای کوچک سبز

ضمن اینکه، شبه ـ دانشمند انرژی رایگان روی هم رفته افراد بهتری هستند، بیشتر آنها بسیار پرشور و شوق‌اند ولی *مهندسانی خود آموخته* هستند، و به همین دلیل هم هست که می‌توان آنها را فقط واقعاً در گروه شبه ـ دانشمندان جای داد.

ماشین‌هایی با حرکت دائم در شکل و اندازه‌های زیادی یافت می‌شوند ـ موتورهایی که روی شیر آب کار گذاشته می‌شوند، چرخ لنگرهای غول‌آسا که تا ابد می‌چرخند، اسباب جادویی ساخته شده از مغناطیس و سیم، حتی قرص‌های کوچک سبزی که آب را به گاز تبدیل می‌کند. یکی از جالب‌ترین وسیله‌های در دست اقدام که با انرژی رایگان کار می‌کند موتور/ژنراتور «نیومن»[۹] است که از تعدادی آهنربا و یک سیم مارپیچ بسیار بلند تشکیل شده است که خیلی شبیه یک موتور معمولی است، ولی مخترع آمریکایی آن «جوزف نیومن»[۱۰] مدعی است که پیش نمونه‌هایی با کارآیی ۱۱۰۰ درصد ساخته است. ولی قوانین می‌گویند که هیچ ماشینی نمی‌تواند کارآیی بیش از ۱۰۰ درصد داشته باشد.

در واقع، مسائلی مانند اتلاف گرما به سبب اصطکاک یا خنک شدن، کارآیی صددرصد را هم نا ممکن می‌سازد. در چرخه‌های انرژی آزاد، اگر سیستمی کارآیی بیش از صد در صد داشته باشد به وضوح به عنوان وسیله‌ای با مزیت مکانیکی بیش از واحد، ماهیت علم را زیر سؤال می‌برد.

اگرچه به نظر می‌آید ماشین نیومن یک وسیله با مزیت مکانیکی بیش از واحد باشد، اما مخترع آن چنین تصور نمی‌کند. جوزف نیومن شخصیتی گریزپاست، با وجود این ما با منشی او از طریق پست الکترونیکی مکاتبه کردیم. «ایوان سرل»[۱۱] که ادعا کرد نیومن هرگز فناوری انرژی رایگان خود را وسیله‌ای با مزیت مکانیکی بیش از واحد نخوانده است.

سرل که معتقد است دستگاه نیومن کاملاً با قانون پایستگی انرژی سازگاری دارد می‌گوید: «از این نام‌ها (یعنی انرژی رایگان و مزیت مکانیکی بیش از واحد) را از نظر معنایی مبهم

و از نظر علمی نادرست می‌داند.» به نظر او انرژی حاصل از سیستم نیومن کاملاً با پایستگی انرژی سازگار است. به نظر نیومن دستگاه او وسیله‌ای است که خروجی انرژی خارجی آن از ورودی انرژی خارجی بیشتر است.

ولی آیا مثل این نیست که بگوییم ماشین، انرژی خود را تأمین می‌کند؟

ظاهراً، نه. «فناوری او قوانین طبیعت را نقض نمی‌کند بلکه آنها را به قلمروهای تازه‌ای گسترش می‌دهد، درست مثل اینشتین که با نظریه‌های گرانشی نیوتون چنین کرد.» خب، پس اشکالی به وجود نمی‌آید.

نیومن برای اثبات این نظریهٔ الکترومغناطیسی مخصوص به خودش را دارد که می‌گوید تمام مواد موجود در عالم از ذراتی کوچکتر از ذرات ریز اتمی، به نام «مسرجی ژیروسکوپی»[۱۱] ساخته شده‌اند. این قسمت نظریه کمی پیچیده به نظر می‌رسد، ولی در اصل به نظر می‌آید نیومن گمان می‌کند که قوانین الکترومغناطیسی یک سرهم‌بندی کامل است و ذره اکتشافی او شگفتی قرن است. ظاهراً این نظریه جواب تولید این همه انرژی به وسیله ماشین اوست.

اگر منصفانه قضاوت کنیم، این نظریه شبیه توضیحی کاملاً منطقی و غیرریاضی به نظر می‌رسد. یک ذره جدید دیگر. چرا که نه؟ فیزیکدانان کوانتومی همواره وجود چنین ذراتی را پیش‌بینی می‌کنند. گرچه بهتر است دلیل بیشتری داشته باشیم.

خب، سرل می‌گوید: «بیش از ۳۰ متخصص، فیزیکدان، مهندس هسته‌ای، مهندس الکترونیک/تکنسین، ماشین انرژی نیومن را آزمایش کرده‌اند و همگی شهادت داده‌اند که ماشین او همان‌طور است که ادعا می‌شود.»

ولی «اریک کریگ»[۱۳] یک مهندس مشاور مستقل و بدبین به انرژی رایگان که سایت اینترنت خود را وقف رد ادعای نیومن کرده است می‌گوید: «نسخهٔ من از آزمون اداره ملی استانداردها می‌گوید که در یک آزمون ماشین نیومن فقط یک سوم تا دو سوم انرژی ورودی را برگردانده است.»

پس چرا کریگ فکر می‌کند که ماشین نیومن نمی‌تواند واقعی باشد؟

او می‌گوید: «شما نمی‌توانید با آهنربا کار را پیش ببرید. تمام واکنش‌های فیزیکی فقط می‌توانند یک فرم از انرژی را به فرم دیگر تبدیل کنند، نه اینکه انرژی تولید کنند.» او همچنان می‌افزاید که ماشین نیومن حتی به خوبی یک موتور معمولی هم کار نمی‌کند چون سیم‌های رسانای بلند آن انرژی را جذب می‌کنند.

کشته شده به وسیله اوپک

«نرم بیس»[۱۴] که تکنسین مهندسی است نیز طرفدار نیومن نیست. او مدعی است که رئیس خود را به ساخت یکی از موتورهای نیومن متقاعد کرده است، موتوری که دو روز قبل از اینکه مورد آزمون قرار گیرد، ناپدید شد. در ضمن، نیومن به خاطر اینکه تقاضای ثبت اختراعش از طرف مقامات مسئول آمریکایی رد شده است، آنها را مورد تعقیب قانونی قرار داده است. بررسی‌های ما نشان می‌دهد که چنین تقاضایی از طرف مقامات مسئول اروپایی نیز رد شده است، هرچند سرل چنین موضوعی را انکار می‌کند.

«کریگ» می‌گوید که او به کرات داوطلب آزمودن موتور نیومن شده است، ولی موفق به این کار نشده است. در حقیقت کریگ به جامعه انرژی رایگان گفته است که او روی هر موتوری که آنها بخواهند به خرج خودش آزمون‌های فنی را انجام می‌دهد. ولی هنوز به این تقاضای او هیچ توجهی نشده است.

مخترعان ماشین‌هایی با حرکت دائم نسبت به آزمودن وسیله‌هایشان به وسیله متخصصان مؤسسات آزمایش بسیار بی‌میل‌اند، حتی وقتی که انگیزهٔ مبالغ هنگفتی برای وسیلهٔ انرژی رایگان که مدعی ساخت آن هستند وجود دارد. سوءظن حکمفرماست، با این ادعا که دولت و کارخانه‌های صنایع افرادی را که وجودشان به ضرر آنهاست، سرکوب می‌کنند. وقتی کلاهبردار با کیف‌های پر از پول ناپدید می‌شود، سرمایه‌گذاران فریب خورده ترجیح می‌دهند فریاد آدم‌ربایی یا قتل را بکشند، تا اینکه با حقیقت روبه‌رو شوند. «روری جانسون»[۱۵] آمریکایی مدعی اختراع یک لیزر همجوشی سرد بود که با موتوری مغناطیسی فعال می‌شد و می‌توانست با دو پوند ایزوتوپ هیدروژن، یعنی دوتریم، کامیونی را برای ۱۰۰/۰۰۰ مایل راه ببرد. او چند قرارداد امضا کرد، آزمایشگاه‌های خود را جمع کرد، به کالیفرنیا رفت و جان سپرد. طرفدارانش هنوز اعتقاد دارند او را اوپک ساکت کرد.

یک هدف نفرت مدعیان انرژی رایگان، اداره ثبت اختراعات آمریکاست. مخترعان انرژی رایگان می‌گویند

این اداره بیش از ۳۰۰۰ تقاضا نامه را به طور سری بایگانی کرده است. کمی شرارت بار به نظر می رسد ولی همان طور که آرت گریملی، یکی از کارمندان این اداره می گوید: «هر تقاضانامه بایگانی شده تا زمانی که حق ثبت بگیرد، یعنی زمانی که منتشر شود، سری می ماند. ولی تقاضاهای رد شده تا ابد سری می مانند.» به هر حال این موضوع متقاضی رد شده را از انتشار اختراعش باز نمی دارد.

در اروپا، تمام تقاضانامه های حق ثبت حتی آنها که رد شده اند، منتشر می شوند، این موضوع حداقل هرگونه سوءظن را به پایمال کردن اطلاعات برطرف می کند. تمام این تقاضا نامه ها در آمریکا و انگلستان کنترل امنیتی می شوند، یعنی برای بعضی کلمات کلیدی خاص که مرتبهٔ سری بودن را نشان می دهد مورد بررسی قرار می گیرند، کلماتی که اغلب موقتی هستند، و به این صورت این تقاضا نامه ها یک ترتیب نظامی سری پیدا می کنند. این کلمات کلیدی تقریباً بدیهی اند مانند «لوشک»، بنابراین متقاضیان انرژی رایگان حق دارند برای فرار از این ترتیب سری از چنین کلمات نظامی استفاده نکنند.

جرج همیلن از اداره ثبت اختراعات بریتانیا در حالی که می خندد می گوید: «خیلی متعجب می شدم اگر وزارت دفاع یکی از وسایل حرکت دائم را قبول می کرد.» یکی از مسئولان سابق اعطای حق ثبت به موتورهای دوّار نظریه های توطئه را رد می کند. «این دسیسه نیست ـ موضوع فقط این است که جامعه علمی به چنین چیزی اعتقاد ندارد و ما خط مشی خود را از آنها می گیریم.» به عبارت دیگر هر تقاضا نامه ای که سخنی از حرکت دائم، انرژی رایگان یا مزیت مکانیکی بیش از واحد، به میان آورد محکوم به طرد است.

پس آیا مخترعان انرژی ـ رایگان حرفی برای گفتن دارند؟ باید به این نکته توجه کرد که همه قوانین اداره ثبت اختراعات علیه آنهاست. اما شاید اندکی سیاست در جمله بندی تقاضانامه انرژی رایگان ضروری باشد؟ در حقیقت هملین نسبت به گونه دیگر مخترعان احساسات مساعد دارد و خوشحال است که آنها را جمله بندی راهنمایی کند: «ماشینی که به عنوان وسیله ای با مصرف انرژی اندک است توصیف شود ممکن است حق ثبت بگیرد مشروط بر اینکه آزمون ها، نوظهوری، مفید بودن و بدیهی نبودن آن را ثابت کنند.»

تنها افرادی مانند نیومن نیستند که با اداره ثبت اختراعات آمریکا میانهٔ خوبی ندارند. بعضی دانشمندان خیلی بزرگ هم به همین ترتیب طرد شده اند. «مسخره است»، مارتین فلشمن[16]، عضو جامعه سلطنتی و پدر همجوشی سرد، از با عصبانیت گفت به نظر او بیش از یک سوم ایرادهای اداره ثبت اختراعات با همجوشی سرد کاه الایر میناهای گزارش های رسانه ای است.

آزمایش همجوشی سرد در سال ۱۹۸۹ با موجی از تبلیغات زمانی مطرح شد که فلشمن و همکارش استانلی پانز[17] به دنیا اعلام کردند توانسته اند هسته های دوتریم را در یک لوله آزمایش به هم جوش دهند و این انرژیی صد برابر انرژی مصرف شده به دست بیاورند. فلشمن و پانز اخبار صفحه اول مطبوعات را به خود اختصاص دادند. همجوشی سرد به عنوان چشمهٔ پاکیزه ای انرژی برای آینده مورد تمجید قرار گرفت و تمام آزمایشگاه های دنیا را به خود مشغول کرد تا زمانی که همه چیز به طور وحشتناکی غلط از آب در آمد. هیچ کس نتوانست آزمایش را با همان نتایج تکرار کند و در علم نتایجی مفید هستند که قابل تکرار باشند. پانز و فلشمن مایه ننگ جامعه علمی شدند.

مبالغان انرژی ـ آزاد با پذیرش فلشمن به عنوان یکی از اعضای خود کار را برای آنها خراب تر کردند. فلشمن ۷۱ ساله اهل چک که هم اکنون استاد بازنشسته الکترو شیمی دانشگاه ساوتهمپتون[18] است، کلمات خود را نمی جود: «مرا در گروه انرژی رایگان قرار ندهید، من دانشمندی خیلی خیلی معمولی هستم و به وسایل انرژی رایگان اعتقاد ندارم.»

هر چند که او خیلی نظریه پردازانه توطئه گری را جدی نمی گیرد، ولی متقاعد شده است که باید کلکی در کار باشد. او حتی وقتی که اعتراف می کند تلفنش را تحت کنترل است می گوید: «من همیشه نسبت به نظریه های توطئه بدگمان بوده ام.» و اما اگر او می دانست چه کسی این بلا را به سرش آورده است هرگز چنین اجازه ای را نمی داد. فلشمن اهمیتی نمی دهد. زیرا چیزی برای پنهان کردن ندارد. فقط زمانی عصبانی می شود که کنترل تلفن، فاکسهای او را از بین می برد. او برای اعتراض به یکی از نمایندگان مجلس نامه ای نوشته است: «ولی هرگز پاسخی دریافت نکردم.»

خسته از فیزیک

فلشمن طوری از همجوشی سرد صحبت می‌کند که عملی به نظر می‌رسد، اگرچه چنین حسی احتمالاً ریشه در چرندیات کوانتومی دارد، که چنان به راحتی بر زبانش جاری می‌شود که گویی یک نوشیدنی سفارش می‌دهد. هرچند افراد معمولی کوچکترین شانسی برای درک نظریات فلشمن ندارند، با این حال مجذوب آنها می‌شوند.

او می‌گوید خیلی دوست داشت درباره همجوشی گرم ـ تحقیق رایج در میان دانشمندان برای بازآفرینی واکنش‌های خورشید که باعث درخشندگی آن می‌شوند ـ کار کرده بود. و اضافه می‌کند اینکه اینهمه تلاش برای تکرار آزمایش اصلی او و پانز به شکست منتهی شده است، چیز عجیبی نیست.

او می‌گوید: «این سیستمی است که در ظاهر ساده به‌نظر می‌آید، ولی در حقیقت بسیار پیچیده است.»

البته او هنوز روی آزمایش کار می‌کند و معتقد است که همجوشی سرد یک چشمهٔ انرژی ممکنی برای آینده است، «اگر بتوان آن را تکرارپذیر و قابل اطمینان کرد.»

دانشمندان همجوشی سرد هرگز ادعا نکرده‌اند که نتیجه آزمایش‌های آنها انرژی رایگان یا مزیت مکانیکی بیش از واحد بوده است، یا اینکه قانونی از فیزیک را زیر پا گذاشته است. ولی با وجود این به نظر می‌رسد فلشمن که یک شیمیدان است در کل از فیزیکدانان کاملاً خسته شده است.

به نظر او «همجوشی سرد مخالف برداشت ما از مکانیک کوانتومی است، زیرا فقط با نظریه میدان کوانتومی می‌توان آن را توجیه کرد، و بیشتر فیزیکدانان این نظریه را درک نمی‌کنند.»

شاید منصفانه نباشد که همجوشی سرد را در گروه آزمایش‌های حرکت دائم قرار دهیم. فلشمن یک شبه ـ دانشمند نیست و به نظر نمی‌آید بخواهد کسی را فریب دهد، اگر چه کسانی هستند که او را به دستکاری در نتایج آزمایش اصلی، متهم کرده‌اند. ولی بیشتر همکاران فلشمن همجوشی سرد را به حد یک آزمایش عجیب و غریب تنزل داده‌اند.

در حقیقت، همجوشی سرد از اختراعات حرکت آزاد که در گوشه و کنار شبکه اینترنت به چشم می‌خورند، واقعی‌تر است. دولت آمریکا از سال ۱۹۴۵ تاکنون دست کم ۱۴/۷ میلیارد دلار خرج تحقیقات همجوشی کرده است، و یکی از شرکت‌های کوچک‌تر تازه تأسیس همجوشی سرد به تازگی مبلغ ۱۵ میلیون دلار کمک نقدی را از موتورولا[19] برای انجام تحقیقاتش رد کرده است، چون اعتقاد دارد بهتر است در درازمدت مستقل کار کرد. وزارت انرژی آمریکا در این مورد می‌گوید، برنامه بلند مدت ۵۰ سال خواهد بود: که در طی آن امیدوارند همجوشی از نظر تجاری به صورت یک چشمهٔ انرژی در آید. ولی برای حامیان حرکت دائم برنامه طولانی به نظر می‌رسد بینهایت سال باشد.

مخترعان انرژی آزاد را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: کلاهبرداران و شبه ـ دانشمندان ماشین‌های حرکت دائم مانند پیکری از گری شیارهای فولادی (چپ) ساخت ریدار فینسراد[20] نروژی می‌توانست بحران انرژی دنیا را در یک حرکت خاتمه بخشد، البته اگر مقامات اعطای حق ثبت اختراع آنها را مضحک نمی‌دیدند.

جنون سوءظن با این ادعا که دولت و کارخانه‌های صنایع همگانی افرادی را که وجودشان به ضرر آنهاست، ساکت می‌کنند، حکمفرماست.

یک آشفته بازار: این وسیله حرکت دائم که در سال ۱۸۳۴ طراحی شده است قانون پایستگی انرژی را نقض می‌کند.

دل خوش کُنک: بعد از جنگ و جدال بر سر اکتشاف مشترک همجوشی سرد، استادان فلشمن (چپ) و پانز در جنوب فرانسه مشغول به کار شدند.

انرژی رایگان در آمریکا

حرکت دائم ممکن است کاملاً غیرممکن باشد ولی بعضی از آمریکایی‌ها می‌گویند که به یاری خداوند آن را به دست آورده‌اند.

● در دهه ۱۸۹۰ جان وارل کیلی[21] ادعا کرد مولدی اختراع کرده است که آب شیر را به کمک انرژی ارتعاشی به «بخار اتر» با فشار زیاد تبدیل می‌کند. او دانشمندان را فریب داد و ۵ میلیون دلار، که در آن زمان رقم سرسام‌آوری بود، به جیب زد. محققان بعد از مرگش به وجود شبکه‌ای از لوله در منزلش در فیلادلفیا پی بردند که با فشار هوا نیروی سیستم «حرکت دائم» او را تأمین می‌کردند.

● در سال ۱۹۶۶ یکی از موتورهای ماشین «متناوب» پاف[22] در حین نمایش، شخصی را کشت. پاف یکی از بازرسان شکاک را مقصر خواند و به سرعت ناپدید شد.

● در سال ۱۹۷۷ کشاورزان مذهبی ۸۰۰/۰۰۰ دلار به آرنولد برک[23] برای پمپ خودکارش پرداختند. برک زیر نقاب مذهب، وسیله‌اش را جرمیا ۳ : ۳۳[24] نامید. دو سال بعد آزمایش وجود یک منبع مخفی از الکتریسیته را در این وسیله نشان داد. با وجود این، طرفداران او مبلغ ۲۵۰/۰۰۰ دلار هزینه کردند تا او را از اتهام کلاهبرداری تبرئه کنند.

● حتی در دهه گذشته دنیس لی[25] سری کاملی از وسایل انرژی رایگان را در استادیومهایی پر از جمعیت به نمایش درآورد. او بابت هر بار رقم ۱۰/۰۰۰ دلار به عنوان حق دلالی مطالبه می‌کند. لی که متهم به چندین کلاهبرداری است ادعا می‌کند یک خط مستقیم ارتباطی با خدا دارد و می‌گوید قربانی یک توطئه عظیم و پنهانی شده است.

پاداشی ناچیز برای پرشی عظیم

ارائه یک ماشین انرژی رایگان که ادعاهایش را ثابت کند، پاداش‌هائی را دارد، اگرچه این پاداش‌ها در مقابل میلیاردها میلیارد رقمی که مخترعان برای خلق انرژی از باد و هوا به جیب می‌زنند، قطره‌ای در مقابل دریا بیش نیست. البته چند قانون وجود دارد.

یکی از شرکت‌های تازه تأسیس و خوش خیال آمریکا به نام شرکت زی‌انرژی[26]، ۱۰۰/۰۰۰ دلار به شخص یا شرکتی که بتواند یکی از این ماشین‌های واقعی را ارائه کند جایزه می‌دهد. برای احراز شرایط شرکت، این وسیله باید دارای کارایی ۱۵۰ درصد و حداقل ۱۰۰ وات توان باشد که فقط برای روشن نگاه داشتن یک لامپ کافی است. فناوری‌های متداول مانند صفحه‌های انرژی خورشید و توربین‌های بادی، پذیرفته نمی‌شوند.

اریک کریگ، مهندس مشاور بدبین به انرژی رایگان رقم ۵۰۰۰ دلار (به اضافه هزینه سفر) را شخصاً به وسیله‌ای که از آزمایش دقیق او سرفراز بیرون بیاید می‌پردازد. برای اطلاع از شرایط کامل این برنامه می‌توانید به سایت اریک مراجعه کنید، ولی وزن ماشین باید کمتر از ۲۰۰۰ پوند باشد و مرکز ثقل آن باید دو فوت از هر طرف فاصله داشته باشد. چون چنگک جرثقیل او چیزی بزرگتر از این مشخصات را نمی‌تواند بلند کند.

زیرنویس:

1. Perpetual motion
2. Free energy
3. Art Crumley
4. George Hamlyn
5. Bill Gates
6. Richard Feynman
7. Over - unity devices
8. Joe Public
9. Newmen
10. Joseph Newman
11. Eran Searle
12. gyroscopic messergy
13. Erick Krieg
14. Norm Biss
15. Rory Johnson
16. Hartin Fleischmann
17. Stanley Pons
18. Southampton
19. Caterina Gianota
20. Reidar Finsrud
21. John Worrel Keely
22. Papf
23. Arnold Burke
24. Jeremiah 33:3
25. Dennis Lee
26. Zenergy Corportion

مرجع:

- Focus February 1999 P. 56-9

فعالیت های گروهی دانش آموزان

محمدعلی پزشپور

اغلب ما معلمین می‌دانیم و قبول داریم که فعالیت‌های گروهی در امر یادگیری بسیار مؤثر است و دانش‌آموزان با بحث‌های گروهی و مشارکت در انجام آزمایشها می‌توانند در تولید مفاهیم شرکت داشته باشند. به‌هنگام بحث گروهی و یا فعالیت‌های عملی معلم راهنمای گروه‌ها خواهد بود تا هر گروه به نتایج مطلوب دست یابد نکات مهمّی که معلمین را از تقسیم دانش‌آموزان به گروه‌ها و ایجاد گروه‌های بحث و کار بازمی‌دارد، عبارتند از:

۱ـ بی‌انضباطی و شلوغ بودن کلاس به هنگام بحث و یا انجام آزمایش.

۲ـ گاهی برخوردهای نامناسب بین دانش‌آموزان به‌هنگام بحث یا آزمایش درنتیجه ما معلمین تصور می‌کنیم که از قدرت ما کاسته شده است و کنترل کلاس از دست ما خارج شده است.

برای رفع این نگرانی و مشکل از دانش‌آموزان خواستم که به دو پرسش زیر پاسخ دهند (در ۴ کلاس اول که هر کلاس به ۶ گروه تقسیم شده بود)

۱ـ چه کنیم که کار گروهی نظم بهتری داشته باشد و آرامش بیشتری در کلاس درسی رعایت شود؟

۲ـ دانش‌آموز نمونه کیست؟

دانش‌آموزان را تشویق کردم که نظرات خود را در گروه خود مطرح نمایند و سپس هر گروه پس از مشاوره و بحث نتیجه را برای کلاس گزارش نماید این فعالیت در ۴ کلاس انجام گرفت و نتایج بحث گروه‌ها (۲۴ گروه) به وسیله نمایندگان کلاس‌ها بشرح زیر خلاصه گردید.

پرسش ۱ چه کنیم که گروه‌ها نظم بهتری داشته باشند و آرامش بیشتری در کلاس رعایت شود؟

پاسخ:

۱ـ آرام و سریع در کلاس حاضر شویم.

۲ـ وسایل لازم را با خود داشته باشیم و به هنگام ورود وسایل کار خود را روی میز قرار دهیم.

۳ـ آرام صحبت کنیم و بدون سر و صدا کار کنیم.

۴ـ با اجازه سرگروه صحبت کنیم و رعایت نوبت دیگران را بنمائیم.

۵ـ در گروه تقسیم کار شود و وظایفی که به عهده داریم به موقع و خوب انجام دهیم.

۶ـ نظر خود را بیان کنیم و به صحبت‌های افراد گروه خود با دقت گوش کنیم.

۷ـ به نظرات دیگران احترام بگذاریم.

۸ـ اعضاء گروه خود را به مشارکت در کار گروهی تشویق کنیم.

۹ـ به هنگام نیاز از افراد گروه خود کمک بخواهیم و پس از انجام کمک تشکر کنیم.

پرسش ۲ دانش‌آموز نمونه کیست؟

این پرسش دانش‌آموزان را تشویق می‌کند که بهتر و منظم‌تر کار کنند و نیز تأثیر بسیار خوبی در کار گروهی خواهد داشت.

پاسخ:

۱ـ با برنامه کار کند و وسایل فردی خود را برای هر درس به موقع همراه داشته باشد.

۲ـ مؤدب و منظم باشد و به دیگران احترام بگذارد.

۳ـ به معلمین و اولیاء دبیرستان احترام بگذارد.

۴ـ به قوانین کلاس و دبیرستان احترام بگذارد و به موقع در کلاس درس حضور یابد.

۵ـ به گفتار معلم و دانش‌آموزان دیگر با دقت گوش کند.

۶ـ مسئولیت‌پذیر باشد و وظایف خود را به موقع و خوب انجام دهد.

۷ـ دروس خود را یاد بگیرد و تکالیف خود را منظم و خوش خط بنویسد.

۸ـ در حفظ محیط زیست و نظافت و بهداشت کلاسی و دبیرستان کوشا باشد.

۹ـ مراقب سلامت تن و روان خود باشد.

۱۰ـ بر دانش و مهارت‌های خود بیافزاید.

۱۱ـ با یک زبان خارجی و کامپیوتر آشنایی کافی داشته باشد.

پس از تهیه نظرات ۴ کلاس مطالب فوق تکثیر و به تمام دانش‌آموزان کلاس اول داده شد که به نظر اولیاء خود برسانند و نیز یک نسخه از آن در تابلوی اعلانات کلاسی نصب گردید تا توجه دانش‌آموزان بیشتر جلب شود.

باید اذعان کنم که هنوز به نتیجه صددرصد مطلوب نرسیده‌ایم ولی فعالیت‌های گروهی به خوبی انجام می‌شود و نگرانی به چشم نمی‌خورد.

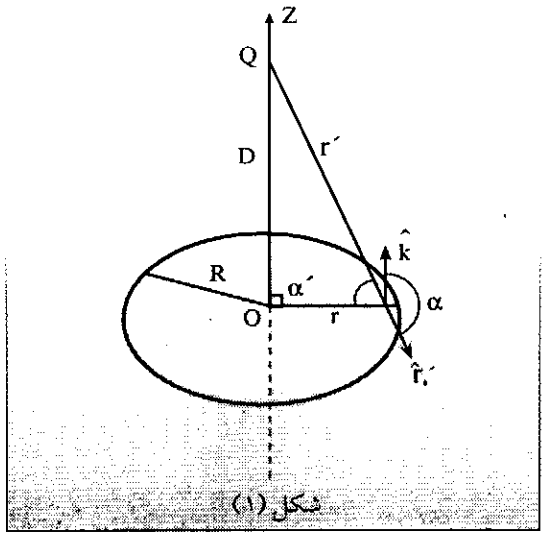
محاسبه مستقیم شار الکتریکی عبوری از سطوح هندسی مختلف ناشی از یک بار نقطه‌ای

...ا شکری

در این مقاله با استفاده از تعریف شار الکتریکی، مقدار شار عبوری از چند سطح متقارن را در شرایطی که بار الکتریکی در وضعیت هندسی متقارن نسبت به این سطوح قرار دارد، محاسبه می‌کنیم.

الف ـ شار عبوری از یک سطح دایروی:

برای محاسبهٔ شار عبوری از یک سطح دایروی به شکل ـ ۱ توجه کنید. در این شکل $\hat{r}'$ برداریکه هم جهت با بردار مکان $\hat{k}$ برداریکه محور Z است.



شکل (۱)

بعلاوه از روی شکل داریم:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{\pi}{2} + \alpha' \\ \hat{r}'.\hat{k} = (1)(1)Cos\alpha = -Sin\alpha' = -\frac{D}{\sqrt{D^2 + r^2}} \end{cases}$$

مطابق شکل ـ ۱ بار نقطه‌ای Q در خارج و به فاصله D از مرکز یک صفحه دایروی به شعاع R قرار دارد، طبق تعریف شار الکتریکی و با در نظر گرفتن تقارن‌های موجود داریم:

$$d\varphi = \vec{E}.\vec{dS} = \left(\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r'^2}\hat{r}'\right).(2\pi r dr\hat{K})$$

$$d\varphi = -\frac{QD}{2\varepsilon_0}\frac{rdr}{(r^2 + D^2)^{3/2}}$$

$$\varphi = \int d\varphi = \frac{-QD}{2\varepsilon_0}\int_0^R \frac{rdr}{(r^2 + D^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{-QD}{2\varepsilon_0}\int_0^R (r^2 + D^2)^{-3/2} rdr$$

$$\varphi = \frac{Q}{2\varepsilon_0}\left[\frac{D}{\sqrt{D^2+R^2}} - 1\right] < 0 \qquad (1)$$

بعنوان یک قاعده می‌توان نشان داد:

«برای تمام سطوحی که سطح مقطع‌های یک مخروط معین باشند شارهای عبوری یکسان است.» برای مثال در سطوح (دایروی) نمایش داده شده در شکل ـ ۲ (که عمود بر محور مخروط می‌باشند) داریم:

$$\begin{cases} \varphi_2 = \dfrac{Q}{2\varepsilon_0}\left[\dfrac{D_2}{\sqrt{D_2^2+R_2^2}} - 1\right] \\ \dfrac{D_2}{D_1} = \dfrac{R_2}{R_1} = C \end{cases}$$

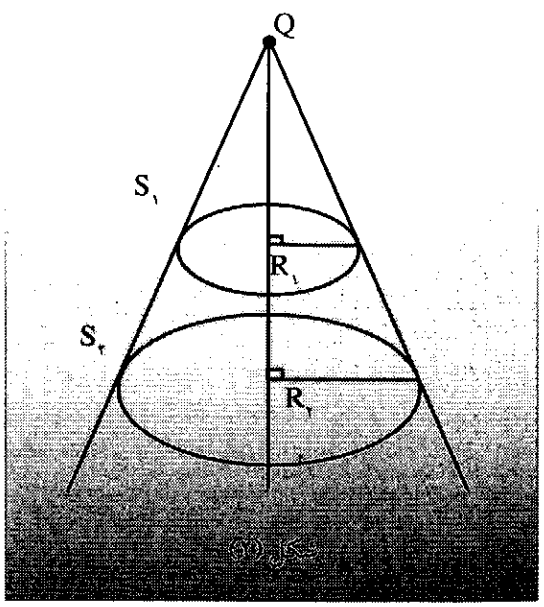
اما طبق قضیه تالس:

$$D_2 = CD_1 \quad , \quad R_2 = CR_1$$

که بعد از جایگذاری داریم:

$$\varphi_2 = \frac{Q}{2\varepsilon_0}\left[\frac{CR_1}{\sqrt{C^2(D_1^2+R_1^2)}} - 1\right]$$

$$= \frac{Q}{2\varepsilon_0}\left[\frac{R_1}{\sqrt{D_1^2+R_1^2}} - 1\right] = \varphi_1$$



شکل (۵)

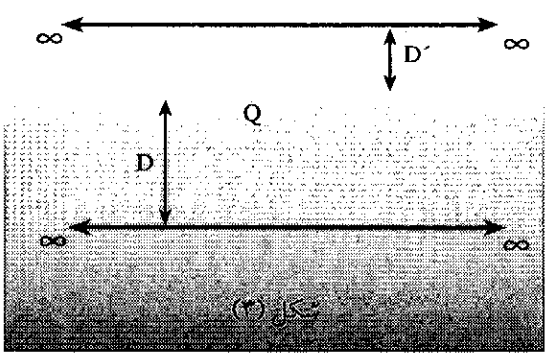
ب ـ شار الکتریکی عبوری از یک صفحه تخت بیکران:

محاسبات این حالت را با کمک نتایج قسمت قبل انجام می‌دهیم، به این ترتیب که برای صفحه بیکران شرط $R \to \infty$ را روی جواب حالت قبل اعمال می‌کنیم:

$$\varphi = \lim_{\text{صفحه بیکران}} \varphi = \lim_{\substack{\text{صفحه مدور} \\ R \to \infty}} \frac{Q}{2\varepsilon_0}\left[\frac{D}{\sqrt{D^2+R^2}} - 1\right] = -\frac{Q}{2\varepsilon_0} \qquad (2)$$

(توجه شود که شرط $D \to 0$ با شرط $R \to \infty$ هم‌ارز می‌باشد)

در هر صورت دیده می‌شود که برای یک سطح بی‌نهایت بزرگ شار عبوری دیگر به فاصله بار از سطح بستگی ندارد. در حقیقت قدر مطلق این شار برابر با نصف کُل شاری است که توسط بار نقطه‌ای ایجاد شده است. (نصف دیگر شار توسط صفحه مسطح بیکران دیگری که در آنسوی بار نقطه‌ای و به موازات صفحه اوّل قرار دارد دریافت می‌گردد:



شکل (۳)

اگر بار Q را روی سطح یک کره قرار دهیم شار ورودی به سطح کره در این حالت نیز $\frac{Q}{2\varepsilon_0}$ خواهد شد زیرا سطح کره از دید بار نقطه‌ای بی‌نهایت نزدیک به آن، صفحه‌ای مسطح به نظر خواهد رسید و تمام شار ایجاد شده توسط بار که در نیم حجم پایینی بار قرار دارد از سطح کره عبور خواهد کرد این مطلب را با محاسبه مستقیم نیز می‌توان تحقیق کرد.

منابع:

۱) فیزیک هالیدی ـ جلد سوم ـ نشر دانشگاهی ـ ۱۳۶۹

۲) فیزیک دانشگاهی ـ زیمانسکی ـ نشر علوم دانشگاهی ـ ۱۳۷۱

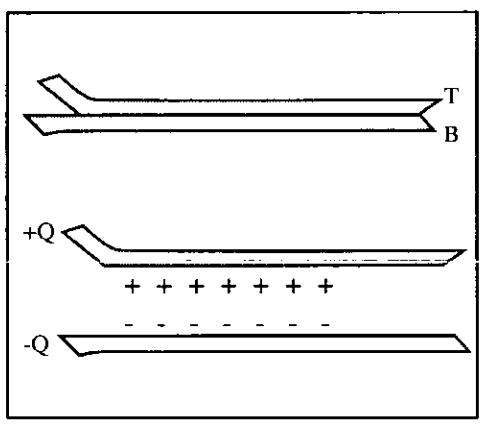
راندال هارینگتون
مترجم: منیژه رهبر

خارج کردن بار از نوار چسب

می‌دانیم که باردار کردن بر اثر مالش به اندازه‌ای غیرقابل پیش‌بینی است که آزمایشگران مختلف در نقاط مختلف جهان توافق در مورد حقایق تجربی را دشوار می‌یابند.

والاس راسل هارپر، ۱۹۶۷

اگر دو قطعه نوار چسب را روی هم قرار دهیم (قسمت چسب‌دار روی قسمت بدون چسب) و سپس آنها را از هم جدا کنیم، می‌بینیم که یکی قطعه دارای بار منفی و قطعهٔ دیگر دارای بار مثبت می‌شود (شکل ۱). علامت بار روی هر قطعه به نوع نوار چسب مورد استفاده بستگی دارد. این پدیده را معمولاً برای بررسی ویژگی‌های بار و اجسام باردار در کلاس‌های فیزیک مقدماتی به کار می‌برند.



شکل ۱ـ جدا شدن بار وقتی دو قطعه نوار چسب از هم جدا می‌شوند.

سابقهٔ نظریه

وقتی جدا شدن بار ناشی از دو سطح در تماس را در نظر می‌گیریم، مرور پژوهشی که در سال‌های اولیه تا میانه قرن بیستم انجام شده سازنده است. در این مرور مختصر بین الکتریسیته‌دار شدن اصطکاکی و الکتریسیته‌دار شدن تماسی تفاوت می‌گذاریم. (برای شرح بسیار عالی پژوهش اولیه به مرجع ۳ مراجعه کنید).

الکتریسیته‌دار شدن اصطکاکی. در این نوع الکتریسیته‌دار شدن، تصور می‌شود که گرم شدن موضعی ناشی از مالش دو سطح به واسطهٔ گرادیان گرمایی باعث مهاجرت بار شود. چند پژوهشگر در اوایل سال‌های ۱۹۰۰ کوشیدند یک «سری ساو الکتریکی» به‌وجود آورند که به کمک آن بتوان علامت انتقال بار در هنگام مالش آنها به هم را تعیین کرد. برخی بر این باور بودند که سری عایق‌ها را ثابت‌های دی‌الکتریک نسبی آنها مشخص می‌کند. اما، نتایج تجربی این نظریه را تأیید نکردند. در بسیاری موارد علامت بار منتقل شده، بر حسب شدت مالش دو سطح و نیز روش به کار رفته در این کار، تغییر می‌کرد. به عنوان مثال، مالش دو عایق همانند به هم می‌تواند باعث مهاجرت بار از یک عایق به عایق دیگر شود، اما علامت بار منتقل شده بستگی به این دارد که کدام عایق ثابت باشد و کدام جلو و عقب برود. این موضوع را به حساب آن گذاشتند که یکی از عایق‌ها برخلاف عایق دیگر که سطح تماس آن در یک مساحت بزرگ توزیع می‌شود، دارای یک «نقطهٔ داغ» محلی خواهد شد.

الکتریسیته‌دار شدن تماسی. الکتریسیته دار شدن تماسی پیچیده‌تر است. در برخی برهم‌کنش‌های فلز ـ فلز انتقال الکترون به علت اختلاف الکترونگاتیوی یا تونل‌زنی کوانتومی دخیل است. برای مورد دو مادهٔ عایق، نمی‌دانیم که آیا سازوکار باردار شدن اولیه انتقال الکترون است. برخی فیزیکدانان این فرض را مطرح کرده‌اند که سازوکار باردار شدن اولیه به واسطهٔ انتقال یون‌هاست، که قطعه‌هایی از زنجیرهٔ طویل مولکول‌های آلی هستند (از خود ماده یا آلودگی‌های سطحی) که ضمن مالش یا فرایند جدا کردن

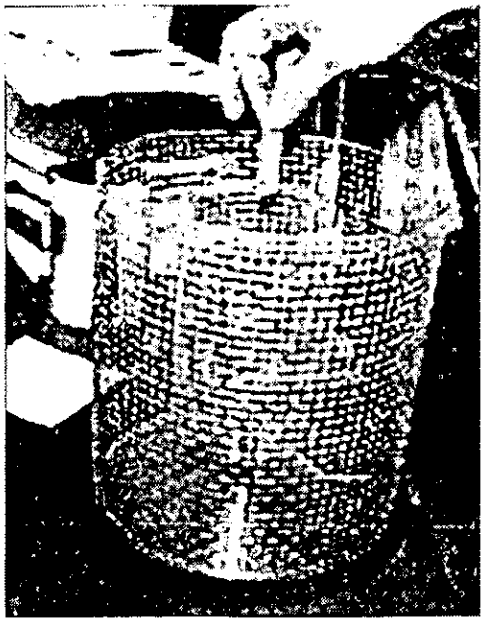
چسبندگی شکسته شده‌اند. این موضوع می‌تواند به ویژه در مورد آزمایش‌های با نوار چسب، که مادهٔ چسبنده دو سطح را به هم می‌پیوندد و سپس این سطوح از هم جدا می‌شوند، حقیقت داشته باشد. هر دو مورد، پدیدهٔ الکتریسیته‌دار کردن با مالش، یا از طریق جدا کردن چسبندگی، آزمایشی ساده و ارزان برای دانش‌آموزان در بررسی بار الکتریکی فراهم می‌سازد.

آزمایش‌های نوار باردار

اخیراً، در هنگام جستجوی یک مسئله تجربی آزمایشگاهی، از خود سؤال کردیم که اگر سه قطعه نوار چسب یا بیشتر را روی هم بگذاریم و سپس تک‌تک آنها را از هم جدا کنیم چه اتفاقی می‌افتد. من از چند دانش‌آموز (و چند نفر از همکارانم) خواستم که حدسی بزنند. متداول‌ترین پاسخ آن بود که بالاترین نوار دارای بار با یک علامت، نوار زیرین دارای علامت مخالف آن، و نوار میانی خنثی خواهد بود. دیگران تصور می‌کردند نواری که اول برداشته شود بیشترین بار را دارد، و نوارهای بعدی بار کمتر و کمتری را خواهند داشت. برای پی بردن به موضوع چند آزمایش ساده انجام دادیم.

این آزمایش‌ها شامل قرار دادن سه نوار چسب اسکاچ ۴ سانتی‌متری بر روی یکدیگر روی یک سطح فلزی رنگ شده بود. بالاترین نوار را با (T)، نوار وسط را (M)، و نوار زیری را (B) علامت‌گذاری کردیم. نوارها را تا حد امکان با فشار دادن و بدون مالش به هم نزدیک کردیم تا از الکتریسیته‌دار کردن اضافی اجتناب کنیم. سپس نوارها را به آرامی و با دقت از سطح فلزی رنگ شده جدا کردیم. سپس به کمک یک قفس فاراده (شکل ۲) که به یک الکترومتر وصل شده بود نوارها را برای بار اضافی بررسی کردیم. اگر مجموعهٔ نوارها باردار بودند، آنها را به کمک لمس با انگشتان یا لب‌ها تخلیه می‌کردیم (رطوبت لب عامل مؤثرتری است).

در آزمایش اول، نوار بالایی (T) را از دو نوار دیگر (B و M) جدا کردیم. نوار T دارای بار مثبت بود، و دو نوار دیگر (یعنی نوار میانی و زیرین متصل به هم) همان مقدار بار منفی داشتند. وقتی دو نوار دیگر (M و B) را از هم جدا کردیم، نوار M دارای بار خالص مثبت برابر با بار نوار T بود، و نوار B منفی باقی ماند. اما، بار خالص روی B اکنون تقریباً دو برابر بار خالص روی نوارهای M یا T بود!

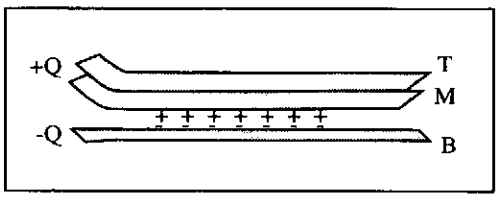


شکل ۲ـ قفس فاراده

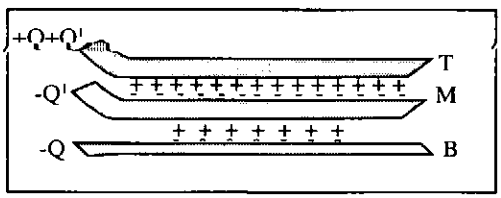
آزمایش دوم ما درست مانند آزمایش اول بود، بجز اینکه اکنون ابتدا نوار B را جدا کردیم. در این مورد، نوار B دارای بار منفی و نوار T و M دارای بار مثبت شدند. وقتی نوار T و M را از هم جدا کردیم، نوار M دارای بار منفی شد و نوار T بار مثبتی برابر دو نوار دیگر داشت. بنابراین نوار میانی همواره همان بار اولین نواری را داشت که جدا می‌شد.

مدل ممکن

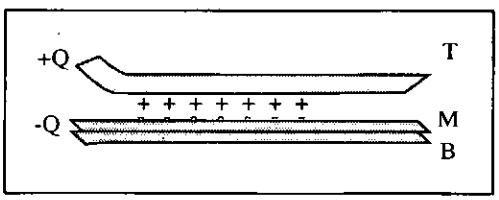
ما مدل زیر را برای توجیه این پدیده پیشنهاد کردیم. فرض کنید باری که بر اثر جدا کردن دو نقطه نوار تولید می‌شود Q باشد. با بهره‌گیری از اصل پایستگی بار و فرض اینکه نوارها در ابتدا خنثی هستند، نوارهای M و T دارای بار خالص Q+ و نوار B دارای بار خالص Q- است (نگاه کنید به شکل ۳). چون بار در سطح پایینی نوار M قرار دارد، وقتی نوار T را جدا می‌کنیم، مقدار بار (Q) بر اثر جدا کردن نوارها T و M به وجود می‌آید. اما، ما پیشنهاد می‌کنیم که یک مقدار اضافی Q´ نیز بر اثر القا ته‌نشین می‌شود. این اثر القا ناشی از میدان الکتریکی موجود در سطح نوارها به واسطهٔ وجود بار اولیه Q+ است که در قسمت زیرین نوار M قرار دارد. نکتهٔ جالب توجه آن است که Q´ تقریباً با Q برابر است (شکل ۴). وقتی نوار زیرین جدا می‌شود، فرایند معکوس رخ می‌دهد (نگاه کنید به شکل‌های ۵ و ۶).



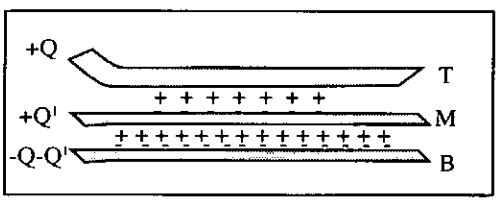
شکل ۳ـ توزیع بار روی نوارها وقتی نوار زیرین جدا شود.



شکل ۴ ـ توزیع بار روی هریک از سه قطعه نوار وقتی نوار زیرین (B) ابتدا جدا شود.



شکل ۵ ـ توزیع بار وقتی نوار بالایی (T) جدا شود.



شکل ۶ ـ توزیع بار روی هریک از سه قطعه نوار بالایی (T) ابتدا جدا شود.

با در نظر گرفتن حالت ایده‌ال که مقدار بار القایی (Q′) برای هر قطعهٔ نوار برابر باشد، می‌توان عبارت بار روی N قطعه نوار (Q_N)، را نوشت که N آخرین قطعه نوار باقی مانده پس از جدا کردن نوارهای دیگر Q_1 اولین نواری است که جدا می‌شود.

$$Q_1 = \pm Q, Q_2 \text{ تا } Q_{(N-1)} = \pm Q'$$

و

$$Q_N = \pm(N-2)Q' + Q$$

بنابراین می‌توانیم با چسبانیدن لایه‌های نوار و جداکردن تک‌تک آنها یک لایه نوار را «سوپر شارژ» کنیم. همهٔ نوارها تقریباً دارای مقدار مساوی بار هستند بجز نوار آخر، که دارای بار با علامت مخالف و به اندازهٔ مجموع همهٔ بارهایی است که توسط هر نوار قبلی برداشته شده است. با استفاده از الکترومتر، دریافتیم که رابطهٔ بالا برای تا هفت لایه نوار چسب تقریباً صادق است. برای بیش از هفت قطعه، این نتیجه‌گیری که بار آخرین نوار با افزایش نوارهای اضافی به طور مداوم افزایش می‌یابد، مشکل شد. به نظر ما حد بالای مقدار باری که یک قطعه می‌تواند داشته باشد را ولتاژ فرو شکست نوار و هوای اطراف آن تعیین می‌کند.

حتی با چهار نوار، متوجه شدیم که باید آزمایش را به سرعت انجام داد تا از نشست مقدار قابل ملاحظه‌ای بار که در طی آزمایش صورت می‌گیرد اجتناب شود.

همچنین می‌توانیم رابطه را برای مورد پیوسته (در مقابل گسسته) انجام دهیم که در آن نوار به صورت حلقه‌ای برداشته می‌شود. نوار جدا شده دارای چگالی بار سطحی می‌شود که در امتداد طول نوار تقریباً یکنواخت است. بنابراین بار کل (Q) برابر است با CL، که L طول نواری است که از حلقه برداشته می‌شود، و C ثابتی است که به نوع نوار مورد استفاده با عرض نوار، و سرعت جدا کردن آن بستگی دارد. در این صورت، بار کل باقی مانده روی نوار به همان اندازه ولی با علامت مخالف است.

طرح‌های پیشنهادی

به گمان ما این آزمایش دارای امکانات پژوهشی بسیار زیادی برای دانش‌آموزان دبیرستان است. پرسش‌هایی که می‌توانند مطرح شوند عبارت‌اند از: بیشترین باری که یک قطعه نوار چسب می‌تواند نگهدارد چقدر است؟ یک برآورد خوب از ظرفیت یک جفت نوار چقدر است؟ رابطهٔ میان مقدار بار جدا شده و سرعت جدا کردن نوارها به چه صورت است؟ خوب از ظرفیت یک جفت نوار چقدر است؟ رابطهٔ میان مقدار بار جدا شده و سرعت جدا کردن نوارها به چه صورت است؟

نقش ماده‌ای که نوار از آن ساخته شده است در مقایسه با نوع چسبی که به کار می‌رود چیست؟

مراجع:
The physics Teacher,
Vol. 38 Jan 2000, PP, 23-25

جنیوسکره[1]
مترجم: فاطمهٔ ذبیحیان

مهبانگ و کُدژنتیک

شوخی‌های عملی و ایده‌های عمیق: گاموف به گسترهٔ خارق‌العاده‌ای از مسائل علمی پرداخته است.

جورج گاموف، فیزیکدان شوخ‌طبع، برای نخستین بار به آنها پرداخت. جورج گاموف یکی از بذله‌گوترین و جالب‌ترین فیزیکدان‌های قرن بیستم بود.

شاید بتوان گفت که مهبانگ و کُدژنتیک دو ایدهٔ علمی مهم هستند که در قرن بیستم دیدگاه ما را نسبت به جهان تغییری بنیادی داده‌اند. نظریهٔ مهبانگ به بحث دربارهٔ چگونگی پیدایش جهان و تولید سازه‌های آغازین می‌پردازد. کُدژنتیک به‌دنبال ارائه طرحی برای موجود زنده و انتقال خصوصیات وراثتی است.

جالب است که اولین نظریه‌پردازی‌های مهم دربارهٔ این ایده‌های کلیدی را فیزیکدانی شوخ‌طبع، سرزنده، و دوست‌داشتنی به نام جورج گاموف تنظیم و ارائه کرده است. او در سال ۱۹۰۴ در اودسا متولد شد و تحصیلات خود را در همان شهر آغاز کرد ولی پس از مدتی به سنت‌پترزبورگ نقل مکان کرد. او در سال ۱۹۲۴ ثابت کرد که واپاشی آلفازای هسته‌ای را می‌توان با پدیدهٔ تونل‌زنی کوانتوم مکانیکی توجیه کرد. وی همچنین احتمال وقوع عکس پدیدهٔ تونل‌زنی را مطرح کرد که با توجه به آن پروتون‌های دارای انرژی کافی می‌توانستند از سد هسته‌ای عبور کنند. این مطلب انگیزه‌ای در کوکرافت و والتون برای ساخت اولین ماشین قادر به تولید هسته‌های پرتوزای مصنوعی به وجود آورد. به این ترتیب، دوران فیزیک هسته‌ای تجربی در سال ۱۹۳۲ آغاز شد.

در سال ۱۹۴۰ گاموف و همکارش ماریو شوئنبرگ[2] در یک مقاله به مسئله‌ای پرداختند که اکنون آن را اختر فیزیک ذرات می‌نامیم. این دو نویسنده پیشگویی کردند که نوترینوها می‌توانند نقشی در سرد کردن ستاره‌های پرجرم رهبنده داشته باشند. آنها واکنش نوترینو را با توجه به یک کازنیری معروف در ریودوژانیرو فرایند اورکا[3] نام نهادند. این نام شاید به نظر شما عجیب باشد، اما برای فردی شوخ‌طبع و خارق‌العاده چون گاموف چنین نبود. او یک‌بار مقاله‌ای را برای مجلهٔ نیچر فرستاد که در آن این مسئله را

مطرح کرده بود که نیروی کوریولیس می‌تواند سبب تغییر جهت جویدن گاوها در جهت ساعتگرد در نیمکرهٔ شمالی و پادساعتگرد در نیمکرهٔ جنوبی شود.

گاموف در سال ۱۹۴۰ به همراه همکارش رالف آلفر[۴] کار بر روی منشأ عناصر شیمیایی را آغاز و اولین مقاله دربارهٔ این موضوع را در سال ۱۹۴۸ به مجلهٔ فیزیکال ریویو ارائه کرد. در آخرین لحظه، او که از آهنگ آلفا، بتا، گاما خوشش آمده بود نام دوست قدیمی‌اش هانس بته[۵] را به طور غیابی به عنوان مؤلف دوم وارد کرد. (بته این شوخی را نادیده گرفت، اما ویراستاران مقاله چنین نکردند). گاموف و آلفر همراه با رابرت هرمن[۶] سپس به مسئله محیط بسیار داغ نوترونی پرداختند. آنها پیش‌بینی کردند که نوترون‌ها به پروتون‌ها، الکترون‌ها، و پادنوترینوها وامی پاشیدند، و وقتی عالم به اندازهٔ کافی سرد شده بود، نوترون‌ها و پروتون‌ها هسته‌های سنگین را تشکیل دادند. آنها حتی زمینهٔ فوتونی را برآورد کردند که برای به حساب آوردن فراوانی هسته‌ای لازم بود و تابش زمینهٔ باقیمانده‌ای با دمای ۵ درجه را مطرح کردند.

اکنون می‌دانیم که طرح آنها نادرست بوده است. عالم با تعداد تقریباً برابر نوترون و پروتون آغاز شده است. برخورد الکترون‌ها، پوزیترون‌ها، نوترینوها و پادنوترینوها خیلی مهم‌تر از واپاشی نوترون‌ها هستند و فقدان هسته‌های پایدار با اعداد جرمی ۵ و ۸ مانعی در برابر تشکیل هسته‌های سنگین در عالم آغازین بوده است. با وجود این، کار آلفر، گاموف، و هرمن اولین کوشش جدی برای تغییر پیامدهای مشهود مهبانگ به عنوان چارچوب اولیه صحیح بود. جالب اینکه عنوان مهبانگ را فرد هویل[۷] ابداع کرد که طرفدار جدی مدل حالت پایای عالم بود و آن را برای مسخره کردن کوشش‌های گاموف مطرح کرده بود.

در سال ۱۹۵۳، گاموف مقالهٔ مشهور واتسون[۸] و کریک[۹] دربارهٔ ساختار DNA را در مجلهٔ نیچر خواند و فوراً به این نتیجه رسید که مولکول DNA می‌تواند مستقیماً به عنوان الگویی برای سنتز پروتئین به کار رود. او با توجه به اینکه ۲۰ ترکیب مستقل سه‌تایی را می‌توان با چهار حرف ساخت پیشنهاد کرد که ۲۰ آمینو اسید مطرح وجود دارد و با تناظر یک به یک بین سه‌تایی‌ها و آمینو اسیدها بنیان پروتئین‌ها را توضیح داد. کریک در زندگینامهٔ به قلم خودش آورده است که نامه‌ای از گاموف در مورد این احتمال دریافت کرد و سپس به این نتیجه رسید که او واتسون حتی تعداد آمینو اسیدها را نشمرده‌اند. از آن پس کریک، گاموف و واتسون دوستان خوبی شدند و حتی گاموف یک باشگاه کراوات RNA با ۲۰ عضو تأسیس کرد که هر یک از اعضای آن دارای کراوات مخصوص با طرح آمینو اسید خاص بودند. ارتباط میان آنها، چنانکه گاموف تصور می‌کرد سر راست نبود. DNA سازندهٔ RNA است که به نوبهٔ خود آمینو اسیدها را می‌سازد. همین طور کُدها یک به یک نیستند. امّا، مقاله‌ای که گاموف در سال ۱۹۵۴ در مجلهٔ نیچر تحت عنوان «امکان ارتباط میان DNA و ساختار پروتئین» منتشر کرد اولین مقاله‌ای بود که به موضوعی می‌پرداخت که زندگی ما را تغییر داده است.

در دست‌نویس DNA نام آقای تامپکینز[۱۰] به عنوان نویسندهٔ همکار به میان آمده است که ویراستاری هوشیار آن را حذف کرد. گاموف تعدادی کتاب عامه‌پسند با همکاری آقای تامپکینز منتشر کرده است که در آنها این شخص به کشف شگفتی‌های جهان می‌پردازد. امّا، می‌توان گفت که گاموف حتی بدون آقای تامپکینز نیز شخصی شوخ طبع و جالب‌ترین دانشمند قرن بیستم محسوب می‌شد. مردی با زیرکی فوق‌العاده و درکی عمیق از مشکلات بزرگ.

۱ـ جینوسکره استاد نجوم و فیزیک در دانشگاه پنسیلوانیاست.

2. Mario shoenberg

3. Urca

4. Ralph Alpher

5. Hans Bethe

6. Robert Herman

7. Fred Hoyle

8. Watson

9. Crick

10. Tompkins

Nature /vol 404/ 30 March 2000. P 437

چگونه!

آلودگی هوا مانع از بارندگی می‌شود

اوئن تون
مترجم: منیژه رهبر

تأثیر ذرات ریز با ابعاد کوچک‌تر از میکرومتر که در جوّ زمین ـ معلق‌اند، بر آب و هوای کره زمین، می‌تواند به اندازهٔ گازهای گلخانه‌ای باشد؛ که در قرن اخیر در جوّ انباشته شده‌اند. هوامیزها با بازگرداندن نور خورشید به فضا بر اثر پراکندگی به صورت مستقیم و با زیاد کردن تعداد قطرات ریز داخل ابرها به طور غیرمستقیم شرایط آب و هوایی را تغییر می‌دهند. این اثرات، زمین را خنک و در جهت مخالف اثر گلخانه‌ای عمل می‌کنند. روزنفلد وهمکارانش در صفحهٔ ۱۷۹۳ مجلهٔ ساینس به تاریخ ۲۰ مارس ۲۰۰۰، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، دلایلی به دست آورده‌اند که نشان می‌دهند: «آلودگی حاصل از هوامیزها مانع از بارندگی می‌شود و اثر غیرمستقیم این هوامیزها بر آب و هوا، حتی از آنچه قبلاً تصور می‌شد، بااهمیت‌تر است.»

معلوم نیست که آیا هوامیزها اثر گلخانه‌ای را تا اندازه‌ای جبران می‌کنند یا آن را کاملاً خنثی می‌سازند. این عدم قطعیت، ناشی از مشکلات ذاتی کمّی کردن تأثیر هوامیزها بر آب و هواست. برخلاف گازهای گلخانه‌ای ـ که برای مدت طولانی در جوّ باقی می‌مانند و تقریباً به صورت یکنواخت در جوّ توزیع می‌شوند ـ هوامیزها در حوالی منبع خود متمرکزند و توزیع آنها بر حسب زمان ومکان بشدت تغییر می‌کند. اندازهٔ آنها از خوشه‌های چند مولکولی تا ماسه، هاگ‌ها و بخشی از حشرات ـ گسترهٔ اندازه‌ای که می‌توان آن را از اندازهٔ توپ بیسبال تا سیاره‌ها در نظر گرفت ـ تغییر می‌کند. با داخل کردن متغیرهای بیش‌تر مانند تراکم، ترکیب، ویژگی‌های اپتیکی، محلول بودن، فعالیت به عنوان هسته‌های تشکیل یخ و شکل ذره تغییر می‌کند و می‌توان فهمید که چرا با وجود پیشرفت‌های زیاد در اندازه‌گیری‌های محلی و اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای، مشخص کردن کامل هوامیزها در جوّ همچنان دور از دسترس است.

یک شناخت ابتدایی از تأثیر هوامیزها بر ویژگی ابرها (شکل ۱) را تومی انجام داده است. آلودگی معمولاً تعداد ذرات موجود در جوّ را بشدّت افزایش می‌دهد. منشأ هر قطرهٔ ریز موجود در جوّ، ذره‌ای است که قبلاً در آن‌جا وجود داشته است. زیاد شدن تعداد ذرات باعث زیاد شدن تعداد قطرات ریز موجودر ابر می‌شود. اما، دما و حرکت‌های جوّی، به جای تعداد قطرات ریز، جرم آبی را که در ابر چگالیده می‌شود، کنترل می‌کنند. درنتیجه، اگر تعداد قطرات ریز ابری زیاد باشد، اندازهٔ آنها به طور میانگین

کوچک‌تر می‌شود. مساحت سطح ابری که حاوی ذرات ریز است، بزرگ‌تر از ابری است که با همان مقدار آب چگالیده حاوی ذرات بزرگ‌تر است. عمق اپتیکی ابر، که معیاری از بازتابندگی ابر است، با مساحت سطح آن نسبت مستقیم دارد. درنتیجه، آلودگی باعث پیدایش ابرهای بازتابنده‌تری می‌شود.

جامعهٔ مدل‌سازان آب و هوا به این برداشت تومی توجه چندانی نکردند؛ شاید به این دلیل که به نظر نمی‌رسید، این تحلیلِ ساده بتواند رفتار جسم پیچیده‌ای مانند ابر را توجیه کند؛ تا این که کوگلی و همکاران توجه این جامعه را به تصاویر ماهواره‌ای از ردّ کشتی‌ها جلب کردند. این ردّها (شکل ۲) وقتی به وجود می‌آیند که یک کشتی عبوری، ذراتی را به ابرهای کم ارتفاع می‌افزایند. چنان‌که انتظار می‌رود، ابرها نور بیش‌تری را در خطوطی که خروج کشتی‌ها بیش‌تر بر آنها متمرکز است، به فضا بازمی‌تابانند. در بعضی نواحی، روی اقیانوس‌ها تعداد هوامیزهای طبیعی به اندازه‌ای کم است که عملاً ابری تشکیل نمی‌شود. در این نواحی، ذرات تزریق شده از یک کشتی عبوری سبب تشکیل ابرهای جدید می‌شود.

روزنفلد، اولین تصاویر ردّهای آلودگی را روی خشکی ارائه کرده است. ردّهای کشتی ممکن است از ردّهای آلودگی مشخص‌تر باشند؛ زیرا تعداد ذرات محیطی در هوای دریایی کم‌تر از هوای قاره‌ای است. ردّهای کشتی و ردّهای آلودگی به خودی خود تأثیر چندانی بر آب و هوا ندارند؛ زیرا منطقهٔ بسیار کوچکی از سطح زمین را می‌پوشانند؛ اما نقش آنها در تأثیر بالقوهٔ توزیع هوامیزها بر ابرها مانند کتیبهٔ روزتا*ست. مدل‌سازان آب و هوا برآوردهایی از اندازهٔ اثر غیرمستقیم هوامیزها بر بازتابندگی ابرها انجام داده‌اند. اما هنوز باید کارهای زیادی انجام داد تا معلوم شود که هوامیزها چگونه انواع مختلف ابرها را مدوله می‌کنند؛ چگونه سطحی را که ابرها می‌پوشانند، تغییر می‌دهند؛ چه تأثیری بر طول عمر ابرها دارند؛ و اثر آنها بر آهنگ بارش ابرها به چه ترتیب است. کاهش آهنگ بارندگی، مقدار رطوبت سطحی را که انسان‌ها می‌توانند از آن بهره بگیرند، تغییر می‌دهد. این مسأله در بازتابندگی ابرها، طول عمر و سطح آنها تغییراتی به‌وجود می‌آورد. تأثیر آن بر تغییر آب و هوا ممکن است همان قدر اهمیت داشته باشد که تغییرات بازتابندگی حاصل از افزایش تعداد قطرات ریز در نتیجهٔ افزایش هوامیزها، دارند.

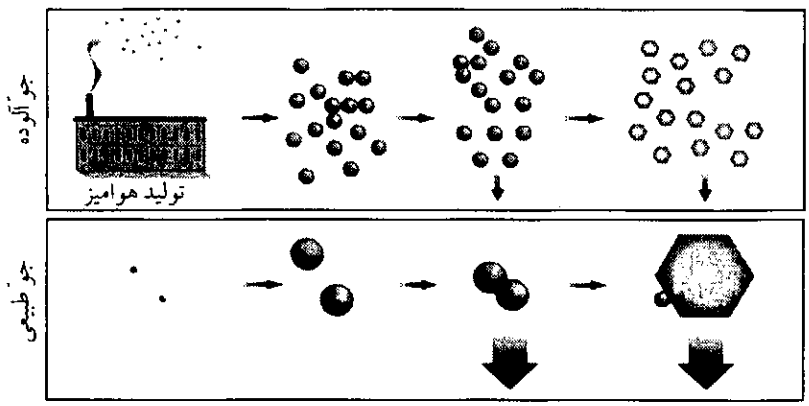
اندازه‌گیری‌های انجام شده روی ردّ کشتی‌ها، سرنخ‌هایی ـ و نه دلایلی کاملاً روشن ـ به دست داده است که خروجی کشتی‌ها روی نرمهٔ باران تأثیر دارند. روزنفلد اکنون تأثیر گسترده و بدیهی آلودگی هوامیزها بر بارندگی قاره‌ای را نشان داده است. سازوکارهای چندی وجود دارد که به وسیلهٔ آنها، هوامیزها می‌توانند سایع از بارندگی شوند. باران گرم وقتی می‌بارد که قطرات ریز مایع در ابرها به یکدیگر بپیوندند و قطرات بسیار درشتی را تشکیل دهند. یک قطرهٔ کوچک موجود در ابر معمولاً شعاعی در حدود ۱۰μm دارد. این نوع ذرات معمولاً در هوای خشک، پس از پیمودن مسافت چند سانتیمتر تبخیر می‌شوند. به همین دلیل است که مشاهده می‌کنیم ابرها در جوّ معلق‌اند. برخلاف آن، یک قطرهٔ باران نوعی به اندازهٔ چند میلیمتر در هر ثانیه چندین متر سقوط می‌کند و می‌تواند قبل از تبخیر، مسافت چند کیلومتر را در جوّ بپیماید. در حدود 10^6 قطرهٔ ریز در ابر باید با هم برخورد کنند و به هم متصل شوند تا یک قطرهٔ باران بسازند. آهنگی که با آن، یک قطرهٔ درحال سقوط سایر قطره‌ها را جارو می‌کند، تابع سرعت سقوط، مساحت سطح آن، و این احتمال است که ذره، سایر ذرات را لمس کند و به آنها بچسبد. هریک از این فرایندها، تقریباً بر حسب مربع شعاع ذرات با اندازهٔ قطرهٔ باران تغییر می‌کنند. در مثالی که در شکل (۱) نشان داده شده است، قطرات ریز در ابری که در آن اختلالی صورت نگرفته است، درحدود ۶۴ بار بیش از قطرات موجود در ابرهای آلوده، حجم حاوی سایر قطرات را جارو می‌کنند. در نتیجه، احتمال بارندگی برای ابرهای آلوده بسیار کم‌تر است.

عاملی که موضوع را پیچیده می‌کند، احتمال حضور ذرات محلول غول‌آسا در آلودگی است که می‌توانند به عنوان بذرهایی برای قطرات درشت عمل کنند و باعث آغاز بارندگی شوند. قطرات غول‌آسای محلول را در بعضی از فرایندهای جدید باروری ابرها به کار می‌برند و دلایلی به نفع بارندگی‌های تولید شده به واسطه آلودگی توسط این ذرات، وجود دارد.

بارش می‌تواند در ابرها و در زیر نقطهٔ انجماد به صورت یخ هم انجام شود. فشار بخار کم‌تر از آب است. درنتیجه،

ذرات یخ به سرعت با جذب بخار قطرات ریز مجاور تا اندازه‌های بزرگ رشد می‌کنند. سپس بلورهای یخ به قطرات ریز مایع می‌چسبند و قطرات باران را تشکیل می‌دهند. در جوّ زیرین، بلورهای یخ روی هسته‌هایی به‌وجود می‌آیند که تعداد آنها کم‌تر از یک ذره به ازای هر هزار ذرهٔ موجود در جوّ است. هسته‌های تشکیل یخ معمولاً مواد معدنی رسی هستند. بسیاری از هوامیزهای آلاینده مانند سولفات‌ها، هسته‌های تشکیل یخ نیستند. یک منبع آلودگی می‌تواند تعدادی هستهٔ تشکیل یخ به جوّ اضافه کند و باعث بارندگی شود. همین‌طور، می‌تواند با پوشاندن هسته‌های تشکیل یخ توسط سولفات‌ها، آنها را از بین ببرد و یا به قدری هسته‌های تشکیل یخ به جوّ اضافه کند که مانع از بارندگی شود (شکل ۱).

مشاهده‌های ماهواره‌ای روزنفلد نشان می‌دهد که در جهت وزش باد، از منبع آلودگی بارندگی به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. انواع مختلفی از حسگرهای ماهواره‌ای، اطلاعاتی دربارهٔ سازوکارهای سرکوب بارندگی در اختیار ما قرار داده‌اند. مشاهدات ماهواره‌ای بیش‌تری لازم است تا معلوم کند که تأثیر هوامیزها بر بارندگی تا چه اندازه است و آیا این تأثیر بر حسب نوع آلودگی و نوع ابر تغییر می‌کند یا خیر. کار روزنفلد همچنین اشاره به محل‌هایی دارد که در آنها باید مشاهدات محلی انجام شود تا تأثیر آلودگی بر ابرها مشخص شود. این اطلاعات شاید این امکان را در اختیار ما بگذارد که بتوانیم گستردگی بر هم کنش هوامیزها با بارندگی را در جهان سراسر آلودهٔ خرد برآورد کنیم.



شکل ۱. فرایندهایی که توسط آنها، هوامیزها بر تشکیل ابرها تأثیر می‌گذارند.
ابر آلوده هشت برابر ابر معمول، قطرات ریز دارد که اندازهٔ آنها نصف قطره‌های ریز معمولی، سطح آنها دو برابر، و عمق اپتیکی آنها نیز دوبرابر است. در نتیجه، بازتابندگی آن از ابر معمولی بیش‌تر است.

شکل ۲. تغییر ابرهای دریایی بر اثر هوامیزها
تصویری از ردّ کشتی‌ها (خطوط سفید) در دسته ابرهای لایهٔ مرزی (سفید خال مخالی)، در ساحل مجاور بخش شمال غربی ایالات متحده. قسمت تاریک اقیانوس بدون ابر است. این تصویر باماهوارهٔ پیشرفته با توان تفکیک زیاد گرفته شده و روزنفلد از آن برای بررسی ردّ آلودگی استفاده کرده است.

زوئیس.....

* کتیبهٔ روزتا، یک کتیبهٔ قدیمی مصری است که در آن یک متن به سه زبان هیروگلیف، هیراتیک و یونانی نوشته شده است و از روی آن، کلید خواندن خط هیروگلیف به دست آمده است(م.)

مرجع: Science vol 287. 10 March 2000 pp 1763-1764.

خطرات الکتریکی، جریانهای نشتی*

داگلاس ژیان کولی
مترجم: احمد توحیدی

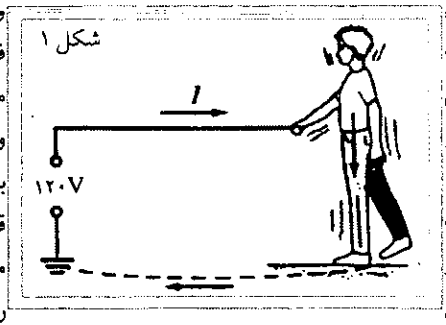
شوک الکتریکی می‌تواند برای بدن انسان زیان‌بار باشد و یا حتی ممکن است کُشنده باشد. شدت شوک به مقدار جریان، مدّت زمان اثر آن، و اینکه جریان از چه بخشی از بدن می‌گذرد بستگی دارد. جریانی که از اندامهای حیاتی مانند قلب و مغز می‌گذرد اهمیت خاصی دارد زیرا می‌تواند در عملکرد این اندام‌ها اختلال ایجاد کند. جریان الکتریکی بافت‌های بدن را گرم می‌کند و می‌تواند باعث سوختگی آنها شود. جریان اعصاب و عضلات را تحریک می‌کند و سبب می‌شود که ما شوک را احساس کنیم.

بیشتر افراد می‌توانند جریان در حدود ۱mA را احساس کنند. جریان‌هایی با شدت چند mA می‌توانند ایجاد درد کنند. امّا به فرد سالم به ندرت زیان زیادی می‌رسانند. جریان‌هایی با شدت ۱۰mA می‌توانند سبب انقباض شدید عضلات شوند و فرد نمی‌تواند چشمهٔ جریان (مثلاً دستگاه معیوب الکتریکی یا سیم) را رها کند. مرگ می‌تواند به علّت فلج شدن سیستم تنفسی روی دهد. امّا غالباً تنفس مصنوعی می‌تواند قربانی را نجات دهد. اگر جریانی بیشتر از ۷۰mA از بدن انسان بگذرد به طوری که بخشی از آن به مدّت یک ثانیه یا بیشتر از قلب بگذرد، عضلات قلب به طور نامنظم منقبض می‌شوند و قلب نمی‌تواند به خوبی خون را تلمبه کند. این وضعیت را فیبریلاسیون بطنی گویند که اگر دوام یابد پیامد آن مرگ است. جای شگفتی است اگر جریان الکتریکی در حدود ۱A باشد امکان دارد در بعضی از مواقع زیان وارده کمتر و احتمال مرگ در اثر نارسایی قلب نیز کمتر باشد. ظاهراً، جریان‌های شدید همهٔ قلب را یکباره به حالت سکون درمی‌آورند و پس از قطع جریان، قلب ضربآهنگ معمولی خود را بازمی‌یابد. امّا هنگامی که فیبریلاسیون روی می‌دهد این وضع اتفاق نمی‌افتد زیرا غالباً مشکل است که قلب پس از شروع عبور جریان یکباره بایستد. فیبریلاسیون نیز ممکن است در حمله قلبی یا در هنگام جراحی قلب روی دهد. وسیله‌ای که به نام دفیبریلاتور مشهور است می‌تواند جریان بالایی در زمان کوتاه به قلب اِعمال کند. این عمل باعث می‌شود که قلب برای لحظه‌ای کاملاً بایستد و پس از آن غالباً تَپش معمولی آن از سر گرفته می‌شود.

شدت شوک به مقاومت مؤثر بدن بستگی دارد. بافت‌های زنده مقاومت کاملاً پائینی دارند زیرا مایع درون سلولها حاوی یون‌هایی هستند که می‌توانند به خوبی رسانا باشند. امّا لایه‌های خارجی پوست هنگامی که خشک باشند مقاومت زیادی دارند. مقاومت مؤثر میان دو نقطهٔ مقابل در دو طرف بدن هنگامی که پوست خشک است درگسترهٔ 10^4 تا 10^6 اهم است. امّا وقتی پوست مرطوب باشد امکان دارد مقاومت 10^3 اهم یا کمتر باشد. فردی که با زمین به خوبی تماس داشته و خط ۱۲۰ ولت مستقیم را با دستهای مرطوب لمس می‌کند می‌بایستی جریانی در حدود $I = \frac{120V}{1000\Omega} = 120mA$ تحمل کند. این مقدار همان طور که در بالا گفته شد می‌تواند مرگ‌آور باشد.

شکل (۱) نشان می‌دهد که هنگامی که فردی یک سیم حامل جریانِ الکتریکی را لمس می‌کند چگونه مدار کامل می‌شود. یک پایانهٔ منبع ۱۲۰ ولتی با سیمی که به یک رسانای ناپیدا (مثلاً لولهٔ آب) که به زمین ارتباط دارد متصل شده است. بنابراین جریان از سیم با ولتاژ بالا از بدن فرد گذشته و به زمین می‌رسد. سپس از زمین به پایانهٔ دیگر منبع وارد شده و مدار کامل می‌شود. اگر فرد در شکل (۱) روی عایق خوبی مانند کفش‌هایی با تخت‌های ضخیم و یا کفِ اتاق چوبیِ خشک ایستاده باشد چون مقاومت بزرگی در مدار قرار دارد در نتیجه جریان کمی عبور می‌کند. امّا، اگر فرد با پاهای برهنه روی زمین ایستاده و یا در وان حمام نشسته باشد با خطر بزرگی رو به رو است زیرا مقاومت بدن در این حالات بسیار کم است. در وان حمام نه فقط بدن شما خیس است بلکه آب نیز در تماس با لوله‌های آب به زمین متصل شده است. از این نظر غالباً توصیه می‌شود که در چنین وضعیتی هیچ وسیله الکتریکی را لمس نکنید.

شکل ۱



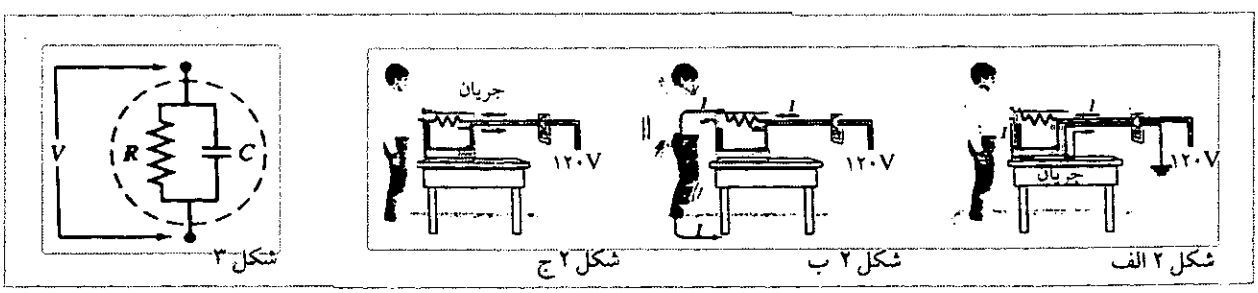
خطر اصلی از لمس سیم‌هایی که روپوش‌های عایق آنها از بین رفته و یا اتصال سیم‌های بدون روپوش با یک وسیله الکتریکی (هنگامی که شما با آنها وَر می‌روید) حاصل می‌شود. توصیه می‌شود هنگام وارسی یک وسیله الکتریکی دو شاخهٔ آن را از پریز درآورید. بعضی اوقات سیمی داخل یک وسیله الکتریکی پاره می‌شود و یا روپوش آن از بین می‌رود و در این حال سیم به جعبهٔ وسیله الکتریکی ارتباط پیدا می‌کند. اگر جعبه فلزی باشد جریان الکتریکی را هدایت می‌کند. بنابراین فردی که جعبه را لمس می‌کند شوک شدیدی تحمل خواهد کرد. (شکل ۲ ب)

برای جلوگیری از این حادثه اگر بنابه فرض جعبه‌های فلزی مستقیماً به زمین متصل شده باشند دیگر نمی‌توانند به‌صورت سیم گرم درآیند. بنابراین اگر سیم گرمی به یک جعبه فلزی متصل به زمین اتصال پیدا کند فوراً یک مدار کوتاه تشکیل می‌شود (شکل ۲ ج) و بیشتر جریان به جای این‌که از بدن فرد بگذرد از سیم کم مقاومت متصل به زمین می‌گذرد. افزون بر این شدت جریان بالا باعث می‌شود فوراً قطع کنندهٔ مدار یا فیوز، مدار را باز کند. بهتر است اتصال به زمین جعبه فلزی با سیم جداگانه‌ای به شاخه‌ای از سیستم پریز سه‌شاخه (سیستم سه سیمی) متصل شود. البته نه فقط وسیله الکتریکی بلکه باید خروجی‌ها نیز به طور صحیح به زمین ارتباط پیدا کنند.

بدن انسان مانند خازنی عمل می‌کند که با مقاومت خودِ بدن به طور موازی بسته شده است. (شکل ۴)

جریان مستقیم از مقاومت می‌تواند بگذرد امّا از خازن نمی‌تواند بگذرد. جریانِ متناوب به علّت تغییر جهت جریان می‌تواند از شاخه خازن‌دار نیز بگذرد. چون مسیر اضافی است. بنابراین ولتاژ متناوب خطرناکتر از ولتاژ مستقیم هم‌اندازه با آن است.

خطر دیگر، جریانهای نَشتی هستند که منظور از آنها جریانهایی در مسیرهای ناخواسته است. جریان‌های نشتی غالباً حالت جفت‌شدگی خازنی دارند. مثلاً، سیم داخل لامپ و سرپیچ فلزی آن تشکیل یک خازن می‌دهند. یعنی بارهای الکتریکی متحرک در یک رسانا می‌توانند بارهای الکتریکیِ موجود در رسانای دیگری را دفع یا جذب کنند. بنابراین در آن رسانا جریان الکتریکی به وجود می‌آید. کدهای الکتریکی جریان‌های نشتی را تا ۱mA برای هر وسیله الکتریکی محدود می‌کنند. معمولاً جریان نشتی تا ۱mA خطرآفرین نیست. امّا برای یک بیمار بستری در بیمارستان که الکترودهایی در بدن او قرار داده شده که از داخل وسیلهٔ الکتریکی مربوطه به زمین متصل شده‌اند می‌تواند بسیار خطرناک باشد. زیرا در این حالت جریان الکتریکی در مقایسه نسبت به وضعیت معمول که جریان از دست‌های او وارد می‌شود و در تمام بدنش پخش می‌شود، این بار جریان مستقیماً از قلب بیمار می‌گذرد. اگرچه هنگامی که جریان از دست‌ها وارد بدن بیمار می‌شود برای ایجاد فیبریلاسیون بطنی ۷۰mA جریان لازم است (زیرا مقدار کمی جریان از قلب می‌گذرد) امّا در حالتی که جریان مستقیماً از قلب می‌گذرد جریانی کمتر از ۰/۰۲۰ mA نیز می‌تواند ایجاد فیبریلاسیون بطنی کند. بنابراین یک بیمار «متصل به سیم» در بیمارستان می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای در خطر جریان نَشتی قرار گیرد حتی با عمل ساده‌ای مانند لمس یک لامپ.



شکل ۲ الف — شکل ۲ ب — شکل ۲ ج — شکل ۳

سبب عبور جریان می‌شود، بنابراین شدت جریانِ متناوب برای اختلاف پتانسیل V_{rms} داده شده بزرگتر از شدت جریان مستقیم حاصل از اختلاف پتانسیل مستقیم هم اندازهٔ آن

* Electric Hazards; Leakage Currents

مرجع: .....

Physics, Douglas Giancoli, Prentice Hall International inc.

جهانگیر ریاضی

چه عواملی بر مسیر حرکت یک جسم مؤثرند؟

خلاصه

در این مقاله، دو عامل: «شرایط اولیه» و «نیروهای مؤثر بر جسم» به عنوان عوامل مؤثر بر مسیر حرکت یک جسم، مورد بحث قرار می‌گیرند.

از دیدگاه دینامیکی، برای جسم متحرک دو وضعیت متفاوت می‌توان قائل بود:

الف) جسم تعادل دینامیکی دارد؛

ب) تعادل دینامیکی برقرار نیست.

الف) جسم تعادل دینامیکی دارد!

از دیدگاه دینامیکی، جسمی که تعادل دینامیکی داشته باشد، یعنی برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد، طبق قانون اول نیوتون، دارای حرکت یکنواخت بر خط راست خواهد بود. پس به درستی می‌توان گفت: «مسیر حرکت جسمی که تعادل دینامیکی دارد، خطی مستقیم در امتدادِ بردار سرعت اولیهٔ جسم، یعنی سرعت در لحظه برقراری شرایط تعادل دینامیکی است.»

به بیان دیگر، عاملی که تعیین کنندهٔ مسیر حرکت جسم است، شرایط اولیهٔ اعمال شده بر جسم در لحظهٔ دستیابی به تعادل دینامیکی است. منظور از شرایط اولیه، همان جهت سرعت جسم در این لحظه است.

* * *

ب) تعادل دینامیکی برقرار نیست!

برای هر جسمی که با محیط اطرافش برهم کنش داشته باشد، ولی برآیند نیروهای وارد بر آن صفر نباشد و به تعبیری دیگر، دارای تعادل دینامیکی نباشد، شرایط اولیه اعمال شده بر جسم یکی از عوامل اساسی در تعیین مسیر حرکت آن است. برای چنین جسمی، دو وضعیت قابل پیش‌بینی است:

۱) بردار سرعت اولیه همراستا با برآیند نیروهای وارد بر جسم باشد:

در این حالت، جسم در امتداد برآیند نیروهای وارد بر آن حرکت خواهد کرد. یعنی، بردارهای شتاب حاصل از برآیند نیروها ($\vec{a}$) و بردار سرعت ($\vec{V}$) همراستا خواهند بود. چنین جسمی در امتداد خط مستقیم جابه جا می‌شود. برای مثال، می‌توان به سقوط آزاد جسم در خلأ یا پرتاب یک جسم در امتداد قائم به سمت بالا اشاره کرد که در هر دو مورد، جسم در جهت برآیند نیروهای وارد بر جسم (نیروی گرانش) بر مسیر مستقیم قائم حرکت می‌کند.

۲) بردار سرعت اولیهٔ همراستا برآیند نیروهای مؤثر بر جسم نباشد:

در این حالت، جسم الزاماً در امتداد برآیند نیروهای مؤثر بر جسم حرکت نمی‌کند. برآیند نیروها، جسم را مقید به حرکتی غیر از حرکت بر خط راست می‌کند.

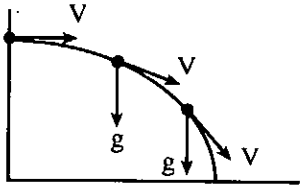
توجه کنید که از نظر دینامیک، قانون طبیعت، حرکت یکنواخت بر خط راست است. پس هرگونه حرکتی غیر از این، مستلزم حضور نیرویی است که جسم را مقید به حرکت بر مسیر غیرمستقیم کند. در این حالت:

الف) شرایط اولیه (امتداد سرعت اولیه).

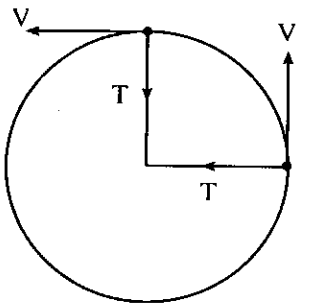
ب) ویژگی نیروهای اعمال شده، می‌توانند در شکل

مسیر مؤثر باشند. در مثال‌های زیر، تأثیر هر دو پارامتر مورد بحث قرار می‌گیرد.

مثال ۱: پرتاب افقی یک جسم در شرایط خلأ: بردار سرعت اولیه افقی است؛ ولی نیروی گرانش جسم را مقید به حرکت بر یک مسیر سهمی می‌کند. در واقع، مسیر حرکت از دو مؤلفه افقی و قائم تشکیل شده است.



مثال ۲: گلوله‌ای به ریسمانی بسته شده و در صفحهٔ افقی، مسیر دایره‌ای را طی می‌کند. بردار سرعت در هر لحظه مماس بر مسیر است و کشش نخ، جسم را مقید به تداوم حرکت دایره‌ای می‌کند (T نیروی کشش نخ است).

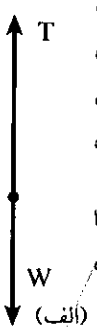


مثال ۳: در حرکت اتومبیل در پیچ جادهٔ افقی، بردار سرعت در امتداد مسیر مستقیم جاده است؛ ولی نیروی اصطکاک جانبی، اتومبیل را مقید به پیروی از پیچ جاده می‌کند.

نتیجه‌گیری

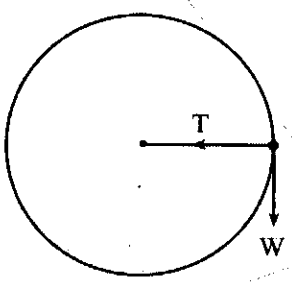
۱. تعیین مسیر حرکت تنها براساس تشخیص نیروهای مؤثر بر یک جسم، امکان‌پذیر نیست؛ زیرا تجربه نشان می‌دهد که نیروهای یکسان می‌توانند منشأ حرکاتی متفاوت باشند. برای مثال، در موارد زیر نیروهای گرانش و کشش نخ تنها نیروهای مؤثرند؛ ولی منشأ حرکاتی متفاوت هستند:

الف) گلوله‌ای به وسیله ریسمانی سبک با شتاب در امتداد قائم به سمت بالا کشیده می‌شود.



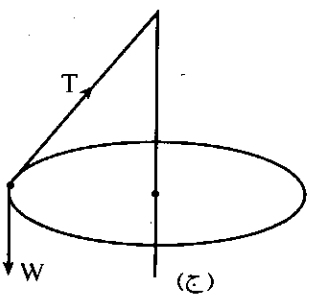
(الف)

ب) گلوله‌ای به ریسمانی بسته شده است و مطابق شکل بر مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند.



(ب)

ج) حرکت یک گلوله در آونگ مخروطی (T کشش نخ و W نیروی گرانش است).



(ج)

۲. چون جسم الزاماً در جهت سرعت اولیه حرکت نمی‌کند، پس دانستن جهت سرعت اولیه (در حالت کلی دانستن شرایط اولیه) برای تعیین مسیر حرکت یک جسم کافی نیست.

۳. توجه به دو عامل، «سرعت اولیه» و «برآیند نیروهای وارد بر جسم»، به خصوص نیروهایی که جسم را مقید به پیروی از یک مسیر خاص می‌کند، می‌توانند برای تعیین مسیر حرکت جسم مؤثر باشند.

پیشنهاد

از دیدگاه آموزش، قوانین نیوتون در حرکت مفید است. دانش‌پژوهان باید بتوانند در حرکت‌های متنوع طبیعت، با تشخیص نیروهای مؤثر بر جسم و توجه به شرایط اولیهٔ اعمال شده، مسیر را تبیین کنند. با این روش، جایگاه قوانین دینامیک در حرکت به عنوان یکی از پارامترهای تعیین مسیر حرکت، بیش‌تر مشخص می‌شود.

به این معنی که وقتی جسمی با سرعت اولیه معلوم (شرایط اولیه مشخص) در یک محیط مشخص قرار می‌گیرد، قوانین نیوتون در حرکت می‌توانند رفتار بعدی جسم را مشخص کنند و به یقین «شکل مسیر حرکت» نیز یکی از پارامترهای رفتار جسم ضمن برهم کنش با محیط است.

فیزیک پزشکی

اندازه‌گیری فشار خون

جونز ـ چیلدرز

مترجم: محمدجواد ترکمنی ـ تینا شریفی

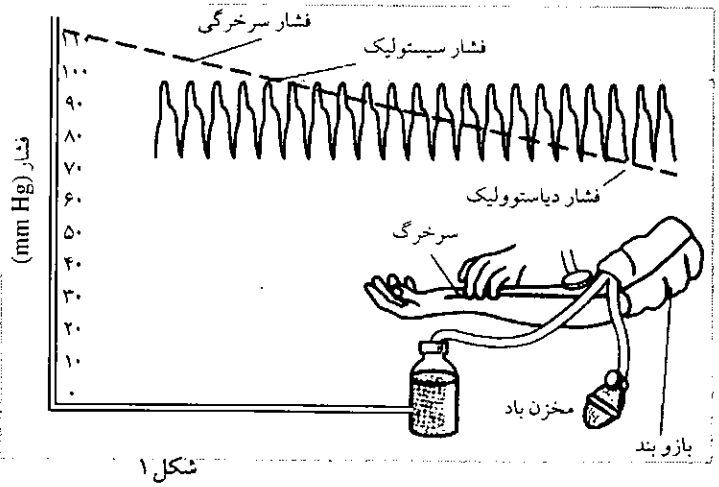
اغلب هنگامی که برای معاینه پزشکی اقدام می‌کنید، فشار خون شما اندازه‌گیری می‌شود. این عمل یکی از معمول‌ترین اعمال طبی است: فردی یک نوار مجوف (یا بادکنک) به دور بازوی شما می‌پیچد و آنقدر آنرا باد می‌کند تا بازویتان را محکم بگیرد. سپس بوسیلهٔ استتوسکوپ (گوشی پزشکی) در هنگام خالی شدن باد نوار، به صدای نبض شما گوش می‌کند. در طی این فرآیند چه پدیده‌ای رخ می‌دهد؟ آن شخص در حال اندازه‌گیری فشار در یک سیال است، و آن سیال چیزی نیست جز خون شما.

قلب عضله بزرگی است که مسئولیت آن رساندن خون حاوی اکسیژن به تمامی قسمت‌های بدن است. خون از تمام بدن از طریق سیاهرگ‌ها به سمت راست قلب که خون را به ریه‌ها می‌فرستد برمی‌گردد. ریه‌ها دی‌اکسید کربن را از خون می‌گیرند و به آن اکسیژن می‌دهند. سمت چپ قلب خون اکسیژن‌دار را از ریه‌ها دریافت می‌کند و آنرا از طریق سرخرگ‌ها به تمامی بدن ارسال می‌کند. خون سرخرگ‌ها پس از عبور از مجموعه‌های مویرگی به سیاهرگ‌ها جریان می‌یابد.

در عملکرد قلب، دو فشار از نظر طبی اهمیت دارد. فشار سیستولیک مربوط به زمانی که قلب جمع شده است و فشار دیانستولیک مربوط به زمانی است که قلب بین زنش‌ها در استراحت است. عملکرد معمولی قلب موجب می‌شود که فشار خون سرخرگی بین این دو مقدار نوسان کند. فشار خون سُرخرگی غیر عادی بالا یا پایین، نشانگر شرایط فیزیکی و روانی‌اند که از نظر اهمیت از درجه‌های متفاوتی برخوردارند.

بهترین راه برای اندازه‌گیری مستقیم فشار خون، وارد کردن لوله‌ای پر از سیال به درون سرخرگ و سپس اتصال آن به یک مقیاس اندازه‌گیری فشار است. اگرچه این روش گاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد اما هم سخت است و هم نامناسب. در شیوهٔ رایج از اندازه‌گیری غیرمستقیم بهره می‌جوید، از ابزاری به نام فشارسنج طبی[1] (اسفیگمومتر)

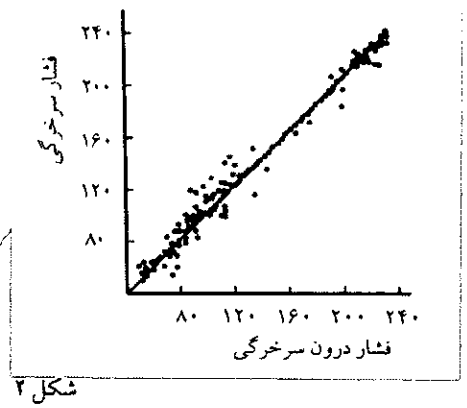
استفاده می‌شود. نواری ناکشسان که یک کیسهٔ قابل باد شدن را در خود دارد در ناحیه بالای بازو تقریباً هم‌سطح افقی قلب دور بازو بسته می‌شود. این نوار مستقیماً به یک مقیاس فشار همانند فشارسنج نشان داده شده در شکل ۱ وصل می‌شود. هنگامی که نوار باد می‌شود بافت‌های بازو فشرده می‌شوند. اگر فشار کافی اعمال شود جریان خون در سرخرگ بازو متوقف می‌شود. اگر طول نوار کافی باشد تا به راحتی مورد استفاده قرار گیرد فشار داخل بافت‌های بازو دقیقاً برابر با فشار کیسهٔ هوای داخل نوار است و نیز برابر با فشار داخل سرخرگ است. در عمل اصل پاسکال برای سیستمی مرکب از نوار، بازو و سرخرگ به کار می‌رود.



شکل ۱

پس از قطع شدن جریان خون، فشار نوار با رها کردن مقداری از هوای داخل آن کاهش می‌یابد. فشار نزولی به‌صورت خط چین در شکل ۱ مشخص شده است. در برخی نقاط، بیشینهٔ فشار سرخرگی نسبت به فشار بافت اطراف و همچنین فشار نوار، اندکی افزایش می‌یابد که منجر به جریان مجدد خون می‌شود. شتاب خون گذرنده از درون سرخرگها باعث تولید صدای ویژه‌ای می‌شود که با استفاده از یک استتوسکوپ قابل تشخیص است.

هنگامی که این صدا شنیده می‌شود فشارسنج یک ماکزیمم یا فشار سیستولیک را نشان می‌دهد. همین که فشار داخل نوار کاهش بیشتری می‌یابد تغییر دیگری در صدا شنیده می‌شود که مشخص کننده افت پایین‌تر از فشار دیاستولیک است. نتایج نشان داده شده در شکل ۱ به دو فشار مربوط می‌شود که به صورت ۱۰۰ روی ۷۵ گزارش می‌شود که یک مقدار معمولی برای فشار خون یک فرد سالم است. نتایج اندازه‌گیری‌هایی که با این راهکار انجام می‌شود ممکن است متفاوت باشند چرا که از یک سو جفت و جور بودن نوار به طور مناسب ضروری است و از سوی دیگر تخمین خوبی از نقطه‌ای که در آن تغییر صدا رخ می‌دهد لازم می‌باشد. شرایط فشارسنج، اندازهٔ بازو و آهنگ باد کردن و خالی کردن نوار نیز مؤثرند. شکل ۲ مقایسه‌ای بین فشارهایی که مستقیماً به روش درون سرخرگی اندازه‌گیری شده‌اند و فشارهایی که به طور غیرمستقیم با استفاده از یک اسنیگمومانومتر معمولی اندازه‌گیری شده‌اند را نشان می‌دهد.



شکل ۲

زیرنویس:

1. Sphygmomanometer.

مرجع:

Contemporary College Physics-1999
by: Jones/childers

قانون دوم نیوتون در مورد سیستم های با جرم های متغیر

دیوید چالدر

مترجم: حسن عظیمیان

راکت مدلی است که معمولاً در مسائل جرمهای متغیر استفاده می شود. با اینکه راکت به اندازه کافی مثالی محرک و آشناست، اما برای درک، مثال حقیقی مثالی نامناسب است، زیرا آمیزه ای از پارامترهای مثبت و منفی می باشد.

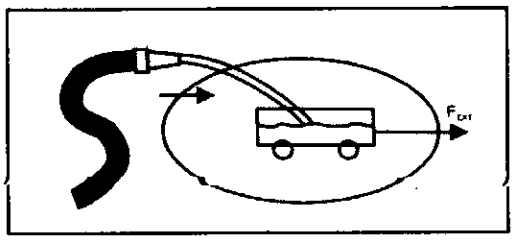
بطور مثال در مسئله راکت آهنگ $\frac{dm}{dt}$ منفی است و همین طور سرعت واقعی خروجی، V_{rel}، نسبت به حرکت راکت منفی می باشد در حالی که حرکت آن مثبت است. حال اگر مثالی بزنیم که همه پارامترهای آن مثبت باشد نتیجه ای بسیار واضح و روشن به دست می آید.

مدلی که ما پیشنهاد می کنیم واگنی است که بوسیله یک شیلنگ پر آب می شود و حرکت می کند. (شکل)

سیستم ترکیبی است از یک واگن و آب که در هر لحظه مقدار آب درون آن تغییر می کند. (نقطه خارج از مبدا که تنها مؤلفه افقی اندازه حرکت مورد توجه است را در نظر می گیریم.)

آب با آهنگ مثبت $\frac{dm}{dt}$ به جرم سیستم افزوده می شود. آبی که به سیستم وارد می شود دارای اندازه حرکت است، بنابراین به محض اینکه از حد مرزی سیستم عبور کند اندازه حرکت خود را با آهنگ $F = \frac{dp_w}{dt}$ به سیستم منتقل می کند.

قانون دوم نیوتن را تقریباً می توان به صورت $F = \frac{dp}{dt}$ نشان داد. بنابراین به آسانی می توان گفت که $F = \frac{dp_w}{dt}$ نیروئی است که به سیستم وارد می شود.



البته نیروهای دیگر هم علاوه بر آب وجود دارد، مثل نیروی کشش طناب نیروی جاذبه زمین که به طرف پائین است و نیروی اصطکاک و غیره. ما برآیند همه نیروهای فوق را F_{ext} می نامیم.

بنابراین برآیند نیروهایی که به سیستم وارد می شود $F_{ext} + \frac{dp_w}{dt}$ است. بنابر قانون دوم نیوتن داریم:

$$F_{ext} + \frac{dp_w}{dt} = \frac{dp_{BYS}}{dt}$$

اگر سرعت پر شدن آب را u (این سرعت ثابت نسبت به زمین اندازه گیری شده است) و سرعت لحظه ای واگن را v بنامیم و هم چنین اگر $\frac{dp}{dt}$ را نسبت به دو کمیت متغیر m و v بسط دهیم خواهیم داشت:

$$F_{ext} + u\frac{dm}{dt} = m\frac{du}{dt} + v\frac{dm}{dt}$$

چون سرعت آب (u) ثابت است بسط $\frac{dp_w}{dt}$ در سمت چپ فقط یک کمیت ایجاد می کند.

نکتهٔ قابل توجه و تأمل این است که $u\frac{dm}{dt}$ در سمت چپ معادله ظاهر می شود مانند نیرویی است که به سیستم وارد می شود اما $v\frac{dm}{dt}$ که در طرف راست معادله ظاهر می شود، بخشی از تغییرات اندازه حرکت سیستم است.

و این از نکاتی است که نتیجه گیری و درک آن برای دانش آموزان آسان نیست. در حالی که نتایج به دست آمده در این معادله بسیار ساده و قابل فهم می باشد. اگر همه سرعتها نسبت به زمین اندازه گیری شود، این معادله:

$$F_{ext} + u\frac{dm}{dt} = m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt}$$

بسیار مفید است.

در صورت استفاده از سرعت های نسبی در مسائل راکت دو جملهٔ شامل $\frac{dm}{dt}$ را می توان ترکیب کرد. در نتیجه با فرض $V_{rel} = u - v$ خواهیم داشت:

$$F_{ext} + V_{rel}\frac{dm}{dt} = m\frac{dV}{dt}$$

در مسئله راکت دومین کمیتی که در سمت چپ می آید در واقع حرکت را توصیف می کند. در ضمن کمیت های V_{rel} و $\frac{dm}{dt}$ منفی می باشند ولی حاصل ضرب آنها مثبت است.

مرجع:

The Physies Teacher, Vol 38, oct 2000

چگونه نیروی اصطکاک اینقدر باهوش است؟*

جاناتان اف. ریچارد
مترجم: احمد توحیدی

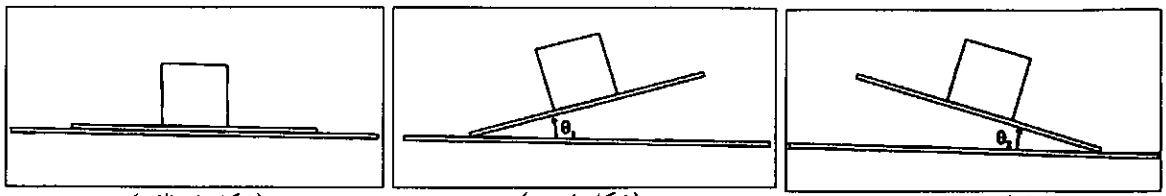
تصور کنید یک قطعهٔ پلاستیکی روی صفحهٔ افقی چوبی صافی قرار گرفته باشد (شکل ۱ ـ الف). آیا نیروی اصطکاک روی قطعه اثر می‌کند؟ مسلماً در امتداد افقی اثری ندارد. اگر چنین نیرویی وجود داشته باشد، قطعه در امتداد افقی خاصی که این نیروی اصطکاک اثر می‌کند باید شتاب پیدا کند. چون قطعه در حال سکون است، نیروی اصطکاک وجود ندارد. اکنون صفحه را با زاویه θ_1 کج می‌کنیم (شکل ۱ ـ ب). فرض کنید قطعه در همان مکان روی صفحه باقی بماند و نلغزد. بنابراین نیروی اصطکاکی در امتداد سطح و به طرف راست به قطعه باید اثر کند. صفحه را در جهت دیگری با زاویه θ_2 کج می‌کنیم (شکل ۱ ـ ج). دوباره قطعه روی صفحه به حال سکون باقی می‌ماند. در این زمان نیروی اصطکاک به قطعه باید اثر کرده باشد، امّا در این حالت جهت آن به طرف چپ است. اگر صفحه به مکان افقی اولیه خود بازگردانده شود، نیروی اصطکاک حذف می‌شود.

هنگامی که زاویه سطح را از θ_1 به θ_2 تغییر می‌دهیم، چگونه نیروی اصطکاک آگاه می‌شود؟ با بزرگتر شدن θ_1 چگونه نیروی اصطکاک آگاه می‌شود که باید بزرگتر شود؟

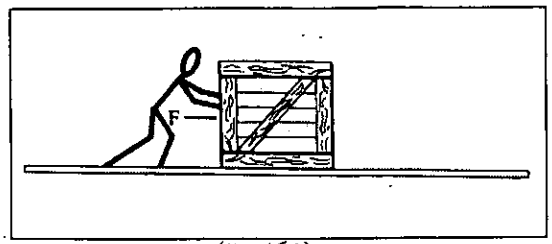
هنگامی که صفحه به وضع افقی بازمی‌گردد چرا نیروی اصطکاک از بین می‌رود؟

صندوق بزرگی را که روی سطحی صاف و افقی قرار دارد در نظر بگیرید (شکل ـ ۲). فرض کنید با وارد کردن نیروی افقی کوچک F آن را هُل دهیم. در کمالِ شگفتی صندوق حرکت نمی‌کند. اگر قانون دوم نیوتن را قبول داشته باشیم، بدین معناست که از طرف سطح نیروی اصطکاکِ F دقیقاً برابر امّا در خلاف جهت نیروی F وارد شده به صندوق باید وجود داشته باشد. هنگامی که صندوق را هُل می‌دهیم، اگر چنین نیروی اصطکاکی وجود نداشته باشد حتماً حرکت آن شتابدار خواهد شد. صندوق حرکت نمی‌کند، پس برآیند نیروهای افقی باید صفر باشد. فرض کنید نیرو را بیشتر کنیم و هنوز صندوق حرکت نکند. بنابراین نیروی اصطکاک باید بسیار باهوش باشد که مقدار و جهت کاملاً درستی را چنان اختیار کند تا باز هم برآیند نیروها مساوی صفر باقی بماند.

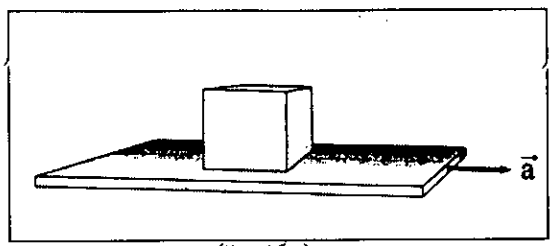
در همهٔ حالات نیروی اصطکاک در جهت مناسبی اثر کرده است. آیا همیشه چنین است؟ تصور کنید قطعهٔ پلاستیکی را روی صفحه افقی قرار دهیم، امّا این بار صفحه



(شکل ۱ ـ الف) (شکل ۱ ـ ب) (شکل ۱ ـ ج)



(شکل ـ ۲)



(شکل ـ ۳)

دارای حرکتِ شتابدار باشد (شکل ـ ۳). در این حالت نیروی اصطکاک می‌داند در همان جهت شتاب حرکت باید اثر کند تا سبب شتاب گرفتن قطعه همراه با صفحه شود. قبل از آنکه صفحه دارای حرکت شتابدار شود، هیچ نیروی افقی وجود ندارد. چگونه نیروی اصطکاک آگاه می‌شود که باید آشکار شود و چگونه آگاه می‌شود که در کدام جهت باید اثر کند؟

کوشش کنید این آزمایشهای ساده را در کلاس انجام دهید و از دانش‌آموزان بخواهید به پرسش‌های شما پاسخ دهند. آنها می‌توانند دربارهٔ این پرسش‌ها به عنوان تکلیف، یا برای به بحث گذاشتن در گروه‌های کوچک و سپس در کلاس فکر کنند. بدون تردید توضیحات عجیب و غریب انسانمدارانه برای درک پدیده‌های فیزیکی جالب توجه، به ما کمک نمی‌کنند. هنگامی که توضیحات ساده باشند معمولاً در کتابهای درسی متداول یا نوشته‌های آموزشی به بحث گذاشته نمی‌شوند.

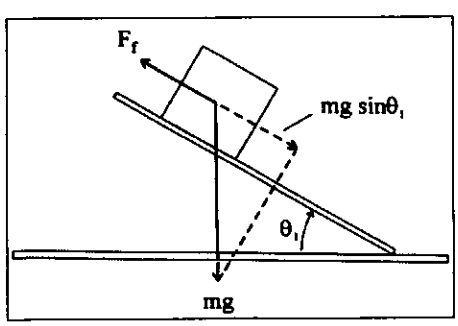
نیروی اصطکاک هنگامی که در مقیاس اتمی و با استفاده از مکانیک کوانتومی بررسی شود مسلماً پدیده‌ای پیچیده خواهد بود. این نیرو به ماهیت و ساخت هر دو سطح مانند آلودگی و رطوبت روی آنها و غیره بستگی دارد. امّا بدون در نظر گرفتن این جزئیات دشوار، اساس بنیادی نیروی اصطکاک پیوندهای اتمی میان اتمهای دو سطح نزدیک به هم است. احتمالاً پیوندها را به طور کاملاً دقیقی می‌توان محاسبه کرد، امّا یک الگوی کلاسیک، بسیار ساده را برای اهداف کیفی می‌توان به کار برد. این الگو کاملاً ماهیت اتمی پیوندها را مشخص می‌کند که برای بحث ما ضروری است. بنابراین در این مقاله دربارهٔ محاسبه پیوندها، پرسشی عنوان نمی‌کنیم.

یک الگو

تصور کنید که حلقه‌های لاستیکی نقش پیوند میانِ اتمهای سطوح را عهده‌دار باشند. قطعه‌های کوتاه از مواد کشسان که اتمی از دو سطح را اتمی از قطعه متصل می‌کنند. یعنی میان دو سطح میلیاردها میلیارد اتصال کشسانی وجود دارد. هم‌چنین فرض کنید حلقه‌ها با نیروی کافی می‌توانند پاره شوند، امّا آنها بار دیگر به آسانی و به سرعت می‌توانند متصل شوند.

کشش حلقه‌های کشسانی میکروسکوپیک (پیوندهای شیمیایی) باعث و بانی نیروی اصطکاک‌اند. تیزهوشی نیروی اصطکاک از اینجاست، همین و دیگر هیچ! مثال اوّل را در نظر بگیرید، قطعه روی صفحه در حال سکون است. همهٔ حلقه‌های میان اتمهای صفحهٔ افقی و قطعه، به طور درهم و برهمی متصل شده‌اند. بنابراین برآیندبرداری این نیروهای میکروسکوپیک برابر با صفر است. به طور کلی اگر اتمهای یک سطح روی اتمهای سطح صاف دیگری قرار گیرند و اتمها با حلقه‌های لاستیکی میکروسکوپیک به هم متصل باشند هیچ جهت افقی برتری وجود ندارد. بنابراین برآیند نیروهای حاصل از همهٔ کشش‌های میکروسکوپیک برابر صفر است.

اکنون حالتی را که صفحه را به اندازهٔ زاویه θ_1 کج کرده‌ایم بررسی می‌کنیم (شکل ـ ۴). برآیند نیروها در امتداد سطح و برابر با $mgSin\theta_1$ است، بنابراین قطعه حرکتی شتابدار به طرف پائین سطح خواهد داشت. امّا صبر کنید! می‌بینیم قطعه شتابی پیدا نمی‌کند و بدون حرکت در

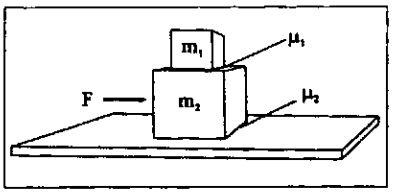


(شکل ـ ۴)

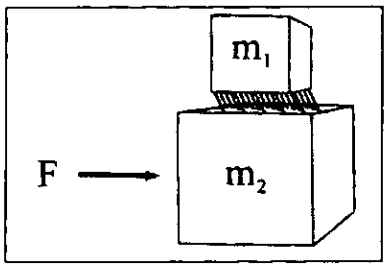
حال سکون روی سطح باقی می‌ماند. امّا اظهارنظر ما اشتباه است! قطعه حرکت می‌کند و باید حرکت کند. با دقت نگاه نکرده‌ایم. قطعه به حدّ کافی حرکت می‌کند تا پیوندهای شیمیایی که شبیه حلقه‌های کشسانی هستند، نیروی اصطکاکی روی قطعهٔ متحرک ایجاد کنند که در خلاف جهت حرکت (جابه‌جایی) آن است. این وضعیت کاملاً مشابه حالتی است که هنگام کشیدن حلقهٔ لاستیکی روی می‌دهد. حلقه نیرویی مساوی و مخالفِ جهت، به نیرویی که باعث کشش آن شده است وارد می‌کند.

نکته‌ای که معمولاً در کتابهای فیزیک هنگام بحثِ نیروی اصطکاک ایستایی حذف می‌شود این است: پیش از اینکه نیروی اصطکاک ایجاد شود و حرکت قطعه را متوقف کند، قطعه در فاصله‌ای باید حرکت کند هرچند این فاصله میکروسکوپیک باشد. احتمالاً بدون حرکت، نیروی اصطکاکی وجود نخواهد داشت. در واقع، این مغز متفکر نیروی اصطکاک باهوش ماست که با جابه‌جایی قطعه، برای کارکردِ آن نیرو جهت‌های یگانه‌ای (منحصر به فردی) را ایجاد می‌کند.

اکنون که با این الگو آشنا شدیم، آزمایشهای دیگر را می‌توانیم توضیح دهیم. وضعیت نشان داده شده در شکل (۲) را در نظر بگیرید. هنگامی که صندوق را هُل می‌دهیم حرکت می‌کند و جابه‌جایی آن را به کمک یک تداخل‌سنج نوری مناسب می‌توان اندازه گرفت. صندوق را هرچه بیشتر هُل دهیم جابه‌جایی میکروسکوپیک بزرگتر و در نتیجه نیروی اصطکاک هم بزرگتر می‌شود. اگر موفق شویم به صندوق شتابی ماکروسکوپیک دهیم پیوندهای اتمی شکسته می‌شوند. در این زمان می‌توان تصور کرد که حلقه‌های پاره شده بار دیگر به سرعت به هم متصل می‌شوند. در این وضعیت نیروی اصطکاک ایجاد شده روی صندوق اثر می‌کند که از حرکت ماکروسکوپیک آن جلوگیری می‌کند. به یاد داشته باشیم که حرکت، جهت و میزان نیروی اصطکاک را تعیین می‌کند.



(شکل ـ ۵)



(شکل ـ ۶)

الگوی حلقهٔ لاستیکی نیروی اصطکاک وارد به هر دو سطح را نیز توضیح می‌دهد. یک دستگاه مکانیکی که توضیح و تحلیل آن برای دانش‌آموزان مشکل است در (شکل ـ ۵) نشان داده شده است. معمولاً دانش‌آموزان نیروی اصطکاک روی جرم m_1 را که به علت تماس سطحی با جرم m_2 بوجود آمده است درک می‌کنند، امّا آنها فراموش می‌کنند که همین نیرو به جرم m_2 در جهت مخالف نیز اثر می‌کند. اگر مرز مشترک میان جرم‌های m_1 و m_2 را رسم کنیم (شکل ـ ۶)، به خوبی آشکار می‌شود که حلقه‌ها دو نیرو ایجاد می‌کنند هرکدام روی یک سطح و جهت مناسبِ هر نیرو نیز مشخص می‌شود.

این الگو به دانش‌آموزان بدون تردید کمک می‌کرد اگر آنها می‌توانستند جابه‌جایی‌های میکروسکوپیک حلقه‌ها را واقعاً ببینند. امّا اندازه‌گیری جابه‌جایی‌ها به وسایل گران قیمت و ظریف نوری نیازمنداست که بیشترِ مدارس متوسطه هزینه تهیه آنها را ندارند. بهر حال، این الگو برای دانش‌آموزان مبتدی به آسانی می‌تواند تجسم‌پذیر باشد حتی اگر به شکل بسیار ساده‌ای طراحی شده باشد.

بنابراین به طور کلی نیروی اصطکاک هم، چندان باهوش نیست! آنچه هست تجلی پیوندهای شیمیایی میان دو سطح متقابل تقریباً به هم نزدیک است که می‌تواند با حلقه‌های لاستیکی در اندازه‌های اتمی مجسم شود. ساده است، امّا کشش آمدن و حرکت را که اصل موضوع است فراموش نکنید.

* پانوشت:
دربارهٔ نیروی عمودی که به قطعه اثر می‌کند چه باید گفت؟ این الگو ظاهراً نیروی عمودی را نمی‌تواند توضیح دهد. زیرا ما برهم‌کنش‌های رانشیِ بُرد کوتاه میان اتمها را باید در نظر بگیریم، در حالیکه در این الگو برهم‌کنش‌های ربایشی اتمها را به حساب آورده‌ایم.

* How Did Friction Get So "Smart"?

مرجع:
The Physics Teacher, January 2001, Volume 39, Number 1.

علم و خلاقیت

داگلاس سی. ژیان کولی
مترجم: احمد توحیدی

به طور کلی، هدف اصلی همهٔ علوم و از جمله فیزیک، جست وجو برای نظم دادن به مشاهدات دنیای پیرامون ما در نظر گرفته می شود. بیش تر مردم فکر می کنند که: «علم، فرآیندِ مکانیکی گردآوری واقعیت ها و ابداع نظریه هاست.» اما این طور نیست. ***علم فعالیت خلاقی است که از بسیاری لحاظ مانند دیگر فعالیت های ذهنِ خلاق بشری می باشد.***

مثال هایی را در این مورد ذکر می کنیم تا ببینید که چرا این موضوع حقیقت دارد. **مشاهدهٔ** رویدادها یک جنبهٔ مهم علم است؛ اما **مشاهده**، مستلزم **قدرت تخیل** نیز هست. توضیح دانشمندان نمی تواند شامل هر چیزی باشد که مشاهده می کنند؛ بلکه آنها باید داوری کنند که چه چیز در مشاهدات به موضوع مورد نظرِ آنها مربوط است. برای مثال، ببینید چگونه دو متفکر بزرگ **ارسطو** (۳۲۲ـ۳۸۴ق. م) و **گالیله** (۱۶۴۲ـ۱۵۶۴. م) حرکت در سطح افقی را تعبیر کردند. **ارسطو** خاطرنشان کرد که سرعت اجسام پس از اعمال نیروی اولیه روی زمین (روی میز) تا آنها کاملاً متوقف شوند، همواره کاهش می یابد. در نتیجه، ارسطو باور داشت که: «**سکون** حالت طبیعی اجسام است.»

گالیله، در اوایل دههٔ سال های ۱۶۰۰. م در بازنگری حرکت افقی اجسام فرض کرد: «اگر نیروی اصطکاک را بتوان حذف کرد، اجسام پس از به حرکت درآمدن در یک سطح افقی می توانند تا بینهایت بدون توقف به حرکت خود ادامه دهند.»

گالیله نتیجه گرفت که حرکت هم مانند سکون، حالت طبیعی اجسام است. گالیله با این کشف، دیدگاه جدیدی نسبت به حرکت را پایه گذاری کرد. این کار به کمک تخیل صورت گرفت. گالیله این جهش ذهنی را بدون آن که واقعاً نیروی اصطکاک را حذف کند، انجام داد.

مشاهده، آزمایشِ دقیق و اندازه گیری یک جنبهٔ فرآیند علمی هستند. جنبهٔ دیگر آن، ابداع نظریه ها برای توضیح نظم مشاهدات است. نظریه ها هرگز به طور مستقیم از مشاهدات به دست نیامده اند؛ بلکه حاصلِ الهام هایی هستند که سرچشمهٔ آنها در ذهن بشر است. برای مثال، فکر این که: «مواد از اتم ها ساخته شده اند!» (نظریه اتمی) به خاطر این که کسی اتم ها را دید، ابداع نشد؛ بلکه حاصل فکر بکری بود که به ذهن خلاق بشر خطور کرد. **نظریهٔ نسبیت**، **نظریهٔ الکترومغناطیسی نور** و **قانون گرانش عمومی نیوتون**، همگی پیامدهای قدرت تخیل بشری هستند.

نظریه های بزرگِ علوم را به عنوان دستاوردهای سازنده می توان با شاهکارهای هنر و ادبیات مقایسه کرد. اما چه تفاوتی میان فعالیت علمی با دیگر فعالیت های خلاق وجود دارد؟

یک تفاوت مهم این است که «علم، مستلزم آزمودن اندیشه و نظریه ها است.» اما باید ببینیم که: «آیا پیش بینی های آن با آزمایش سازگار است.»

اگرچه با آزمودن نظریه های علمی می توان آنها را از دیگر زمینه های بدیع تشخیص داد، اما نباید تصور کرد که با آزمودن نظریه ای، آن را اثبات کرده ایم؛ زیرا همهٔ وسایل اندازه گیری کامل نیست. بنابراین، تأیید کامل نظریه امکان پذیر نیست. افزون براین، امکان ندارد که بتوان یک نظریه را در مجموعه ای از شرایط ممکن آزمود. بنابراین، یک نظریه را نمی توان به طور مطلق اثبات کرد. در واقع، معمولاً نظریه ها خودشان کامل نیستند. یک نظریه به ندرت در تمام مواردی که آزموده می شود و در محدودهٔ خطای آزمایش، کاملاً با آزمایش سازگاری دارد. با توجه به تاریخ علم می بینیم که گاهی نظریهٔ جدیدی جایگزین یک نظریهٔ قدیمی شده است. فرآیند جایگزینی یک نظریه با نظریهٔ دیگر، موضوعِ مهمی در فلسفهٔ علم است که ما در این مقاله، به طور مختصر می توانیم به آن بپردازیم.

دانشمندان، یک نظریهٔ جدید را در بعضی از موارد می پذیرند؛ زیرا پیش بینی های آن از نظر کمّی نسبت به نظریهٔ قدیمی با آزمایش ها سازگاری بهتری دارد. اما در بیش تر موارد، یک نظریه به این دلیل پذیرفته می شود که به تنهایی می تواند بهتر از نظریهٔ پیشین گستردهٔ وسیع تری از پدیده ها را توجیه کند. برای مثال، **نظریهٔ خورشید مرکزی کوپرنیک** اصولاً به لحاظ پیش بینی حرکت های اجسام سماوی دقیق تر از **نظریهٔ زمین مرکزی بطلمیوسی** نبود؛ اما نظریهٔ کوپرنیک پیامدهایی داشت که نظریهٔ بطلمیوس فاقد آن بود؛ برای مثال، پیش بینیِ اَهِله سیارهٔ زهره. این نظریه برای دانشمندان، بسیار ساده و پُربار است که هم می تواند شامل پدیده های بیش تری باشد و هم می تواند آن ها را مفیدتر و زیباتر توضیح دهد. جنبه های بالا به اضافهٔ سازگاری کمّیِ یک نظریه، نقش مهمی در پذیرش آن دارد.

این که یک نظریه بخوبی بتواند پدیده ها را به صورت کمّی پیش بینی کند، اهمیت بسیار دارد. بنابراین، از این دیدگاه غالباً یک نظریهٔ جدید پیشرفته تر از نظریهٔ قدیمی به نظر می رسد. برای مثال، **نظریهٔ نسبیت اینشتین** تقریباً در همهٔ شرایط عادی، پیش بینی هایی می کند که اندکی با **نظریه های پیشین گالیله و نیوتون** متفاوت است. پیش بینی های نظریهٔ نسبیت در حالت جدی، یعنی در سرعت های نزدیک به سرعت نور، عمدتاً بهتر است. از این لحاظ، نظریهٔ نسبیت باید تنها نظریهٔ سازگارتر از نظریه های پیشین درنظر گرفته شود. اما پیش بینی کمّی، تنها پیامد مهم یک نظریه نیست؛ بلکه بر دیدگاه ما از جهان نیز تأثیر می گذارد. برای مثال، **نظریهٔ نسبیت اینشتین** تصور ما را از فضا و زمان تغییر داد و ما به این نتیجه رسیدیم که جرم و انرژی، جوهرهای یگانه ای هستند (با معادلهٔ معروف انیشتین $E=mc^2$). در واقع، هنگامی که نظریهٔ نسبیت پذیرفته شد، نگرش ما هم از جهان تغییر کرد.

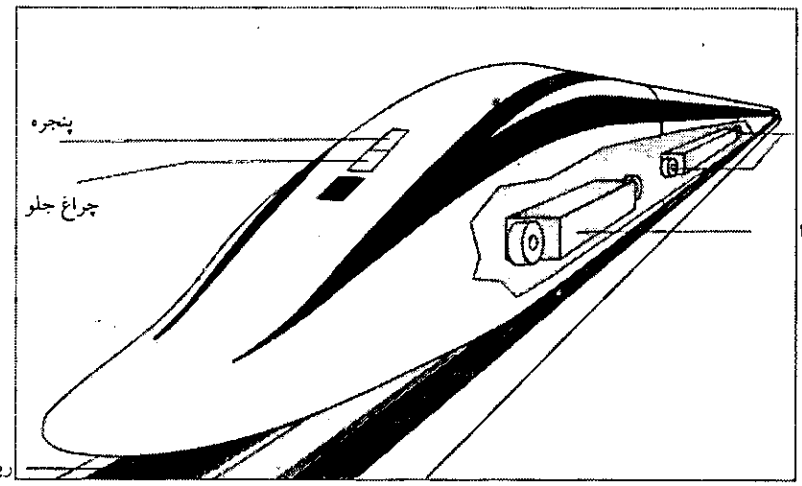
زیرنویس

1. Science and Creativity

مرجع

-Douglas c. Giancoli/physics, 5 th ed. (Psenticce Hall International, Inc.). PP2-4.

نوشتهٔ: بولوم فیلد
مترجم: مریم عباسیان



قطارهای پرندهٔ مغناطیسی

درحالی‌که هواپیماهای جت هنوز اغلب مسافران را بین شهرها جابه‌جا می‌کنند، قطارهای جدید در مسافتهای متوسط بیشتر از جتها مورد استفاده قرار می‌گیرند. از قطارهای بسیار سریع در چند کشور استفاده می‌شود که مسافران خود را با سرعتی حدود ۲۰۰ km/h جابه‌جا می‌کنند. اگرچه، اثر متقابل مکانیکی قطار و ریلهای آن بیشینه سرعت آن‌را محدود می‌کند. نسل بعدی قطارهای فوق‌العاده سریع احتمالاً برفراز ریلها بربالشی از نیروی مغناطیسی پرواز خواهند کرد.

پرسشهای تفکر برانگیز: چرخهای قطار چه نیرویی به ریلها وارد می‌کنند و چرا این نیروها هرچه قطار سریعتر برود بزرگتر می‌شوند؟ اگر دو آهنربا باجهتگیری مناسب، همدیگر را دفع کنند چگونه می‌توان از آنها برای حفظ قطار استفاده کرد؟ چگونه می‌توان قطار را با دو ماده مغناطیسی که یکدیگر را جذب می‌کنند حفظ کرد؟ چگونه نیروی مغناطیسی روبه‌بالای وارد بر قطار برحسب ارتفاع تغییر کند که قطار در فاصلهٔ خاصی معلق بماند؟ اگر نیرو اشتباهاً تغییر کند چه اتفاقی برای قطار خواهد افتاد؟

آزمایشهایی که باید انجام داد: آهنرباهای دایمی اسباب‌بازیهای عجیبی هستند. اینکه دو جسم در خلاء در فاصله‌های کم یکدیگر را جذب یا دفع کنند چیز بسیار قابل تحسینی است. با دو آهنربای قوی برای احساس اینکه نیروی بین آنها چگونه عمل می‌کند بازی کنید. آهنرباهای دایره‌ای‌شکلی که به یخچال می‌چسبند از بهترین و ساده‌ترین نوع هستند درحالی‌که بعضی دیگر، مانند آهنرباهای میله‌ای قابل انعطاف، پیچیدگیهای ظریفی دارند. شما درمی‌یابید که دو قرص در یک حالت همدیگر را دفع می‌کنند اما وقتی یک قرص را در اطراف می‌چرخانید همدیگر را جذب می‌کنند. هرچه به هم نزدیکتر باشند نیروها قویتر هستند. سعی کنید یک آهنربا را بر اثر دافعه روی آهنربای دیگر معلق نگه دارید. آیا موفق می‌شوید؟ در واقع امکان‌پذیر نیست. چرا نه؟ حالا سعی کنید که توسط جاذبه یک آهنربا را حدود ۱ cm پایین آهنربای دیگر نگه دارید. آیا شانسی داشته‌اید؟ این‌بار نیز ممکن نیست. بدیهی است که تعلیق مغناطیسی چندان آسان نیست.

نیاز به پرواز مغناطیسی

□ شیمیدان و فیزیکدان انگلیسی مایکل فاراده (۱۷۹۱-۱۸۶۷) در ۱۴ سالگی با آموزش ابتدایی شاگرد صحاف شد. در ۲۱ سالگی، دستیار آزمایشگاهی همفری دیوی، شیمیدان معروف شد. تجربیات فاراده در الکتروشیمی و آگاهی او از کار اورستد و آمپر سبب شد به این فکر بیفتد که، اگر الکتریسیته می‌تواند عامل مغناطیس باشد، پس مغناطیس هم باید قادر به ایجاد الکتریسیته شود. او با آزمایشهای دقیق، چنین خاصیتی را یافت. در پایان دورهٔ کاری خود فاراده سخنران مشهوری در مورد علم شد و تلاش ویژه‌ای برای ایجاد ارتباط با کودکان انجام داد.

قطارها کمابیش همانند اوایل قرن نوزدهم کار می‌کنند. واگنها هنوز روی چرخهایی به پیش می‌روند، که اصطکاک بین لوکوموتیوها و ریلهای زیر آن عامل به پیش راندن آن است. اما در حالی که این مدل در سرعتهای زیر ۱۶۰ km/h خوب کار می‌کند، دو مشکل جدی در سرعتهای بالا پدید می‌آید.

اولاً، قطار سریع، مشکل بغرنج ریل رفتن را دارد زیرا زمان کمی را برای بالا، پایین، چپ یا راست رفتن دارد. تغییر سریع جهت سرعت، شتاب سریع لازم دارد که متضمن تولید نیروهای قوی بین ریلها و چرخهاست. برای به‌حداقل رساندن نیروها و شتابها ریلها باید مستقیم و بینهایت هموار و باخمیدگی تدریجی باشند. اما حتی ریلهایی که بادقت بسیار ساخته شده‌اند، ضربه‌هایی را از چرخها دریافت می‌کنند و صدا و لرزش و استهلاک مکانیکی دارند. ریلها و چرخهای مربوط به سرعتهای بالای ۳۲۰ km/h باید دایماً عوض شوند بنابراین هزینه نگهداری مقرون به صرفه نیست.

دوم، مقاومت هوا در سرعتهای بالا آنقدر زیاد می‌شود که کشش بین چرخهای لوکوموتیو و ریلها برای به‌جلو راندن قطار کافی نیست. قطار نمی‌تواند سرعت حرکت خود را تنها با اصطکاک حفظ کند و همچنین نمی‌تواند فقط با استفاده از اصطکاک به سرعت متوقف شود. تنها به‌دلایل ایمنی در مسافرتهای ریلی متداول، سرعت نباید از ۳۲۰ km/h تجاوز کند.

برای غلبه بر این محدودیتها، فن‌آوری جدیدی برای قطارهای فوق‌العاده سریع توسعه یافته است. بجای حرکت روی ریلهای فلزی این قطارهای جدید توسط نیروهای مغناطیسی روی ریلهایشان معلق هستند. چون این قطارهای معلق مغناطیسی یا قطارهای مگ‌لو[1] ریلها را لمس نمی‌کنند، نیازی نیست که ریلها خیلی هموار باشند. قطارها روی بالشهای مغناطیسی به پیش می‌روند.

پیشرانش متداول به درد قطارهای مگ‌لو نمی‌خورد، زیرا ریل یا اصطکاکی وجود ندارد. در عوض، یک قطار مگ‌لو از موتور الکتریکی خطی استفاده می‌کند که در آن آهنرباهای موجود در قطار، به آهنرباهای روی ریل نیرو وارد می‌کنند. این آهنرباها معمولاً قطار را به جلو می‌رانند، اما همچنین می‌توانند قطار را برای ترمز کردن به عقب نیز برانند.

درک خود را امتحان کنید #۱ : قطارهای ضربتی
یک ریل مستقیم ناهمواری کوچکی دارد. در هنگام عبور از این ناهمواری بر قطار نیرویی به سمت بالا وارد می‌شود که از نیروی وزن آن به سمت پائین تجاوز می‌کند. این نیرو بر حرکت قطار چه تأثیری دارد؟

نگه داشتن قطار با نیروهای مغناطیسی

□ خودآموخته قبل از انقلاب فرانسه، که در طول آن پدرش محکوم به مرگ شد، آندره ماری آمپر (۱۷۷۵ـ۱۸۳۶) در سال ۱۷۹۶ معلم علوم شد. او قبل از استخدام در دانشگاه پاریس در سال ۱۸۰۴ به عنوان معلم فیزیک یا ریاضی در چندین شهر کار کرد. در ۱۸۲۰، فقط یک هفته بعد از آگاهی از آزمایش اورستد که نشان می داد جریان الکتریکی باعث انحراف عقربهٔ آهنربا می شود، بررسی کامل این موضوع را چاپ کرد. بدیهی است او مدت زیادی در مورد این نظریه ها فکر می کرده است.

قطار مگ‌لو به‌جای پیشروی روی چرخها، درحالت تعلیق مغناطیسی بر فراز ریلها حرکت می‌کند. آهنرباهای موجود در قطار و ریل نیروهایی به یکدیگر وارد می‌کنند و بدون تماس مستقیم قطار را نگاه می‌دارند. اما مغناطیس چیست و نیروهای بین آهنرباها چه هستند؟

مغناطیس پدیده‌ای بسیار شبیه به الکتریسیته است. همان‌طور که بارهای الکتریکی و نیروهای الکترواستاتیک بین آنها وجود دارند بارهای مغناطیسی و نیروهای مگنتواستاتیک بین آنها موجودند. برای بازشناختن مغناطیس از الکتریسیته بارهای مغناطیسی را، قطبهای مغناطیسی می‌نامیم. دو نوع قطب، شمال و جنوب، وجود دارند و قطبهای همنام یکدیگر را دفع می‌کنند. درحالی که قطبهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند. نیروی بین قطبها بادور شدن از هم ضعیف می‌شوند و باعکس مربع فاصله بین آنها متناسب هستند.

چون قطبهای همنام یکدیگر را دفع می‌کنند، ممکن است فکر کنیم که به‌آسانی می‌توان باقرار دادن قطبهای شمال در قطار و در ریلها آن را معلق ساخت. اما این نظریه به‌دو دلیل ناممکن است. اول، تک‌قطبی مغناطیسی وجود ندارد و دوم، اگر هم وجود داشته باشد، قطار به‌زودی از بالش مغناطیسی پایین خواهد افتاد.

مشکل اول فرق مهم بین الکتریسیته و مغناطیس را آشکار می‌سازد. درحالی که ذرات ریز اتمی که حامل بار الکتریکی مثبت یا منفی هستند شناخته شده‌اند اما ذرات حامل قطب مثبت یا منفی مغناطیسی هرگز یافته نشده‌اند. حتی معلوم نیست که چنین تک‌قطبیهای مغناطیسی در طبیعت وجود داشته باشند. اما اگرچه تک‌قطبیهای مغناطیسی در دسترس نیستند، دوقطبی‌های مغناطیسی وجود دارند. این زوجها که متشکل از قطبهای مثبت و منفی به‌میزان یکسان هستند، از یکدیگر به‌ترتیبی که دوقطبی مغناطیسی نامیده می‌شود جدا شده‌اند. چون دو قطب مخالف اندازهٔ یکسان دارند، همدیگر را خنثی می‌کنند، و قطب مغناطیسی خالص دوقطبی صفر می‌شود.

این دوقطبیهای مغناطیسی را نمی‌توان از قطبهای خالص مغناطیسی ساخت. پس باید از چیز دیگری به‌وجود آمده باشند: الکتریسیته و مغناطیس رابطهٔ نزدیکی باهم دارند، یعنی علاوه‌براینکه به‌هم شبیه هستند، واقعاً یکدیگر را نیز به‌وجود می‌آورند. پدیده‌های الکتریکی می‌تواند پدیده‌های مغناطیسی را به‌وجود آورد و برعکس.

الکتریسیته و مغناطیس با میدانهایشان به‌هم مربوط می‌شوند: همان‌طور که میدان الکتریکی بربار الکتریکی نیرو وارد می‌کند میدانهای مغناطیسی هم نیرویی به‌قطب مغناطیسی وارد می‌کنند. میدان مغناطیسی در نقطهٔ خاصی از فضا مقدار و جهت نیرویی را که به‌قطب مثبت خالص در آنجا وارد می‌شود بیان می‌کند (اگر قطب خالص مغناطیسی وجود داشته باشد).

دو پدیده الکتریکی میدان مغناطیسی را به‌وجود می‌آورند: بارالکتریکی متحرک و میدان الکتریکی متغیر برحسب زمان. ارتباط بین بارالکتریکی متحرک و میدانهای مغناطیسی را فیزیکدان دانمارکی هانس کریستین اورستد (۱۷۷۷ـ۱۸۵۱) در سال ۱۸۲۰

کشف کرد و در طول ۷ سال بعد □ آندره‌ماری آمپر آن را بررسی کرد. ارتباط بین میدان الکتریکی متغیر و میدان مغناطیسی در سال ۱۸۶۵ توسط فیزیکدان اسکاتلندی جیمز کلارک ماکسول (۱۸۳۱ـ۱۸۷۹) به نظریهٔ کامل الکترومغناطیس او اضافه شد.

مهمترین چشمهٔ میدانهای مغناطیسی برای قطارهای معلق، بارالکتریکی متحرک است که جریان الکتریکی نامیده می شود. جریانهای الکتریکی مغناطیس هستند، به‌این معنی که وقتی جریان الکتریکی از سیم به صورت «الکتریسیته» عبور کند و یا در هوا به‌صورت جرقه بجهد، میدان مغناطیسی تولید می‌کند. ساختار این میدان مغناطیسی می‌تواند پیچیده باشد، اما ترتیبهای خاصی وجود دارند که میدان مغناطیسی ساده تولید می‌کنند.

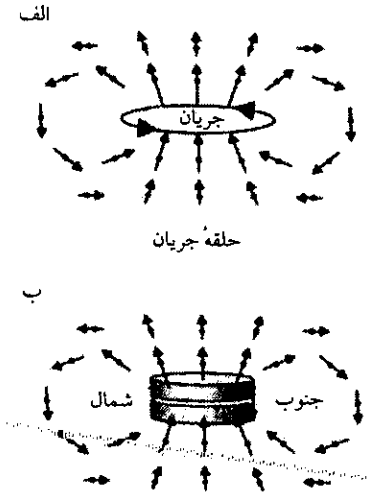
یکی از این ترتیبها یک حلقهٔ جریان است. وقتی جریان در حلقهٔ سیمی جریان می‌یابد، میدان مغناطیسی متقارن مانند شکل ۱ـ الف به‌وجود می‌آورد. این میدان درست شبیه میدانی است که دو قطب مغناطیسی مخالف که در فاصلهٔ کمی از هم قرار دارند به‌وجود می آورد (شکل ۱ـ ب) اگر شما نبینید که چه‌چیز میدان را به‌وجود آورده است نمی‌توانید آنها را از هم تمیز دهید، بنابراین حتی بدون قطب خالص مغناطیسی، می‌توان دو قطبی مغناطیسی به‌وجود آورد.

یک دو قطبی حلقهٔ جریان درست مانند یک دو قطبی است که با تک قطبیهای مغناطیسی منزوی به‌وجود آمده باشد. شما حتی می‌توانید تصور کنید که حلقه دارای قطب شمال در یک طرف و قطب جنوب در طرف دیگر است. اگر شما دو تا از این آهنرباها را در نظر بگیرید و آنها را طوری قرار دهید که قطبهای همنام نزدیک باشند، همدیگر را دفع می‌کنند. اگر قطبهای مخالف نزدیک هم باشند همدیگر را جذب می‌کنند و اگر باهم زاویه‌ای بسازند، همدیگر را وادار به‌چرخش می‌کنند.

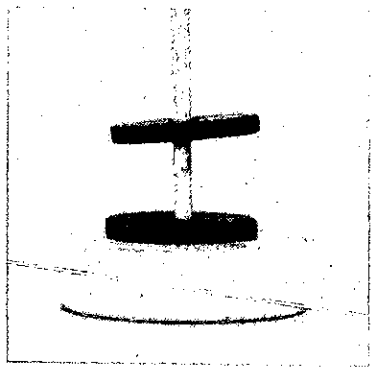
حتی در آهنرباهای دائمی هم با استفاده از جریانها میدانهای مغناطیسی را به‌وجود می‌آورند. همان‌طور که می‌دانیم الکترونها دارای یک ویژگی درونی به‌نام اسپین هستند و این اسپین وابسته به‌تکانهٔ زاویه‌ای است. در واقع، الکترونها ذرات باردار با حرکت اسپینی هستند و مانند حلقه‌های کوچک حاملِ جریان الکتریکی عمل می‌کنند. آنها آهنرباهای دو قطبی هستند! در بیشتر مواد، این مغناطیدگی پنهان است، زیرا الکترونها در تمام جهتها می‌چرخند و میدان الکتریکی آنها همدیگر را خنثی می‌کنند. اما در بعضی مواد مغناطیسی این خنثی شدن صورت نمی‌گیرد و می‌توان از آنها برای ساختن آهنرباهای دائمی استفاده کرد. یک آهنربای دائمی واقعی دارای قطب شمال در یک طرف و قطب جنوب در طرف دیگر است، که هر دو توسط الکترونهای چرخان تولید شده‌اند.

نیروهای بین آهنرباهای دو قطبی می‌توانند فوق‌العاده قوی باشند. اگر روی ریل و زیر قطار را با دو قطبی مغناطیسی طوری بپوشانید که قطبهای همنام روبه‌روی همدیگر قرار بگیرند، هر دو یکدیگر را دفع می‌کنند. این دافعه هرچه که قطار به‌ریل نزدیکتر شود قویتر خواهد شد و ممکن است حتی از وزن قطار نیز تجاوز کند. در این صورت قطار به طرف پایین شتاب نمی‌گیرد و می‌تواند به صورت معلق بالای ریل روی بالشی مغناطیسی باقی بماند. این تعلیق مغناطیسی است.

متأسفانه، حداقل دو مشکل در رابطه با این مدل تعلیق ساده وجود دارند. اولاً ریلی



شکل ۱ـ الف میدان مغناطیسی اطراف یک حلقهٔ سیمی حامل جریان از حلقه به‌طرف خارج است و در اطراف حلقه پائین می‌آید. پیکان روی هر نقطه اندازه و جهت نیروی وارد به‌قطب شمال در آن نقطه را بیان می‌کند. (ب) میدان تولید شده توسط دو قطب منزوی مغناطیسی که روی هم قرار گرفته‌اند.



شکل ۲. این دو آهنربای به‌شکل قرص همدیگر را دفع می‌کنند، چون قطبهای شمال هر دو روبه‌روی هم است. اگرچه، میله برای جلوگیری از افتادن قرص بالایی از روی بالش مغناطیسی که آن را نگه می‌دارد لازم است.

که باآهنربا پوشیده شده، مواد مغناطیسی مثل آهن و فولاد را جذب خواهد کرد و پاک کردن آن به یک کابوس می‌ماند. اما مهمتر از آن، آهنربای معلق روی ÷آهنربای دیگر لزوماً ثابت نیست (شکل ۲). در حالی که ممکن است در بعضی موارد خاص به پایداری دینامیکی برسیم، در اغلب موارد (شکل ۳) قطار قادر به‌این کار نیست. درعوض، قطار ممکن است از لبه‌ها به‌پایین بلغزد، درست مانند تیله‌ای که روی سطح کروی قرار گرفته و مایل است به اطراف بچرخد تا به‌زمین برسد.

درک خود را امتحان کنید #۲: دونیمه یکی می‌شود

یک آهنربای دائمی به‌شکل قرص دارید. سطح بالایی قطب شمال و سطح پائینی قطب جنوب آن است. اگر آهنربا را به‌دو نیم‌دایره تقسیم کنیم، این دو قطعه همدیگر را پس می‌زنند. چرا؟

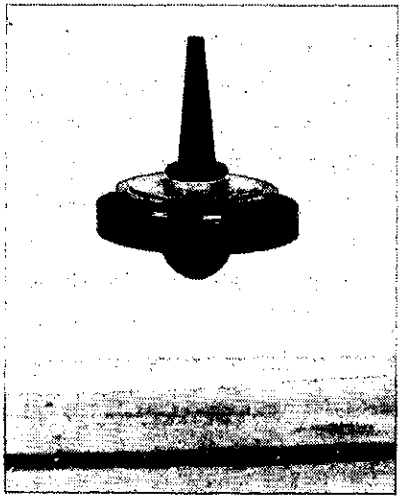
پایداری و فیدبک (پس خوراند)

قطاری که توسط آهنرباهای دائمی نگه داشته شده است در حالت تعادل ناپایدار است. همان‌طور که می‌دانیم برآیند نیروی وارد به‌جسم در حالت تعادل صفر است و درنتیجه شتاب نمی‌گیرد. اگر تعادل از نوع پایدار باشد، جسم طبیعتاً بعداز اختلال به‌حالت تعادل برخواهد گشت زیرا نیروهای بازگرداننده آن را به‌عقب برمی‌گرداند (شکل ۴ـ الف). اما وقتی تعادل ناپایدار است جسم مختل شده به‌حالت تعادل برنخواهد گشت زیرا نیرویی به‌آن وارد می‌شود که آن را از حالت تعادل دور می‌کند (شکل ۴ ـ ب).

قضیه‌ای در فیزیک (قضیهٔ ارنشاو) وجود دارد که بنابه‌آن هیچ ترتیبی از بارهای الکتریکی نمی‌تواند فقط درنتیجهٔ نیروهای الکترواستاتیک درحال تعادل باشد. همین‌طور هیچ آرایشی از قطبهای مغناطیسی فقط در نتیجهٔ نیروهای مگنتواستاتیک نمی‌تواند درحال تعادل باشد. پس بدون توجه به‌اینکه چگونه آهنرباهای دایمی را روی ریل و قطار قرار دهید، قطار در تعادل ناپایدار خواهد بود. درحالی‌که دافعه بین آ÷هنرباها می‌تواند قطار را در ارتفاع ثابتی نگه دارد (شکل ۵)، حرکت قطار به‌دو طرف ناپایدار است. اگر قطار کاملاً روی ریل قرار نگرفته باشد نیروی دافعه آن را به‌اطراف می‌راند و قطار از روی بالش مغناطیسی پائین می‌افتد.

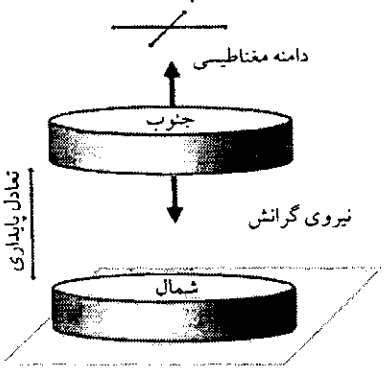
شاید به‌نظر برسد که ترتیب هوشمندانهٔ آهنرباهای دائمی می‌تواند قطار را در حالت تعادل نگه دارد. اما نمی‌تواند از قضیه ارنشاو اجتناب کرد. برای نگه داشتن قطار درست در بالای ریل، باید باقطع و وصل کردن تعدادی ازآهنرباها آن را درآنجا نگه دارید. چون میدانهای مغناطیسی را جریانهای الکتریکی به‌وجود می‌آورند، می‌توانید آهنرباها را باقطع کردن جریان آنها قطع کنید.

چون قطع جریانهای داخل آهنرباهای دائمی دشوار است، به‌آهنرباهای الکتریکی



شکل ۳. این فرفره مغناطیسی که درحال حرکت چرخشی است روی آهنربای دفع‌کنندهٔ‌ای که داخل سطح چوبی مخفی است ثابت می‌ماند. پایداری دینامیکی فرفره شامل اثرات ژیروسکپی است که می‌تواند برای قطارهای مگ‌لو غیرعملی باشد.

شکل ۴ـ الف به‌توپی که از حال تعادل پایدارش منحرف شده است نیروی بازگرداننده‌ای وارد می‌شود که آن را به‌حالت تعادل برمی‌گرداند. (ب) توپی که از تعادل ناپایدار منحرف شده است به‌حالت تعادل بازنمی‌گردد.



شکل ۵ . اگر از دافعهٔ بین آهنرباهای دائمی برای معلق نگه داشتن قطار بر روی ریل استفاده شود، ارتفاع قطار پایدار باقی می‌ماند ولی وضعیت افقی آن چنین نیست. اگر قطار کاملاً در مرکز قرار نداشته باشد، نیروهای دافعه قطار را به اطراف خواهد راند تا وقتی که بیفتد.

احتیاج خواهید داشت. یک آهنربای الکتریکی پیچه‌ای از سیم است که فقط وقتی جریان الکتریکی از آن می‌گذرد مغناطیسی می‌شود (شکل ۶). برای قویتر کردن بیشتر آهنربای الکتریکی معمولاً سیم آن را دور آهن یا ماده مغناطیسی دیگری می‌پیچند. پس الکترونهای چرخان آهن باهم دریک خط قرار می‌گیرند و میدان مغناطیسی پیچه را تقویت می‌کنند.

برای پایدار نگه داشتن قطار، یک سیستم کنترلی باید وضعیت قطار را دیدبانی کند و باتوجه به آن آهنرباهای الکتریکی را تنظیم کند. این روش استفاده از اطلاعات درباره وضعیت جریان، برای کنترل چگونگی موقعیت فیدبک نامیده می‌شود. از فیدبک اغلب در مهندسی برای به پایداری رساندن سیستمهایی که ذاتاً ناپایدار هستند و اصلاح راههای پاسخگویی به محرکهای خارجی استفاده می‌شود. فیدبک می‌تواند عملاً نیروهای بازگرداننده‌ای به وجود آورد که به طور طبیعی وجود ندارد. بعضی از قطارهای مگ‌لو برای متعادل کردن تعلیق مغناطیسی از فیدبک استفاده می‌کنند. (شکل ۸)

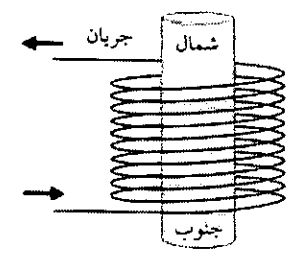
درک خود را امتحان کنید #۳: تعادل شکننده (ناپایدار)
چرا متعادل نگه داشتن یک جارو روی دست، وقتی که می‌توانید به‌جارو نگاه کنید آسانتر است؟

پرواز با جریان متناوب

استفاده از تثبیت فیدبک در بعضی قطارهای مگ‌لو به سیستم کنترلی بسیار پیچیده‌ای نیاز دارد و قطارها و ریلهای کاملی را می‌طلبد. اما روش مغناطیسی دیگری وجود دارد که می‌تواند نیروی بازگرداننده‌ای در تمام جهت‌ها اعمال کند و قطار را بدون هیچ سیستم کنترلی یا فیدبکی معلق نگه دارد. به‌جای گذاشتن آهنرباهای دائمی یا آهنرباهای الکتریکی در قطار و ریل، بعضی از قطارها برای مغناطیسی کردن موقتی سطح رسانا از القای الکترومغناطیسی استفاده می‌کنند.

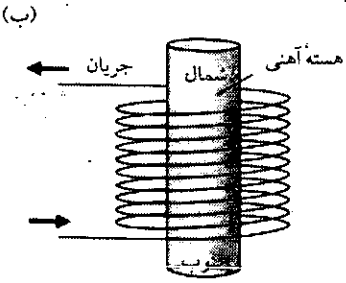
برای درک القایدگی به‌خاطر آورید که دوراه برای تولید میدان مغناطیسی وجود دارد: بارالکتریکی متحرک و میدان الکتریکی متغیر بازمان. مشاهدات مشابهی برای میدانهای الکتریکی وجود دارد؛ دو راه برای تولید میدان الکتریکی وجود دارد: بارالکتریکی متحرک و میدان مغناطیسی متغیر بازمان. می‌دانیم که بارالکتریکی میدان الکتریکی تولید می‌کند، اما اکنون می‌گوییم که این کار از میدان مغناطیسی متغیر نیز ساخته است. این اثر، که در سال ۱۸۳۱ توسط مایکل فاراده کشف شد، باعث می‌شود که مغناطیس، الکتریسیته تولید کند. چشمه‌های میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

(الف)



آهنربای الکتریکی ضعیف

(ب)

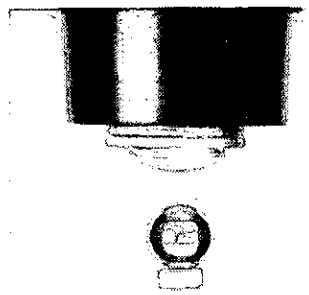


آهنربای الکتریکی قوی

شکل ۶ ـ الف وقتی جریان از یک پیچه عبور می‌کند، سیم‌پیچ یک آهنربای دو قطبی ضعیف می‌شود. جهت جریانهایی که از سیم‌پیچ می‌گذرند بستگی به این دارند که کدام سر شمال و کدامیک جنوب است. (ب) وقتی آهن داخل پیچه شود، الکترونهای چرخان آن با میدان مغناطیسی پیچه هم‌خط می‌شوند. آهن یک آهنربای دو قطبی قوی می‌شود.

جدول ـ۱ . چشمه‌های میدانهای الکتریکی و مغناطیسی

چشمه میدانهای الکتریکی	چشمه میدانهای مغناطیسی
بارهای الکتریکی	بارهای الکتریکی متحرک
میدانهای مغناطیسی متغیر	میدانهای الکتریکی متغیر



شکل ۷ . این توپ و آهنربا توسط آهنربای الکتریکی بالای آنها در هوا معلق هستند . یک سیستم کنترل از نور برای تعیین موقعیت توپ استفاده می‌کند . سپس شدت آهنربای الکتریکی را برای شناوری توپ در ارتفاع ثابت تنظیم می‌کند .

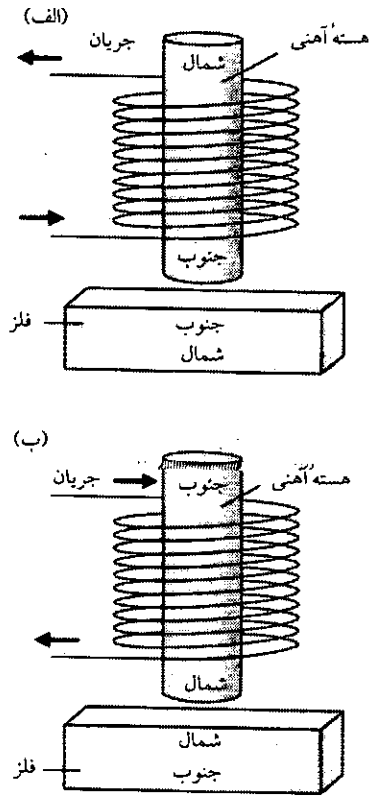
با دانستن این مطلب که میدان مغناطیسی متغیر میدان الکتریکی به‌وجود می‌آورد ، در مورد اینکه وقتی میدان مغناطیسی داخل رسانای الکتریکی تغییر کند چه رخ می‌دهد فکر کنید . میدان مغناطیسی متغیر یک میدان الکتریکی تولید می‌کند که به بارهای الکتریکی آزاد رسانا نیرو وارد می‌کند . این بارها شروع به حرکت می‌کنند و جریان الکتریکی به‌وجود می‌آورند . این فرایند که در آن میدان مغناطیسی یک جریان الکتریکی القا می‌کند ، القای الکترومغناطیسی است . چون بار الکتریکی متحرک میدان مغناطیسی تولید می‌کند ، این جریان الکتریکی ماهیتاً مغناطیسی است . یک میدان مغناطیسی متغیر ، رسانای الکتریکی را به آهنربا تبدیل می‌کند! پس ، اگر شما یک آهنربای الکتریکی را نزدیک یک رسانای الکتریکی نگه دارید و آن را وصل کنید ، میدان مغناطیسی در رسانا تغییر می‌کند و مغناطیسی می‌شود . اما سمتگیری قطبهای مغناطیسی رسانا چگونه خواهد بود؟ رسانا طوری مغناطیسی می‌شود که آهنربای الکتریکی را دفع کند . برای مثال ، اگر آهنربای الکتریکی وقتی به کار بیفتد که قطب جنوب آن به رسانا نزدیکتر است ، رسانا طوری مغناطیسی می‌شود که قطب جنوب آن به آهنربای الکتریکی نزدیکتر باشد (شکل ۹) . چون جهت دو میدان مغناطیسی در خلاف یکدیگر است ، تا اندازه‌ای یکدیگر را خنثی می‌کنند . در عمل ، جریان القایی با افزایش میدان مغناطیسی در آهنربای الکتریکی مخالفت می‌کند . در واقع ، جریانهای تولید شده توسط القای الکترومغناطیس همیشه در جهتی جریان می‌یابند که با تغییرات میدان مغناطیسی به‌وجود آورندهٔ آنها مخالفت کنند . این موضوع ، بعداز کشف آن توسط فیزیکدان استونیایی هاینریش امیل لنز (۱۸۰۴ـ۱۸۶۵) به‌عنوان قانون لنز نامیده شد .

قانون لنز

شکل ۸ . این قطار مگ‌لو را نیروهای جاذبه‌ای بین آهنرباهایی روی ریل و آهنرباهایی که در بازوهای قطار قرار گرفته‌اند نگه می‌دارد . فیدبک باعث ایجاد پایداری در این سیستم می‌شود .

جریان القا شده توسط میدان مغناطیسی متغیر همیشه یک میدان مغناطیسی تولید می‌کند که با تغییرات مخالفت می‌کند .

به‌واسطهٔ قانون لنز ، آهنربای الکتریکی سبک می‌تواند روی سطح یک فلز پرواز کند . وقتی آهنربای الکتریکی را وصل می‌کنید فلز را دفع می‌کند و روی سطح بالا می‌رود . شگفت اینکه ، این نوع تعادل مغناطیسی در تمام جهت‌ها می‌تواند پایدار باشد . برای مثال



شکل ۹ـ الف وقتی یک آهنربای الکتریکی در حالی که قطب جنوبش پایین است وصل شود، میدان مغناطیسی فزایندهٔ آن جریانی در فلز زیر آن القا می‌کند. فلز در حالی که قطب جنوب آن بالا است آهنربا می‌شود و آهنربای الکتریکی را دفع می‌کند (ب) اگر جریان در آهنربای الکتریکی معکوس شود، تمام قطبها معکوس می‌شوند و فلز هنوز آهنربای الکتریکی را دفع می‌کند.

اگر آهنربای الکتریکی در یک کاسهٔ فلزی باشد، می‌تواند بالا برود و در مرکز کاسه معلق بماند. اگر به‌آن ضربه بزنید، نیروی بازگرداننده‌ای به‌آن وارد می‌شود که آن را به‌وضع تعادلش بازمی‌گرداند.

متأسفانه، جریان داخل فلز و میدان مغناطیسی به‌تدریج از بین می‌روند چون اثرات اصطکاکی، حرکت ذرات باردار در فلز را کند می‌کند. برای معلق نگه داشتن آهنربای الکتریکی بالای فلز، باید قطبهای آهنربای الکتریکی را به‌طور متناوب عوض کنید. هربار که این کار را انجام می‌دهید جریانهای جدیدی در سطح فلز جریان می‌یابند و این جریانها، آهنربای الکتریکی را دفع می‌کنند.

شما با عوض کردن جهت جریان در سیمهای آهنربای الکتریکی می‌توانید قطبهای آن را عوض کنید. جریان الکتریکی که جهت آن به‌طور تناوبی تغییر می‌کند جریان متناوب نامیده می‌شود، در حالی‌که جریان مداوم در یک جهت، جریان مستقیم نامیده می‌شود. فرستادن جریان متناوب در آهنربای الکتریکی، برای اینکه قطبهای آن را متناوباً تغییر می‌دهد آن را معلق نگه خواهد داشت.

دانشمندان و مهندسان تلاش کرده‌اند *تا از تعلیق مغناطیسی با جریان متناوب* برای معلق نگه داشتن قطار بر فراز ریلهای «شکل استفاده کنند. در بعضی موارد، آهنرباهای الکتریکی را در قطار و در بعضی دیگر آهنرباهای الکتریکی را روی ریلها کار گذاشتند. اما در حالی که هر دو طرح به‌خوبی کار می‌کند، جریانهای سطحی فلز و آهنربای الکتریکی با اثرات اصطکاکی مواجه‌اند که انرژی الکتریکی آنها را به‌انرژی گرمایی تبدیل می‌کند. چون انرژی الکتریکی باید مدام جایگزین شود، این قطارهای مگ‌لو انرژی بسیار زیادی لازم دارند که آنها را غیراقتصادی می‌کند.

درک خود را امتحان کنید#۴ : به کار گرفتن گرما
کوره‌هایی القایی در صنعت متداول هستند. یک تکه فلز در حوالی یا داخل آهنربای الکتریکی قوی قرار داده شده و جریان الکتریکی در آهنربای الکتریکی به‌سرعت معکوس می‌شود. آن‌تکه فلز خیلی گرم می‌شود. چرا؟

پرواز الکترودینامیکی

در حالی که طرحهای قبلی پرواز احتیاج به‌سیستمهای کنترل پیچیده و توان الکتریکی بسیار بالا داشت، پرواز الکترودینامیکی عملی‌تر می‌نماید. در پرواز الکترودینامیکی، قطار حامل آهنرباهای دائمی به‌سرعت در طول ریل فلزی پیش می‌رود. با حرکت آهنرباها، میدان مغناطیسی در ریل تغییر می‌کند. جریانها از آن می‌گذرند و ریلها مغناطیسی می‌شود. قطبهای مغناطیسی ریل قطبهای مربوط به‌قطار را دفع می‌کنند و قطار روی بالشی از نیروی مغناطیسی بلند می‌شود. شکل (۱۰ و ۱۱).

پرواز الکترودینامیکی وقتی که قطار خیلی سریع حرکت می‌کند به‌بهترین نحو انجام می‌شود. در این روش، آهنرباهای قطار به‌سرعت از هر قسمت از ریل می‌گذرند.

قطبهای مغناطیسی که در آن ناحیه ظاهر می‌شوند، تنها قطار را نگه نمی‌دارند؛ بلکه قطار را وقتی نزدیک می‌شود به عقب و وقتی دور می‌شود به جلو هل می‌دهند. نیروی به‌سمت جلو مخصوصاً مهم است، زیرا بدون آن، سرعت قطار به‌مرور کم می‌شود.

شدت نیروی به سمت جلو به‌سرعت قطار بستگی دارد. اگر قطار سریع حرکت کند، قطب مغناطیسی ریل وقتی که قطار دور می‌شود آنها را با همان شدتی به جلو می‌راند که وقتی قطار رسید آن را عقب می‌زند. اما اگر قطار خیلی آرام حرکت کند، جریانها در ریل فرصت زیادی را برای فروافت خواهند داشت و ریل مقدار زیادی از نیروی مغناطیسی خود را در حالی که هنوز قطار در آن حوالی است از دست خواهد داد. چون قطار در حال دور شدن نیروی ضعیفی را به‌سمت جلو دریافت می‌کند، سرعتش کم خواهد شد و قسمتی از انرژی جنبشی آن در ریل به‌صورت انرژی گرمایی تلف خواهد شد.

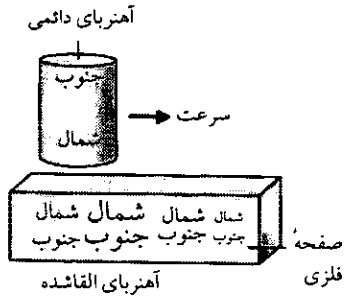
حتی در سرعتهای بالا، به‌قطار نیروی مغناطیسی‌ای به‌سمت عقب وارد خواهد شد. این نیرو که، کشش مغناطیسی نامیده می‌شود، برآیند تمام نیروهای مغناطیسی روبه‌جلو یا عقب وارد به‌قطار است. قطبهای روی ریل واقع در جلوی آهنربای قطار، به‌واسطه تازگی، نسبتاً قوی هستند. قطبهای روی ریل واقع در عقب آهنربای قطار، ضعیفتر هستند زیرا زودتر به‌وجود آمده‌اند و جریانهایی که آنها را به‌وجود آورده‌اند انرژیشان را از دست داده‌اند. بادافعهٔ قویتر قطبهای جلوتر نسبت به قطبهای پشت آن، به‌قطار نیروی روبه‌عقبی وارد می‌شود.

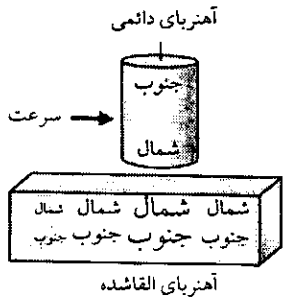
این نیروی کشش مغناطیسی در سرعتهای حدود ۳۰km/h (۱۹ mph) که کمترین سرعتی است که قطار می‌تواند پرواز کند، جدی‌تر است و با افزایش سرعت از بین می‌رود. هرچه قطار سریعتر حرکت کند، قطبهای روی ریل زمان کمتری برای از دست دادن انرژی دارند و نیروهای مغناطیسی روبه‌جلو و روبه عقب بیشتری که به‌قطار وارد می‌شوند، همدیگر را خنثی می‌کنند. بالاتر از ۳۰۰ km/h (۱۹۰ mph)، کشش مغناطیسی در مقایسه با مقاومت هوا ناچیز است.

البته، پرواز الکترودینامیکی نمی‌تواند قطار را وقتی که ساکن است نگه‌دارد، پس قطار احتیاج به «سیستم فرود» جمع‌شونده به هنگام شروع و خاتمه حرکت دارد. قطار ایستگاه را روی چرخها ترک می‌کند، سرعت می‌گیرد، و سپس روی بالش مغناطیسی به‌پرواز درمی‌آید. درحال حرکت با سرعت زیاد چرخهایش را جمع می‌کند و نزدیک ایستگاه بعدی آنها را باز می‌کند.

باآهنرباهای دائمی مناسب روی ریل، یک قطار معلق الکترودینامیکی می‌تواند در فاصلهٔ ۱۵ cm از یک ریل آلومینیمی حرکت کند. قطار به‌آسانی موانع کوچک را از سر راه برمی‌دارد و سواری بسیار همواری را فراهم می‌سازد. نواقص کوچک در مسیر ریل اصلاً احساس نمی‌شوند.

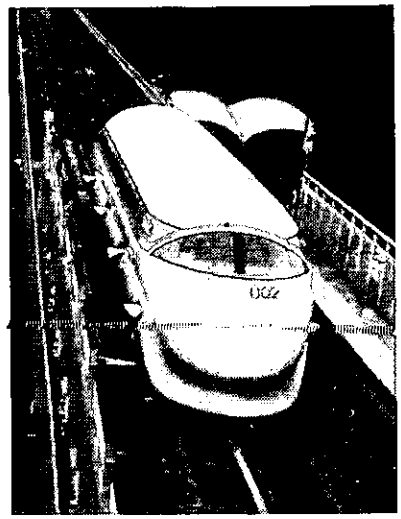
درک خود را امتحان کنید #۵ : ترمزهای مغناطیسی
اگر شما یک آهنربای دائمی قوی را به‌سرعت در طول یک صفحهٔ مسی یا آلومینیومی، چند میلی‌متر بالاتر از سطح حرکت دهید، نیروی قابل ملاحظه‌ای را که با حرکت آهنربا مخالفت می‌کند احساس خواهید کرد. این چه نوع نیرویی است؟





شکل ۱۰. وقتی آهنربای دایمی به‌سرعت از روی سطح فلزی می‌گذرد، جریانهایی در آن سطح القا و فلز آهنربا می‌شود و آهنربای متحرک را دفع می‌کند. بخش آهنربایی شدهٔ سطح فلز باآهنربای دائم حرکت می‌کند.

آهنرباهای ابررسانا



شکل ۱۱ . این قطار مگ‌لو را نیروهای دافعه بین مغناطیسهای ابررسانای روی قطار و قطبهای مغناطیسی درریل فلزی نگه می‌دارد .

در حالی که می‌توان از آهنرباهای دائمی یا آهنرباهای الکتریکی عادی برای پرواز الکترودینامیکی استفاده کرد، در اغلب قطارهای مگ‌لو از آهنرباهای الکتریکی ابررسانا استفاده می‌کنند . این نوع آهنرباهای الکتریکی سبک و نسبتاً ارزان هستند و میدان مغناطیسی به حد کافی قوی‌ای برای معلق نگه داشتن یک قطار برفراز ریل را فراهم می‌آورند . آهنرباهای الکتریکی ابررسانا بر مبنای مواد شگفت‌آوری که ابررساناها نامیده می‌شوند و حامل جریان بدون اتلاف انرژی مستقیم ساخته شده‌اند... در حالی که به جریانها در فلزات معمولی اثراتی شبیه اصطکاک وارد می‌شود و آنها را کاهش می‌دهد، جریان در ابررساناها آزادانه جاری است و چیزی نیست که حرکت آن را متوقف کند . هر جریانی که در ابررسانا تولید کنید تا وقتی که آن را قطع کنید ادامه خواهد داشت . چون جریانها مغناطیسی هستند، ابررسانا تا وقتی که جریان در آن جاری باشد مغناطیسی باقی خواهد ماند .

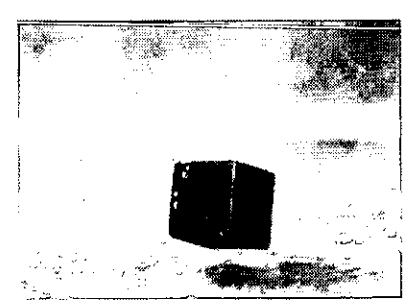
ابررسانایی تجلی فیزیک کوانتومی است و برمبنای این حقیقت است که ذرات باردار در جامدات فقط در مسیرها یا ترازهای مجاز حرکت می‌کنند . در حالی که الکترونها در جامدات معمولی می‌توانند بر اثر برخورد با اتمهای جامدات از یک تراز به تراز دیگر منتقل شوند، یک اثر کوانتومی عجیب مانع از انتقال الکترونها در یک ابررسانا می‌شود . الکترونهای یک ابررسانا که در تراز اولیه خود مقیدند نمی‌توانند با اتمها برخورد کنند و باید دائماً در طول مسیرهای ثابتی حرکت کنند .

ابررسانایی در تعدادی از فلزات پدید می‌آید، اما فقط وقتی که تادماهای بسیار پائین سرد شوند . تنها درچند درجه بالای صفر مطلق، انرژی گرمایی نظم لازم برای پیدایش ابررسانایی در اکثر مواد را از بین می‌برد . اما بعضی سرامیکهای مخصوص در دماهای ۱۲۵ K (۱۴۸ °C-) یا بالاتر خاصیت ابررسانایی از خود نشان می‌دهند . متأسفانه استفاده از این ابررساناهای دما- بالا که تازگی کشف شده‌اند در موارد عملی دشوار است . بنابراین، هنوز از نوع قدیمی دما - پائین در اکثر موارد استفاده می‌شود .

یک کاربرد از این نوع، آهنرباهای الکتریکی ابررسانا است . در حالی که آهنرباهای الکتریکی معمولی برای حفظ جریان به منبع الکتریکی نیاز دارد، یک آهنربای الکتریکی که از سیمهای ابررسانا استفاده می‌کند می‌تواند برای همیشه بدون توان الکتریکی کار کند . تمام کاری که شما باید انجام دهید این است که جریان را در آهنربای الکتریکی ابررسانا برقرار کنید و این جریان سالها خودبه‌خود ادامه خواهد یافت .

در یک آهنربای ابررسانای واقعی، سیم‌پیچ از سیم ابررسانایی تشکیل شده است که از داخل به یک منبع توان خارجی متصل است و جریان ابتدایی را تولید می‌کند . وقتی جریان کافی از سیم عبور کرد، دوسرباز سیم‌پیچ با یک اتصال ابررسانا به‌هم وصل می‌شوند تا یک حلقهٔ بی‌پایان ابررسانا را تشکیل دهند . جریان در سیم‌پیچ برای همیشه ادامه می‌یابد و دیگر نیازی به منبع تغذیه نیست . اگر چه شما مستقیماً نمی‌توانید این جریان را ببینید، اما قادرید میدان مغناطیسی آن را مشاهده کنید . (شکل ۱۲)

آهنرباهای ابررسانا برای قطارهای مگ‌لویی که از پرواز الکترودینامیکی استفاده می‌کنند کامل و بی‌نقص هستند . وقتی قطار در ساختمان اصلی است، جریان وارد آهنرباهای ابررسانای قطار می‌شود . وقتی که اتصالهای ابررسانایی بسته شدند، آهنرباها



شکل ۱۲ مکعب مغناطیسی بالای سطح ابررسانای دما - بالا شناور است . جریانهای جاری در ابررسانا آن را مغناطیسی می‌کند و باعث می‌شود که مکعب مغناطیسی را دفع کند .

توان الکتریکی اضافه‌ای نمی‌خواهند و تا وقتی که سرد نگه داشته می‌شوند مغناطیسی باقی می‌مانند. قطار یک بخش کوچک خنک‌کننده برای خنک نگه داشتن آهنرباهایش دارد اما دیگر نیازی به توان اضافی برای تعلیق ندارد.

درک خود را امتحان کنید #۶: باتریهای غیرضروری
بعضی آهنرباهای ابررسانا با جریان جاری در سیم‌پیچهایشان از کارخانه حمل می‌شوند. چرا تا وقتی یکی از این آهنرباها به مقصد برسد جریان در آن قطع نمی‌شود؟

پیشرانش

به هر حال، قطار هنوز احتیاج به چیزی دارد که آن را به پیش براند. در حالی که یک پیشران یا موتور جت قادر به انجام این کار است، اغلب قطارهای مگ‌لو از مفهوم جدید و هوشمندانهٔ مغناطیسی دیگری استفاده می‌کنند که موتور خطی نامیده می‌شود. این موتور در عمل نسبتاً پیچیده است، اما مفهوم کلی آن ساده است. در این موتور از نیروهای دافعه یا جاذبهٔ بین آهنرباهای الکتریکی روی ریل و قطار برای جلو راندن قطار استفاده می‌کند. این آهنرباها در زمان مناسب روشن و خاموش می‌شوند تا نیروی وارد به قطار همیشه رو به جلو باشد (شکل ۱۳).

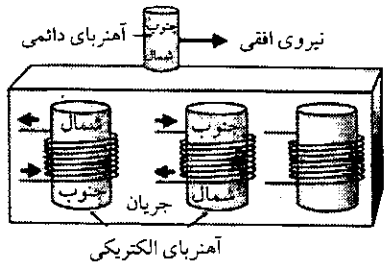
علاوه بر راندن قطار به جلو، موتور خطی مانند ابزاری برای ترمز به کار می‌آید. با عوض کردن اثر آهنرباهای الکتریکی جهت نیروی افقی وارد به قطار عوض می‌شود. یک موتور خطی می‌تواند قطار را بسیار مؤثرتر از اصطکاک لغزشی متوقف کند. در آزمایش موتورهای الکتریکی، وقتی قطار به جلو شتاب می‌گیرد موتور خطی انرژی الکتریکی را به انرژی جنبشی تبدیل می‌کند و وقتی قطار شتاب منفی می‌گیرد تا بایستد انرژی جنبشی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

درک خود را امتحان کنید #۷: حرکت به جلو
چرا نمی‌توان یک موتور خطی را کاملاً از آهنربای دائمی ساخت؟

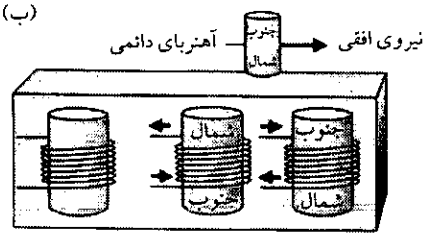
خلاصه

قطارهای معلق مغناطیسی چگونه کار می‌کنند: امیدبخش‌ترین شکل پرواز، پرواز الکترودینامیکی است. آهنرباهای ابررسانای قوی روی قطار میدان مغناطیسی بزرگی در زیر آن به وجود می‌آورند. همچنان که قطار در طول ریلهای فلزی‌اش پیش می‌رود،

(الف)



(ب)



شکل ۱۳ یک موتور خطی با روشن و خاموش کردن آهنرباهای الکتریکی در زمانهای مناسب کار می‌کند. به آهنرباهای دائمی همیشه یک نیروی افقی به سمت راست وارد می‌شود. در (الف) جفت سمت چپی آهنرباهای الکتریکی فعال هستند و در (ب) جفت سمت راستی کار می‌کنند. قطبهای آهنربای وسطی با تغییر جهت جریانی که از سیم‌پیچ آن می‌گذرد عوض می‌شوند.

این آهنرباها جریانهایی در ریل القا می کنند و ریل مغناطیسی می شود. قطبهای ریل مخالف قطبهای آهنرباهای قطار هستند و قطار و ریل یکدیگر را هل می دهند. این دافعهٔ مغناطیسی قطار را در فاصلهٔ حدود $15\ cm$ یا بیشتر بالای ریل معلق نگه می دارد. برای اینکه قطار باوجود مقاومت هوا و کشش مغناطیسی به حرکتش ادامه دهد، از یک موتور خطی استفاده می کند. این موتور از آهنرباهای الکتریکی روی ریل و قطار برای کشیدن و هل دادن قطار به سمت جلو استفاده می کند. موتور خطی همچنین می تواند قطار را متوقف کند.

قوانین و معادله های مهم

قانون لنز: جریان القاشده توسط میدان مغناطیسی متغیر یک میدان مغناطیسی به وجود می آورد که با تغییر مخالفت می کند.

فیزیک قطارهای معلق مغناطیسی

۱ـ دو نوع قطب مغناطیسی، مثبت و منفی وجود دارند.

۲ـ قطبهای مغناطیسی، نیروهای مگنتواستاتیک به یکدیگر اعمال می کنند. قطبهای همنام یکدیگر را دفع می کنند درحالی که بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می کنند.

۳ـ شدت نیروی مگنتواستاتیک وارد به هریک از دو قطب مغناطیسی بستگی به اندازهٔ هر قطب و فاصلهٔ بین آنها دارند.

۴ـ تک قطبی مغناطیسی در طبیعت وجود ندارد. اگرچه، دو قطبی مغناطیسی (قطبهای مثبت و منفی مساوی که با فاصله از هم هستند) را می توان با بارهای الکتریکی متحرک خلق کرد. چون تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد، قطب خالص یک جسم همیشه صفر است.

۵ـ به یک قطب مغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی نیرو وارد می شود. میدان مغناطیسی درجهت نیرویی که به قطب شمال در آن نقطه وارد می شود جهت می گیرد و اندازهٔ میدان بیانگر قدرت آن نیرو است.

۶ـ دو چیز می توانند میدان مغناطیسی به وجود بیاورند: بارالکتریکی متحرک (جریان) و میدان الکتریکی متغیر.

۷ـ دو چیز می توانند میدان الکتریکی به وجود بیاورند: بارالکتریکی و میدان مغناطیسی متغیر.

۸ـ یک میدان مغناطیسی متغیر جریان الکتریکی در یک رسانا القا می کند. این جریان میدان مغناطیسی تولید می کند که با تغییر اصلی دو میدان مخالفت می کند.

۹ـ یک ابررسانا قادر است جریان الکتریکی را بدون اتلاف انرژی به صورت انرژی گرمایی همواره از خود عبور دهد.

درک خود را امتحان کنید ـ پاسخها

۱ـ ماشین به سمت بالا شتاب می گیرد.

چرا: با وارد کردن نیروی خالص به سمت بالا به قطار، ریل قطار را برفراز دست انداز بلند می کند. زمان این بلند شدن، به سرعت قطار بستگی دارد. دو برابر کردن این سرعت زمان جدا شدن را نصف می کند و درحقیقت شتاب چهار برابر و نیروی به سمت بالای چهار برابری از طرف ریل را لازم دارد. علت آن است که ماشین باید دو برابر سریعتر از قبل ولی تنها در نصف زمان به بالا برود تا سرعت دو برابر به طرف بالا را به دست آورد. این نیروهای سریعاً فزاینده سرعت قطارهای عادی را به حدود ۳۲۰ km/h (۲۰۰ mph) محدود می کنند.

۲ـ سطح بالایی هر دو نیمه هنوز قطب شمال و سطحهای پائینی هنوز قطب های جنوب هستند. دو سر همدیگر را دفع می کنند همان طور که دو انتها همدیگر را دفع می کنند.

چرا: این پدیدهٔ تعجب برانگیز که تکه های آهنربای خرد شده در مقابل یکپارچه شدن مقاومت می کنند مثالی از انرژی پتانسیل موجود در آهنربای دائمی است. یک آهنربا مجموعه ای از تعداد زیادی آهنرباهای کوچکتر است، که همهٔ قطبهای شمال در یک سو و قطبهای جنوب در سوی دیگر صف بندی شده اند. قطبهای مشابه یکدیگر را دفع می کنند، پس به سختی می شود آهنرباهای کوچک را کنار هم قرار داد. در شرایط مناسب، آهنربا به قطعاتی تجزیه می شود. آهنرباهای دائمی خیلی قوی وقتی شکسته شوند انرژی پتانسیل زیادی را آزاد می کنند و به اطراف می پراکنند که می توانند خطرناک باشند.

۳ـ یک جاروی متوازن در تعادل ناپایدار است و شما از فیدبک مرئی برای متعادل نگه داشتن آن استفاده می کنید.

چرا: لازم است بدانید که مرکز جرم جارو کجا قرار گرفته است تا بتوانید آن را متعادل نگه دارید. به طور متوسط، دست شما باید پائین مرکز جرم آن قرار بگیرد. اگرچه حرکت جارو را تا اندازه ای حس می کنید ولی دیدن آن به شما کمک می کند.

۴ـ میدان مغناطیسی متغیر در یک آهنربای الکتریکی جریانهایی را در یک قطعه فلز القا می کند. به مرور که این جریانها کاهش می یابند، قسمتی از انرژی آنها به انرژی گرمایی تبدیل می شود و فلز خیلی گرم می شود.

چرا: در حضور میدان مغناطیسی متغیر در یک قطعه فلز جریانهایی برقرار است. این جریانها می توانند فلز را گرم کنند درست همان طور که رشتهٔ حباب چراغ را گرم می کنند.

۵ـ نیروی کشش مغناطیسی

چرا: آهنربای متحرک جریانهایی در یک صفحهٔ فلزی القا می کند و آن را مغناطیسی می کند. قطبهای این صفحه مخالف قطبهای آهنربای متحرک هستند، پس دافعه ای بین صفحه و آهنربا وجود دارد. اگرچه، یک نیروی کند کننده در آهنربا وجود دارد. قویترین قطبهای صفحه، جلوی آهنربای متحرک قرار گرفته اند و مانع از نزدیک شدن آن می شوند. ورقه به آهنربا نیروی روبه عقب وارد و آن را کند می کند.

۶ـ از آنجا که پیچه ابررساناست، هیچ راهی وجود ندارد که جریان انرژی از دست بدهد و متوقف شود. به حرکت ادامه می دهد.

چرا: درحالی که جریانهای الکتریکی در رساناهای عادی انرژی الکتریکی را به انرژی گرمایی تبدیل می کنند، در ابررساناها چنین کاری انجام نمی شود. زمانی که آنها در پیچه جاری هستند، الکترونها در ابررسانا برای همیشه جریان دارند. میدان مغناطیسی حاصل از آنها با آهنربا از کارخانه تا محل نصب منتقل می شود. استفاده کننده لازم نیست لوازمی برای ایجاد جریان داشته باشد.

۷ـ هر آهنربای روی ریل باید قطبهایش را وقتی قطار مغناطیسی عبور می کند، عوض کند تا بتواند قطار را وقتی نزدیک می شود جذب کند و وقتی دور می شود دفع کند.

چرا: یک آهنربای دائمی نمی تواند قطبهایش را عوض کند. این آهنربا با قطار درحال حرکت چه به آن نزدیک یا از آن دور شود یکسان رفتار خواهد کرد. پس به طور کلی، کاری روی قطار متحرک انجام نمی دهد. اما یک آهنربای الکتریکی می تواند قطبهایش را عوض کند و روی قطار کار انجام دهد. آهنربای الکتریکی، قطار مغناطیسی را تا وقتی که آهنرباها درست در بالای یکدیگر قرار بگیرند جلو خواهد کشید. سپس آهنربای الکتریکی قطبهایش را عوض می کند و قطار مغناطیسی را به جلو هل می دهد.

پاورقی: .....

1-Maglev

مرجع: .....

How things Work? Physics of everyday Life, Louis A.Bloomfield

بیست و نهمین
المپیاد بین المللی فیزیک
ریکیاویک- ایسلند* ۱۹۹۸

مسابقهٔ نظری

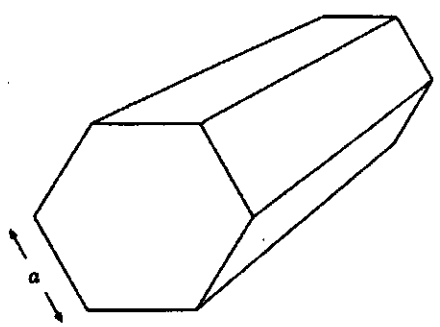
مدت ۵ ساعت

مترجم: روح‌اله خلیلی بروجنی
rkhalili @ physicist. net

مسئلهٔ نظری ۱ـ غلتش یک منشور شش‌وجهی[1]

یک منشور شش‌وجهی منتظم، بلند، جامد و صلب، شبیه یک مداد معمولی را در نظر بگیرید (شکل ۱ـ۱). جرم منشور M است که به طور یکنواخت توزیع شده است. طول هر ضلع قاعدهٔ منشور a و لختی دورانی آن حول محور مرکزی‌اش برابر است با:

$$I = \frac{5}{12}Ma^2 \quad (1-1)$$



شکل ۱ـ۱ یک منشور جامد با سطح مقطع شش‌وجهی منتظم

همچنین لختی دورانی I' حول یکی از یالهای منشور برابر است با:

$$I' = \frac{17}{12}Ma^2 \quad (2-1)$$

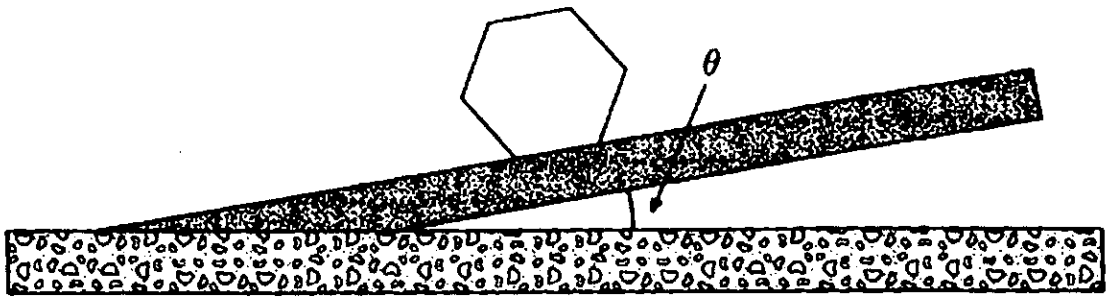
الف) در ابتدا منشور ساکن و محور افقی آن روی سطح شیبداری است که با افق زاویه کوچک θ را می‌سازد (شکل ۱-۲).

فرض کنید وجوه منشور اندکی کاو هستند به گونه‌ای که تنها لبه‌های آن با سطح در تماس است. تأثیر این کاو بودن بر لختی دورانی منشور را می‌توان نادیده گرفت. منشور را اندکی جابه‌جا می‌کنیم تا روی یالهای خود غلتش ناهمواری را از حال سکون آغاز کند. فرض کنید اصطکاک از هرگونه لغزشی جلوگیری می‌کند و تماس منشور با سطح قطع نمی‌شود. سرعت زاویه‌ای منشور درست قبل از برخورد یکی از یالهایش به سطح، ω_1 و بلافاصله پس از برخورد آن با سطح ω_2 است.

نشان دهید می‌توانیم بنویسیم:

$$\omega_2 = S\,\omega_1 \quad (3-1)$$

مقدار ضریب S را روی پاسخنامه بنویسید.



شکل ۱ـ۲ـ یک منشور شش وجهی روی سطح شیبدار

ب) انرژی جنبشی منشور درست قبل و بعد از برخورد هر یال را K_i و K_f در نظر بگیرید.

نشان دهید می‌توانیم بنویسیم:

$$K_f = rK_i \quad (۴ـ۱)$$

مقدار ضریب r را روی پاسخنامه بنویسید.

پ) برای آنکه بعد از برخورد هر یال با سطح، برخوردهای بعدی نیز انجام شود، انرژی جنبشی K_i، باید از مقدار کمینهٔ $K_{i.min}$ بیشتر باشد، در این صورت می‌توان نوشت:

$$K_{i.min} = \delta Mga \quad (۵ـ۱)$$

که در آن $g = ۹/۸۱ \, m/s^۲$ شتاب گرانش است.

ضریب δ را برحسب زاویهٔ شیب θ و ضریب r بدست آورید. پاسخ خود را در پاسخنامه بنویسید. (از نماد جبری r استفاده کنید، نه مقدار عددی آن).

ت) اگر شرط قسمت (پ) صادق باشد، انرژی جنبشی منشور در حین پایین آمدن به مقدار حدی $K_{i.\circ}$ میل می‌کند.

اگر چنین حدی وجود داشته باشد، نشان دهید $K_{i.\circ}$ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$K_{i.\circ} = kMga \quad (۶ـ۱)$$

ضریب k را بر حسب θ و r به‌دست آورید و در پاسخنامه بنویسید.

ث) کمترین زاویهٔ شیب $\theta_\circ$ را برای اینکه غلتش ناهموار منشور انجام گیرد، با دقت $^\circ ۰/۱$ (یک دهم درجه) به دست آورید. جواب عددی خود را در پاسخنامه بنویسید.

مسئلهٔ نظری ۲: آب در زیر یک کلاهک یخی[۲]

یک کلاهک یخی، به‌صورت ورقه‌ای ضخیم (به ضخامت چند کیلومتر) از یخ بدون حرکت است که بر روی زمین تشکیل می‌شود و به‌صورت افقی بیشتر از ده‌ها یا صدها کیلومتر گسترده می‌شود. در این مسئله می‌خواهیم ذوب یخ و رفتار آب را زیر پوشش ملایمی از یخ بررسی کنیم، یعنی بررسی رفتار کلاهک یخی در نقطهٔ ذوب.

می‌توان فرض کرد در این شرایط منشأ تغییرات فشار یخ شبیه یک شارهٔ چسبنده[۳] است، اما تغییر شکل آن شکننده و عمدتاً به صورت جابه‌جایی در راستای قائم است. برای حل قسمت‌های مختلف این مسئله از داده‌های زیر استفاده کنید.

چگالی آب	$\rho_w = ۱/۰۰۰ \times ۱۰^۳ \, kg/m^۳$
چگالی یخ	$\rho_i = ۰/۹۱۷ \times ۱۰^۳ \, kg/m^۳$
گرمای ویژهٔ یخ	$C_i = ۲/۱ \times ۱۰^۳ \, J/(kg°C)$
گرمای نهان ذوب یخ	$L_i = ۳/۴ \times ۱۰^۵ \, J/kg$
چگالی مواد گداخته	$\rho_r = ۲/۹ \times ۱۰^۳ \, kg/m^۳$
گرمای ویژهٔ مواد گداخته	$C_r = ۷۰۰ \, J/(kg°C)$
شارگرمایی میانگین از سطح زمین	$J_Q = ۰/۰۶ \, w/m^۲$
نقطهٔ ذوب یخ (ثابت)	$T_\circ = ۰°C$

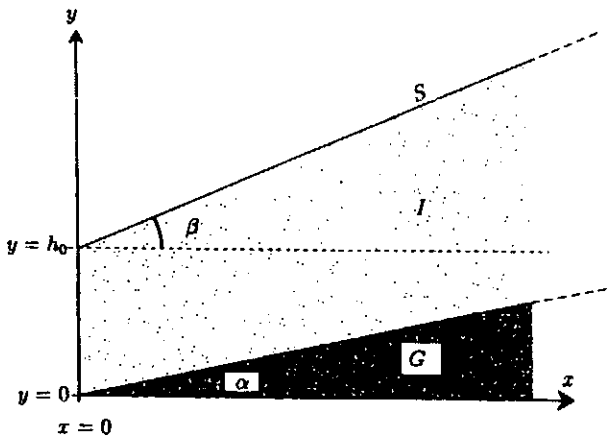
الف) یک کلاهک یخی ضخیم را در نظر بگیرید که در معرض شار گرمایی میانگین از سطح زمین است. با استفاده از داده‌های بالا، ضخامت d لایهٔ یخی که در هر سال ذوب می‌شود را به دست آورید، جواب خود را در پاسخنامه بنویسید.

ب) حال، سطح فوقانی کلاهک یخی را در نظر بگیرید. فرض کنید زمین زیر کلاهک یخی دارای زاویهٔ شیب α است. سطح فوقانی کلاهک یخی نیز دارای شیب β مطابق شکل (۲ـ۱) است. ضخامت عمودی یخ در $x=0$ برابر h_0 است. در این صورت سطوح زیرین و فوقانی کلاهک یخی را می‌توان با معادله‌های زیر بیان کرد:

$$y_1 = x\,tg\alpha \quad و \quad y_2 = h_0 + x\tan\beta$$

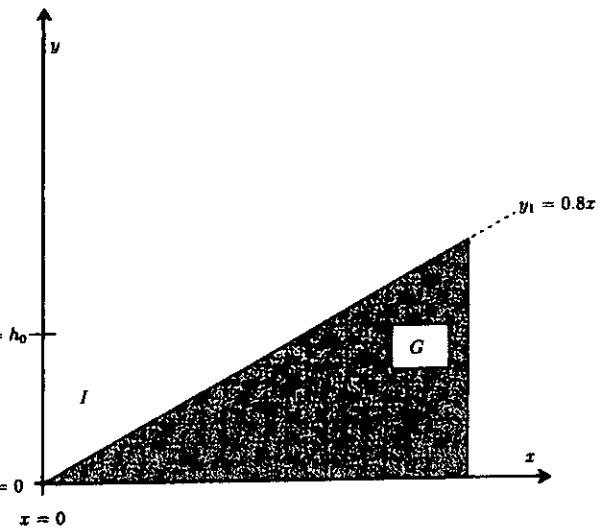
رابطه‌ای برای فشار P در زیر کلاهک یخی بر حسب x به دست آورید و در پاسخنامه بنویسید.

یک شرط ریاضی میان α و β به گونه‌ای برقرار کنید که اگر لایه‌ای از آب بین کلاهک یخی و زمین قرار گیرد، از هیچ طرف جاری نشود. نشان دهید این شرط به صورت $\tan\beta = S\tan\alpha$ است. ضریب S را به دست آورید و در پاسخنامه بنویسید.



شکل ۲ـ۱ : سطح مقطع کلاهک یخی با سطوح تخت که بر روی یک سطح شیبدار روی زمین قرار گرفته است.
(کلاهک یخی : I؛ سطح زمین : G؛ سطح بالایی کلاهک یخی : S)

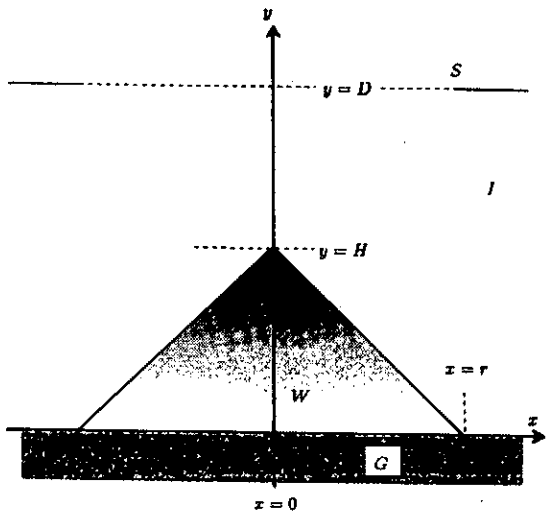
خط $y=0/8x$ در شکل (۲ـ۲) سطح زمین زیر کلاهک یخی را نشان می‌دهد. ضخامت عمودی h_0 در $x=0$ برابر ۲km است. فرض کنید آب در زیر کلاهک یخی با یخ در تعادل است. روی یک کاغذ میلی‌متری در پاسخنامه، ابتدا خط y_1 و پس از آن خط y_2 مربوط به سطح بالایی یخ را رسم کنید. در شکل خود هر کدام از این دو خط را مشخص کنید.



شکل ۲ـ۲ : سطح مقطع یک لایهٔ یخ ملایم که بر روی یک سطح شیبدار قرار گرفته و در زیر آن آب، در حال تعادل است.
(زمین : G؛ کلاهک یخی : I)

پ) بر اثر ذوب ناگهانی قسمتی از یک لایهٔ بزرگ یخی با ضخامت ثابت D = ۲km، منطقه‌ای مخروطی شکل از آب به ارتفاع H = ۱km و شعاع r = ۱km درون لایهٔ مذکور مطابق شکل (۲ـ۳) به وجود می‌آید. فرض کنید لایهٔ یخی نسبت به زمین افقی است و یخ باقی‌مانده تنها با حرکت عمودی، خود را با وضعیت ایجاد شده تطبیق می‌دهد.

شکل سطح کلاهک یخی بعد از ایجاد مخروط آب و رسیدن دستگاه به حالت تعادل هیدرواستاتیک را به طور تحلیلی در پاسخنامه بررسی و همچنین تصویر آن را بر روی یک کاغذ میلی‌متری رسم کنید.



شکل ۲ـ۳: مقطع قائم یک مخروط آب در زیر یک کلاهک یخی.
S: سطح بالایی؛ W: آب؛ G: زمین و I: یخ

ت) یک گروه بین‌المللی از دانشمندان در جستجوی سالانهٔ خود در قطب جنوب به یک کلاهک یخی ملایم برخوردند. معمولاً این مناطق به صورت فلاتی گسترده هستند، اما این‌بار آنها، به حفره‌ای به‌صورت مخروط وارونه شبیه دهانهٔ یک آتشفشان به عمق $h = ۱۰۰ m$ و شعاع $D = ۵۰۰ m$، مواجه شدند (شکل ۲ـ۴). آنها ضخامت کلاهک یخی را در این منطقه ۲۰۰۰m برآورد کردند.

دانشمندان بعد از یک بحث علمی به این نتیجه رسیدند که به احتمال زیاد در زیر لایهٔ یخی یک فوران آتشفشانی خفیف رُخ‌داده و مقدار کمی مواد گداخته به زیر کلاهک یخی نفوذ کرده است و پس از ذوب حجم معینی از یخ، سرد و جامد شده است. دانشمندان کوشیدند با برآورد حجم مواد گداخته‌ای که به درون کلاهک یخی نفوذ کرده است، ایده‌ای در مورد پدیده‌ای که رخ داده است، به‌دست آورند.

فرض کنید یخ فقط در امتداد قائم حرکت می‌کند. همچنین فرض کنید مواد گداخته در ابتدا کاملاً مذاب و در دمای $۱۲۰۰^{\circ}C$ بوده‌اند. علاوه بر آن، برای سادگی فرض کنید مواد گداخته‌ای که از پایین درون پوشش یخی نفوذ کرده‌اند به شکل مخروطی با همان شعاع قاعدهٔ مخروط فرورفتگی در سطح کلاهک یخی است. زمان بالا آمدن مواد مذاب در مقایسه با زمان مبادلهٔ گرما در این فرآیند کوتاه است. جریان گرما در راستای قائم صورت می‌گیرد، به‌طوری‌که همواره حجم آب ناشی از ذوب یخ را یک سطح مخروطی که مرکز آن بالای محل نفوذ مواد گداخته است محدود می‌کند.

فرض کنید ذوب یخ در دو مرحله صورت گرفته است. نخست آب موجود در سطح در تعادل هیدرواستاتیک نبوده و می‌توانسته جریان یابد. دمای آبی که به اطراف جریان یافته را $۰^{\circ}C$ بگیرید. در مرحلهٔ بعد با برقراری شرایط تعادل هیدرواستاتیک آب‌های ناشی از ذوب یخ به‌جای آنکه به اطراف فرورفتگی جریان یابند، در بالای آن جمع شده‌اند.

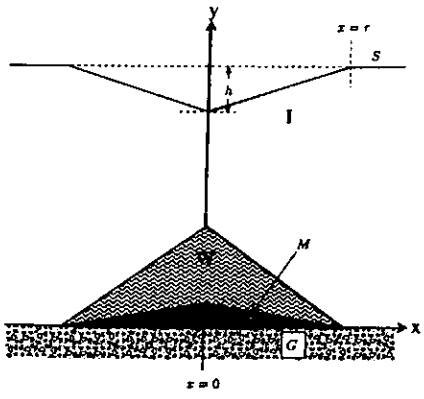
پس از برقراری شرایط هیدرواستاتیک، کمیت‌های زیر را تعیین کنید و در پاسخنامه بنویسید.

۱ـ ارتفاع H، یعنی فاصلهٔ بین بالاترین نقطه مخروط آب در زیر کلاهک یخی نسبت به سطح زیرین اولیهٔ کلاهک یخی.

۲ـ $h_۱$، ارتفاع فرورفتگی لایهٔ مواد گداخته.

۳ـ جرم کل m_{tot} آب تولید شده از ذوب یخ و جرم m' آبی که به اطراف مخروط جریان یافته است.

شکل برآمدگی مواد گداخته و مخروط آبی که در نهایت بالای آن قرار می‌گیرد را با رعایت مقیاس روی کاغذ میلی‌متری پاسخنامه رسم کنید. از دستگاه مختصاتی که در شکل (۲ـ۴) پیشنهاد شده است استفاده کنید.



شکل ۲ـ۴: سطح مقطع قائم و متقارن فرورفتگی مخروطی شکل در یک کلاهک یخی ملایم
S: سطح بالایی یخ؛ G: زمین؛ I: کلاهک یخی؛ M: سنگ (گدازه‌های نفوذی یا مواد گداخته) و W: آب. توجه کنید که نمودار با مقیاس رسم نشده است.

مسئلهٔ نظری ۳ ـ سریعتر از نور؟[۴]

در این مسئله می‌خواهیم اندازه‌گیری‌هایی که در سال ۱۹۹۴ بر روی امواج رادیویی گسیلی از یک چشمهٔ مرکب در کهکشان ما انجام شده است را تجزیه و تحلیل کنیم. گیرنده بر روی باند پهنی[۵] از طول موج‌ها در حدود چندین سانتی‌متر تنظیم شده بود. شکل (۳ـ۱) مجموعه‌ای از تصاویر ثبت‌شده در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. هر کدام از پربندها[۶] در شکل (۳ـ۱)، مانند پربندهای باارتفاع ثابت در یک نقشهٔ جغرافیایی، نشانگر شدت ثابتی هستند.

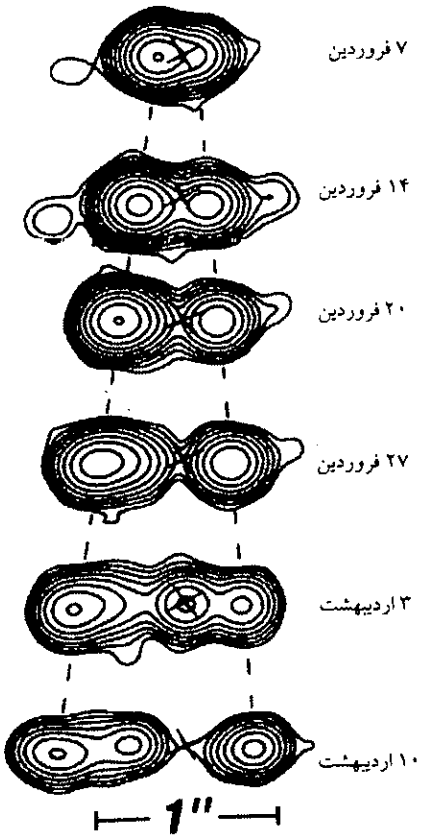
در این شکل دو بیشینه وجود دارد که می‌توان آنها را دو جسم در نظر گرفت که از یک مرکز مشترک که با علامت ضربدر مشخص شده است دور می‌شوند، (فرض می‌شود مرکز مشترک در فضا ثابت است، همچنین این مرکز مشترک خود یک چشمهٔ گسیلندهٔ تابشی قوی است اما عمدتاً در طول موج‌های دیگر). همهٔ اندازه‌گیری‌ها در زمان مشخصی از شبانه‌روز انجام شده‌اند.

مقیاس منحنی‌های شکل (۳ـ۱) توسط یک پاره خط که برابر با یک ثانیهٔ قوسی (as) است مشخص شده است.

(درجه $1as = \frac{1}{3600}$).

فاصلهٔ جرم سماوی[۷] از مرکز مشترک که با علامت ضربدر مشخص شده است، حدود $R = 12/5 kpc$ برآورد می‌شود. هر کیلو پارسک (kpc) برابر $3/09 \times 10^{19} m$ است. سرعت نور نیز برابر $c = 3 \times 10^8 \, m/s$ است. در حل این مسئله خطاهای محاسباتی لازم نیست.

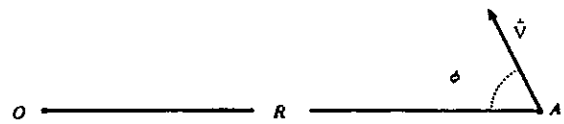
الف) موقعیت زاویه‌ای دو جسم گسیلندهٔ امواج رادیویی را نسبت به مرکز مشترک آنها با $\theta_1(t)$ و $\theta_2(t)$ نشان می‌دهیم، زیرنویس‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب به چشمهٔ سمت چپ و چشمهٔ سمت راست مربوط هستند و t زمان رصد است. سرعت‌های زاویه‌ای، آن‌طور که از روی زمین دیده می‌شود برابر ω_1 و ω_2 است. همین طور سرعت‌های خطی ظاهری چشمه‌های عمود بر خط مشاهده را با $V'_{1,\perp}$ و $V'_{2,\perp}$ نشان می‌دهیم. با استفاده از شکل (۳ـ۱)، نمودارهایی برای به دست آوردن مقادیر عددی ω_1 و ω_2 بر حسب میلی ثانیهٔ قوسی(mas) رسم کنید. همچنین مقادیر عددی $V'_{1,\perp}$ و $V'_{2,\perp}$ را به‌دست



شکل ۳ـ۱ : تابش امواج رادیویی از چشمه‌ای در کهکشان ما

آورید. همهٔ جواب‌ها را در پاسخنامه بنویسید. (ممکن است برخی نتایج برای شما تعجب‌آور باشد!).

ب) برای درک نتیجهٔ تعجب‌آور قسمت (الف)، یک چشمهٔ نور را که با سرعت $\vec{V}$ در حرکت است در نظر بگیرید. جهت حرکت چشمه با امتداد خط دید آن توسط ناظره زاویهٔ $\phi (0 \le \phi \le \pi)$ می‌سازد (شکل ۳ـ۲). این سرعت را می‌توان به صورت $V = \beta c$ نوشت، که در آن c سرعت نور است. فاصلهٔ چشمه که ناظر اندازه‌گیری می‌کند، برابر R است. سرعت زاویه‌ای چشمه، از دید ناظر O، برابر ω است، و سرعت خطی ظاهری آن در امتداد عمود بر خط مشاهده برابر $V'_\perp$ است، ω و $V'_\perp$ را برحسب β، R و ϕ به دست آورید و جواب‌های خود را در پاسخنامه بنویسید.



شکل ۳ـ۲ : ناظر در نقطه o و چشمه در ابتدا در نقطه A قرار دارد، که بردار سرعت آن $\vec{V}$ است.

پ) فرض کنید چشمه‌های توصیف شده در مقدمه و قسمت (الف)، در جهت‌های مخالف و با سرعت‌های برابر $V = \beta c$ از هم دور می شوند. همچنین با استفاده از نتایج قسمت (ب) می‌توان β و ϕ را بر حسب سرعت‌های زاویه‌ای ω_1 و ω_2 و فاصلهٔ R به‌دست آورد. در اینجا ϕ زاویه تعریف‌شده در قسمت (ب) برای چشمهٔ سمت چپ است که متناظر با زیرنویس ۱ در قسمت (الف) است.

روابط مربوط به β و ϕ را بر حسب کمیت‌های یادشده و مقادیر عددی آنها را با توجه به داده‌های قسمت (الف) به‌دست آورید. جواب‌های خود را در پاسخنامه در محل‌های مشخص‌شده بنویسید.

ت) برای مورد تک‌جسمی در قسمت (ب)، شرط آنکه سرعت ظاهری در امتداد عمود بر خط دید، $V'_\perp$، بزرگتر از سرعت نور شود را به‌دست آورید.

این شرط را به صورت $\beta > f(\phi)$ بنویسید و یک عبارت تحلیلی برای تابع f در پاسخنامه بنویسید.

ناحیه‌ای از صفحهٔ (ϕ و β)، مربوط به کمیت‌های فیزیکی را بر روی برگهٔ پاسخنامه (مربوط به رسم منحنی) مشخص کنید و قسمتی از این ناحیه را که در آن شرط $V'_\perp > c$ صادق است را هاشور بزنید.

ث) باز هم برای وضعیت تک‌جسمی قسمت (ب)، عبارتی برای مقدار بیشینهٔ سرعت ظاهری در امتداد عمود بر خط مشاهده $(V'_\perp)_{max}$ به ازای یک β ی معین، به دست آورید و آن را در محل تعیین‌شده در پاسخنامه بنویسید.

توجه کنید این کمیت هنگامی که $\beta \to 1$، به‌طور نامحدودی افزایش می‌یابد.

ج) مقداری که برای R در مقدمه برآورد شده بود چندان دقیق نیست.

دانشمندان برای به دست آوردن R از روش دقیق‌تر و سرراست‌تری استفاده می‌کنند. یکی از این روش‌ها به شرح زیر است:

فرض کنید طول موج‌های با انتقال دوپلر λ_1 و λ_2 که از چشمه‌های امواج رادیویی گسیل می‌شوند را بتوان از یکدیگر تشخیص داد و اندازه‌گیری کرد. همچنین فرض کنید طول موج تابش گسیلی از چشمه‌ها در حالت سکون برابر λ_0 است.

با استفاده از معادله‌های مربوط به انتقال دوپلر نسبیتی $\lambda = \lambda_0(1-\beta\cos\phi)(1-\beta^2)^{-1/2}$، و این فرض که دو جسم همچنان با سرعت برابر $V = \beta c$ از هم دور می‌شوند، نشان دهید که می‌توان $\beta = \frac{V}{c}$ را بر حسب λ_0، λ_1 و λ_2 به صورت رابطهٔ زیر به دست آورد:

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{\alpha\lambda_0^2}{(\lambda_1+\lambda_2)^2}} \qquad (۱_۳)$$

مقدار عددی ضریب α را در قسمت مربوطه در پاسخنامه بنویسید.

توجه کنید که با اندازه‌گیری طول موج‌ها، در عمل می‌توان برآورد بهتری برای فاصله R به دست آورد.

زیرنویس:

* Reykjavik, Iceland

1. Rolling of a hexagonal prism
2. Water under an ice cap
3. Viscous fluid
4. Faster than light?
5. Broad band

۶. به هر کدام از منحنی‌های بسته در شکل (۳ـ۱) پَربند (Contour) گفته می شود.

۷. منظور از جرم سماوی (Celestial body) در اینجا، همان گیرندهٔ امواج رادیویی است که بر روی زمین قرار گرفته است (مترجم).

پاسخ
مسائل مسابقهٔ نظری
بیست و نهمین المپیاد
بین المللی فیزیک
ریکیاویک ـ ایسلند ۱۹۹۸

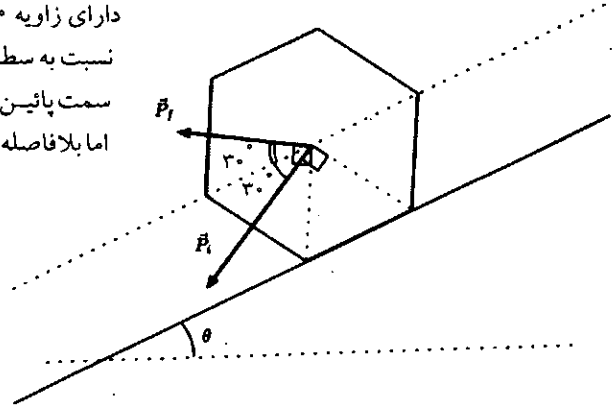
حل مسئله ۱

الف) راه حل اول

منشور بر اثر نیروی وارده، حول محوری جدید شروع به چرخش می کند، یعنی بر اثر برخورد پال منشور با سطح، نیروی واکنش سطح، حول این محور گشتاوری ندارد و در نتیجه تکانهٔ زاویه ای حول این پال در مدت کوتاه برخورد با سطح، پایسته می ماند.

تکانهٔ خطی منشور به طور کلی در جهت سرعت مرکز جرم آن خواهد بود ($\vec{P} = M\vec{V}_c$ که در آن شاخص c نشانگر مرکز جرم است) و در جهت آسان حرکت است.

جهت $\vec{P}$ قبل از برخورد دارای زاویه ۳۰ درجه نسبت به سطح و به سمت پائین است، اما بلافاصله بعد از برخورد زاویهٔ آن ۳۰ درجه نسبت به سطح و به طرف بالا خواهد شد (شکل ۱ـ۳).



شکل ۱ـ۳: تکانهٔ خطی منشور درست قبل و بعد از برخورد

برای به دست آوردن تکانهٔ زاویه ای منشور حول یالی که با آن به سطح برخورد می کند درست قبل و بعد از برخورد، از معادلهٔ تکانهٔ خطی $\vec{L}$ حول یک محور اختیاری و تکانهٔ زاویه ای $\vec{L}_c$ حول محوری که از مرکز جرم می گذرد و با محور اختیاری موازی است، استفاده می کنیم، در این صورت داریم[1]:

$$\vec{L} = \vec{L}_c + M\vec{r}_c \times \vec{V}_c \qquad (۷_۱)$$

حال این رابطه را برای محوری که از نقطه برخورد می گذرد، به کار می بریم در این صورت $\vec{r}_c$ برداری است که این نقطه را به مرکز جرم وصل می کند و جهت آن به طرف مرکز جرم است (شکل ۱ ـ ۳). بردارهای $\vec{L}_c$ و $(\vec{r}_c \times \vec{V}_c)$ در معادلهٔ (۱ ـ ۷) هم جهت هستند. بنابراین درست قبل از برخورد خواهیم داشت:

$$\left|\vec{r}_c \times \vec{V}_{ci}\right| = r_c\ V_{ci}\ \mathrm{Sin}30^\circ = a^2\omega_i/2 \qquad (۸_۱)$$

$$L_i = I\omega_i + \frac{1}{2}Ma^2\omega_i$$

$$= (\frac{5}{12} + \frac{1}{2})Ma^2\omega_i$$

$$L_i = \frac{11}{12} Ma^2 \omega_i \qquad (۹_۱)$$

از طرف دیگر تکانهٔ زاویه ای حول این یال درست بعد از برخورد و با توجه به معادله (۱ـ۲) برابر است با[۲]:

$$L_f = I' \omega_f = \frac{17}{12} Ma^2 \omega_f \qquad (۱۰_۱)$$

که در آن شاخص f مربوط به شرایط درست بعد از برخورد است.

توجه کنید که این اختلاف ناشی از تفاوت جهت های $\bar{V}_{ci}$ و $\bar{V}_{cf}$ است.

حال با توجه به پایستگی تکانهٔ زاویه ای، $L_i=L_f$، می توان رابطه ای بین سرعت های زاویه به صورت زیر به دست آورد:

$$\omega_f = \frac{11/12}{17/12}\omega_i = \frac{11}{17}\omega_i \qquad (۱۱_۱)$$

بنابراین داریم:

$$S = \frac{11}{17} \qquad (۱۲_۱)$$

توجه کنید که S مستقل از a، ω_i و θ است.

راه حل دوم

با برخورد منشور به سطح ضربهٔ $\bar{P}$ (برحسب N.S) از طرف سطح به یالی که به آن برخورد کرده است زده می شود. در اینجا هیچ واکنشی از طرف یالی که از سطح جدا می شود وجود ندارد. ضربه $\bar{P}$ دارای دو مؤلفه، یکی موازی سطح شیبدار P_{11} (جهت مثبت را رو به بالا و در امتداد سطح شیبدار در شکل ۱ـ۳ درنظر بگیرید) و دیگری، $P_\perp$، عمود بر سطح شیبدار می باشد (در اینجا نیز جهت مثبت را به طرف بالا و عمود بر سطح شیبدار در همان شکل درنظر بگیرید).

بنابراین می توانیم سه معادله با سه مجهول P_{11}، $P_\perp$ و نسبت $S=\frac{\omega_f}{\omega_i}$ بنویسیم. کمیت P_{11} برابر با تغییر در مؤلفهٔ موازی تکانهٔ خطی و $P_\perp$ برابر با تغییر در مؤلفهٔ عمودی تکانهٔ خطی منشور است. در نتیجه داریم:

$$P_{11} = M(\omega_i - \omega_f)a.\frac{\sqrt{3}}{2} \qquad (۱۳_۱)$$

$$P_\perp = M(\omega_i + \omega_f)a.\frac{1}{2} \qquad (۱۴_۱)$$

و یا:

$$\frac{1}{2}P_\perp a - \frac{\sqrt{3}}{2}P_{11}a = I(\omega_i - \omega_f) \qquad (۱۵_۱)$$

که طرف راست معادلهٔ اخیر تغییر تکانهٔ زاویه ای حول مرکز جرم است. با حل معادله های (۱ـ۱۳)، (۱ـ۱۴) و (۱ـ۱۵)، برای نسبت $S=\frac{\omega_f}{\omega_i}$ همان مقدار قبلی را به دست می آوریم.

ب)

سرعت خطی مرکز جرم بلافاصله قبل از برخورد برابر $a\omega_i$، و بلافاصله بعد از برخورد برابر $a\omega_f$ است. از طرفی می دانیم که انرژی جنبشی یک جسم صلب چرخان را همیشه می توان به صورت مجموعه انرژی جنبشی «داخلی» و «خارجی» جسم نوشت:

$$K_{tot} = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}MV_c^2 \qquad (۱۶_۱)$$

همان طور که از این رابطه دیده می شود انرژی جنبشی K_{tot} قبل و بعد از برخورد متناسب با ω^2 است. دراین صورت داریم:

$$K_f = rK_i = (\frac{11}{17})^2 K_i = \frac{121}{289}K_i \qquad (۱۷_۱)$$

بنابراین:

$$r = \frac{121}{289} \approx ۰/۴۱۹ \qquad (۱۸_۱)$$

پ)

انرژی جنبشی K_f بعد از برخورد باید کافی باشد تا مرکز جرم را تا بالاترین وضعیت اش درست بالای نقطهٔ تماس بلند کند. زاویه ای که $\bar{r}_c$ برای این کار می پیماید برابر است با:

$$x = \frac{\alpha}{2} - \theta \qquad (۱۹_۱)$$

که در آن $\alpha = ۶۰^\circ$ زاویه رأس مثلث هایی است که در مرکز چندضلعی به هم می رسند.[۳] انرژی لازم برای بالابردن مرکز جرم در وضعیت مذکور برابر است با:

$$E_\circ = Mga(1 - Cosx) = Mga(1 - Cos(۳۰^\circ - \theta)) \qquad (۲۰_۱)$$

در این صورت شرط لازم برای اینکه مرکز جرم به بالاترین وضعیت اش درست بالای نقطهٔ تماس برود، به صورت زیر است:

(۲۱_۱)

$$K_f = rk_i > E_\circ = Mga(1 - Cos(30^\circ - \theta))$$

از این رو:

$$\delta = \frac{1}{r}(1 - Cos(30^\circ - \theta)) \qquad (۲۲_۱)$$

(توجه کنید که: $Cos(30^\circ - \theta) = \frac{\sqrt{3}}{2}Cos\theta + \frac{1}{2}Sin\theta$)

ت)

فرض کنید n و K_i و $K_{f,n}$ انرژی‌های جنبشی بلافاصله قبل و بعد از n امین برخورد باشند. می‌خواهیم نشان دهیم رابطه زیر برقرار است:

$$K_{f,n} = rK_{i,n} \qquad (۲۳_۱)$$

که در آن $r = \frac{121}{289}$ برای یک منشور شش‌وجهی است.

بین برخوردهای متوالی ارتفاع مرکز جرم منشور به اندازهٔ $a\,Sin\theta$ کاهش می‌یابد، در این صورت انرژی جنبشی [بین برخوردهای متوالی] با عامل زیر افزایش می‌یابد:

$$\Delta = Mga\,Sin\theta \qquad (۲۴_۱)$$

در این صورت داریم:

$$K_{i,n+1} = rK_{i,n+1} + \Delta \qquad (۲۵_۱)$$

برای به دست آوردن حد $K_{i,n+1}$، نمی‌توان بسط کاملی از $K_{i,n}$ برحسب $K_{i,1}$ و n نوشت. اما با توجه به فرض مسئله چنین حدی وجود دارد. بدین جهت برای n به حد کافی بزرگ با دقت خوبی می‌توان از $K_{i,n+1} \approx K_{i,n}$ استفاده کرد، در نتیجه $K_{i,\circ}$ باید در رابطهٔ (۱_۲۵) صدق کند:

$$K_{i,\circ} = rk_{i,\circ} + \Delta \qquad (۲۶_۱)$$

و با حل آن داریم:

$$K_{i,\circ} = \frac{\Delta}{1-r} \qquad (۲۷_۱)$$

یعنی:

$$K = \frac{Sin\theta}{1-r} \qquad (۲۸_۱)$$

هم‌چنین برای حل این مسئله با نوشتن بسط کامل رابطه (۱_۲۵) داریم:

$$K_{i,2} = rk_{i,1} + \Delta \qquad (۲۹_۱)$$

$$K_{i,3} = rk_{i,2} + \Delta = r^2K_{i,1} + (1+r)\Delta \qquad (۳۰_۱)$$

و

$$K_{i,n} = r^{n-1}k_{i,1} + (1 + r + \ldots + r^{n-2})\Delta \qquad (۳۱_۱)$$

$$= r^{n-1}k_{i,1} + \frac{1-r^{n-1}}{1-r}\Delta \qquad (۳۲_۱)$$

در حد $n \to \infty$، خواهیم داشت:

$$K_{i,n} \to K_{i,\circ} = \frac{\Delta}{1-r} \qquad (۳۳_۱)$$

البته این همان نتیجه‌ای است که در قسمت قبل به دست آوردیم.

اگر تغییر انرژی جنبشی در یک دورهٔ کامل را حساب کنیم، یعنی بلافاصله قبل از n امین برخورد تا بلافاصله بعد از $(n+1)$امین برخورد، داریم:

$$\Delta k_{i,n} = K_{i,n+1} - K_{i,n}$$

$$= (r-1)r^{n-1}K_{i,1} + r^{n-1}\Delta \qquad (۳۴_۱)$$

$$= r^{n-1}(\Delta - (1-r)K_{i,1}) \qquad (۳۵_۱)$$

که مثبت است اگر مقدار اولیهٔ $K_{i,1} < K_{i,\circ}$ باشد، بنابراین n و K_i تامقدار حدی $K_{i,\circ}$ می‌تواند افزایش یابد.

و اما اگر $K_{i,1} > K_{i,\circ}$ باشد، انرژی جنبشی $K_{i,n}$ بلافاصله قبل از برخورد، کاهش می‌یابد تا به مقدار حدی $K_{i,\circ}$ برسد.

همهٔ اینها شاید حرکت با اصطکاک را که با سرعت افزایش می‌یابد به خاطر شما بیاورد. به زبان ریاضی، تفاوت اصلی این است که، در اینجا ما به جای معادله‌های دیفرانسیل با معادلهٔ تفاضلی سروکار داریم.

ث)

برای یک دنبالهٔ نامحدود حد مقدار K_i در قسمت (ت) باید بزرگتر از کمترین مقداری که برای دنباله در قسمت (پ) به دست آوردیم باشد:

(۳۶_۱)

$$\frac{1}{1-r}\Delta = \frac{1}{1-r}Mga\,Sin\theta > Mga(1 - Cos(30^\circ - \theta))/r$$

با جای‌گذاری $A = \frac{r}{1-r} = \frac{121}{168}$ داریم:

$$A\,Sin\theta > 1 - Cos30^\circ Cos\theta - Sin30^\circ Sin\theta \qquad (۳۷_۱)$$

$$(A + \frac{1}{2})Sin\theta + \frac{\sqrt{3}}{2}Cos\theta > 1 \qquad (۳۸_۱)$$

برای حل این نامعادله از تعریف زیر استفاده می‌کنیم[۲]:

$$u = arcCos\left(\frac{A + 1/2}{\sqrt{(A+1/2)^2 + 3/4}}\right) \approx 35/36^\circ \qquad (۳۹_۱)$$

در این صورت خواهیم داشت:

$$\mathrm{Cos}u\,\mathrm{Sin}\theta+\mathrm{Sin}u\,\mathrm{Cos}\theta>\frac{1}{\sqrt{(A+\frac{1}{2})^2+\frac{3}{4}}} \qquad (۴۰_۱)$$

$$\mathrm{Sin}(u+\theta)>\frac{1}{\sqrt{(A+\frac{1}{2})^2+\frac{3}{4}}} \qquad (۴۱_۱)$$

$$(۴۲_۱)$$

$$\theta>\arcsin\left\{\frac{1}{\sqrt{(A+\frac{1}{2})^2+\frac{3}{4}}}\right\}-u\approx 41/94^\circ-35/36^\circ=6/58^\circ$$

یعنی

$$\theta_0=6/58^\circ \qquad (۴۳_۱)$$

اگر $\theta>\theta_0$ و انرژی جنبشی قبل از اولین برخورد با توجه به قسمت (پ) کافی باشد، با توجه به این فرض، یک غلتش نامحدود خواهیم داشت.

حل مسئله ۲

الف)

با توجه به پایستگی انرژی داریم:

$$J_Q\times(\text{۱ سال})=L_i\rho_i d \qquad (۲_۲)$$

$$d=\frac{J_Q\times(\text{۱ سال})}{L_i\rho_i}$$

$$=\frac{(0/06\,\mathrm{Js^{-1}m^{-2}})\times(365/25\times24\times60\times60\,\mathrm{s})}{(3/4\times10^5\,\mathrm{J/kg})\times(917\,\mathrm{kg/m^3})}$$

$$=6/1\times10^{-3}\,\mathrm{m} \qquad (۳_۲)$$

ب)

با فرض اینکه فشار جو P_a و ثابت است، در عمق z کلاهک یخی فشار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P=\rho_i gz+P_a \qquad (۴_۲)$$

به علاوه در ته کلاهک یخی، $z=y_2-y_1$، داریم:

$$P=\rho_i g(y_2-y_1)+P_a \qquad (۵_۲)$$

$$=\rho_i gx(\tan\beta-\tan\alpha)+\rho_i gh_0+P_a \qquad (۶_۲)$$

برای اینکه آب به سطح زیرین کلاهک یخی جریان نیابد، لازم است شرایط هیدرواستاتیک برقرار باشد، یعنی:

$$P=(\text{مقدار ثابت})-\rho_w gy_1 \qquad (۷_۲)$$

$$=(\text{مقدار ثابت})-\rho_w gx\tan\alpha \qquad (۸_۲)$$

به علاوه:

$$\rho_i gx(\tan\beta-\tan\alpha)=-\rho_w gx\tan\alpha \qquad (۹_۲)$$

و یا:

$$\tan\beta=-\frac{\rho_w-\rho_i}{\rho_i}\tan\alpha \qquad (۱۰_۲)$$

$$=-\frac{\Delta\rho}{\rho_i}\tan\alpha\approx-0/091\tan\alpha \qquad (۱۱_۲)$$

$$S=-\frac{\Delta\rho}{\rho_i}=-0/091 \qquad (۱۲_۲)$$

که در آن علامت منفی مهم است.

این مسئله را همچنین به روش‌های مختلفی با توجه به یک جزء جرم آب در سطح زیرین یخ و تعادل فرض شده می‌توان حل کرد. اکنون به دنبال جواب آن می‌رویم.

با توجه به اینکه $\tan\alpha=0/8$ است، خواهیم داشت $\tan\beta=-0/073$ و

$$y_2=2km-0/07x \qquad (۱۳_۲)$$

دانش‌آموزان باید این خط را رسم کنند.

پ) چون یخ باقیمانده تنها از حرکت عمودی تأثیر می‌پذیرد، مشاهده می‌شود فرورفتگی مخروطی روی سطح دارای همان شعاع مواد گداخته در سطح زیرین کلاهک یخی، یعنی $1\,km$ است. مطابق آنچه در قسمت(ب) دیدیم، عمق فرورفتگی مخروطی روی سطح برابر است با

$$h=|r\tan\beta|=\frac{\Delta\rho}{\rho_i}r\tan\alpha \qquad (۱۴_۲)$$

$$=\frac{\Delta\rho}{\rho_i}H \qquad (۱۵_۲)$$

$$=0/091\times1\,km=91\,m \qquad (۱۶_۲)$$

دانش‌آموزان باید این نتایج را روی یک نمودار رسم کنند.

ت) حجم مخروطی به شعاع قاعدهٔ r و ارتفاع h برابر $V=\frac{1}{3}\pi r^2h$ است.

فرض می‌کنیم که ارتفاع مواد گداخته h_1 است. در این صورت حجم یخ ذوب شده در مرحلهٔ اول پیش از برقراری تعادل هیدروستاتیکی برابر $V_1=\frac{1}{3}\pi r^2h_1$ است.

در این صورت آب به اطراف مخروط جریان می‌یابد و تماس یخ با سطح بالایی مواد گداخته حفظ می‌شود. پس از برقراری شرایط هیدرواستاتیک آب‌های ناشی از ذوب یخ بر اثر نفوذ مواد گداخته، در بالای آن جمع می‌شوند که ارتفاع آن برابر $h_2 = \frac{\Delta\rho}{\rho_i} h_1$ است. در طول مرحلهٔ دوم نیز، آب به اطراف مخروط جریان می‌یابد. قبل از آنکه دمای مواد گداخته به $0^\circ C$ برسد، فرض کنید حجم یخ ذوب شده معادل مخروطی به ارتفاع h_2 است. به طوری که آب جمع شده در بالای آن به شکل مخروطی به ارتفاع $h'_2 = \frac{\rho_i}{\rho_w} h_2$ خواهد بود. ارتفاع کل مخروط یخی ذوب شده برابر است با:

$$h_{tot} = h_1 + h_2 + h_3 \qquad (۲_۱۷)$$

و عمق فرورفتگی روی سطح برابر است با:

$$h = \frac{\Delta\rho}{\rho_i}(h_1 + h'_2) \qquad (۲_۱۸)$$

این رابطه را به طور خیلی ساده‌تر با درنظر گرفتن تعادل هیدروستاتیکی در وضعیت نهایی به دست آوردیم (قسمت(پ) را دوباره ببینید). از این رو ارتفاع بین بالاترین نقطه مخروط آب در زیر کلاهک یخی نسبت به سطح زیرین اولیهٔ کلاهک یخی برابر است با:

$$H = h_1 + h'_2 = \frac{\rho_i}{\Delta\rho} h = ۱/۱\times۱۰^{۳}\, m \qquad (۲_۱۹)$$

با توجه به تعادل گرمایی داریم

$$\frac{۱}{۳}\pi r^{۲}\left\{\rho_r h_1 (L_2 + C_r \Delta T) - \rho_i L_i h_{tot}\right\} = ۰ \qquad (۲_۲۰)$$

که در آن $\Delta T = ۱۲۰۰^\circ C$ تغییر دمای مواد گداخته است.

با توجه به رابطهٔ (۲ـ۱۷) و این واقعیت که $h_2 = \frac{\Delta\rho}{\rho_i} h_1$ و $h_3 = \frac{\rho_w}{\rho_i} h'_2$، داریم

$$h_{tot} = h_1 + \frac{\Delta\rho}{\rho_i} h_1 + \frac{\rho_w}{\rho_i} h'_2 = \frac{\rho_w}{\rho_i}(h_1 + h'_2) \qquad (۲_۲۱)$$

به علاوه (با استفاده از معادله (۲ـ۱۹)) داریم:

$$h_{tot} = \frac{\rho_w}{\rho_i}(h_1 + h'_2) = \frac{\rho_w}{\rho_i} H$$

$$= \frac{\rho_w}{\Delta_\rho} h = ۱/۲\times۱۰^{۳}\, m \qquad (۲_۲۲)$$

که این نشان می‌دهد که مخروط به سطح کلاهک یخی نمی‌رسد. با جای‌گذاری این عبارت در معادلهٔ (۲ـ۲۰) برای h_1 داریم:

$$\rho_r h_1 (L_r + C_r \Delta T) = \frac{\rho_i \rho_w L_i h}{\Delta\rho} \qquad (۲_۲۳)$$

$$h_1 = \frac{\rho_i \rho_w L_i h}{\Delta\rho \rho_r (L_r + C_r \Delta T)} \qquad (۲_۲۴)$$

$$= ۱۰۳\, m \qquad (۲_۲۵)$$

جرم کل آبی که شکل گرفته برابر جرم آبی است که ذوب شده است. در این صورت داریم:

$$m_{tot} = \rho_i \left(\frac{۱}{۳}\right)\pi r^{۲} h_{tot} = ۲/۹\times۱۰^{۱۱}\ kg \qquad (۲_۲۶)$$

و جرم آبی که به اطراف مخروط جریان یافته برابر است با:

$$m' = \frac{h_1 + h_2}{h_{tot}} m_{tot} = \frac{\rho_w h_1}{\rho_i h_{tot}} m_{tot}$$

$$= ۲/۷\times۱۰^{۱۰}\ kg \qquad (۲_۲۷)$$

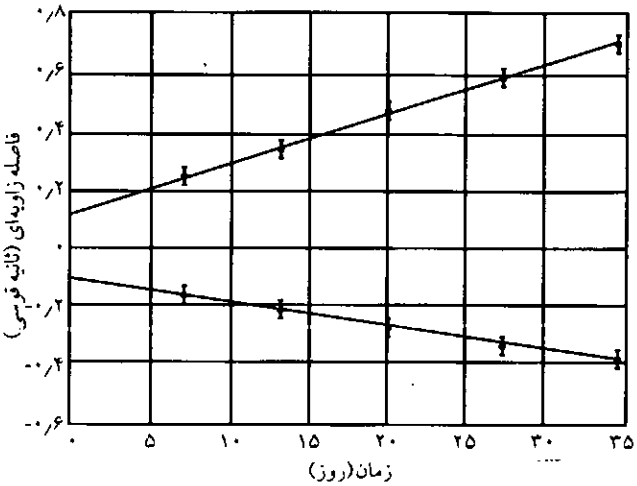
دانش‌آموزان شکل برآمدگی مواد گداخته و مخروط آبی که نهایتاً بالای آن قرار می‌گیرد را باید رسم کنند.

حل مسئله ۳

الف) مراکز چشمه‌ها را با دقت زیاد بر روی شکل (۳ـ۱) علامت می‌زنیم. فاصلهٔ زاویه‌ای مرکز چشمهٔ سمت چپ از علامت ضربدر را $\theta_1(t)$ و فاصلهٔ زاویه‌ای مرکز چشمهٔ سمت راست از علامت ضربدر را $\theta_2(t)$ درنظر بگیرید. این دو کمیت را با استفاده از خط‌کش در روزهای مختلف بر روی شکل اندازه می‌گیریم و بر حسب ثانیهٔ قوسی (as) تبدیل می‌کنیم، که نتایج آن در جدول زیر آمده است:

زمان (روز)	$\theta_1(t)$ (as)	$\theta_2(t)$ (as)
۰	۰/۱۳۹	۰/۰۷۶
۷	۰/۲۵۳	۰/۱۳۹
۱۳	۰/۳۵۴	۰/۱۹۰
۲۰	۰/۴۶۸	۰/۲۵۳
۲۷	۰/۶۰۱	۰/۳۱۶
۳۴	۰/۷۰۹	۰/۳۶۷

در خواندن اندازه‌گیری‌های خط کش $\pm 0/5\ mm$ خطا وجود دارد، در نتیجه $\pm 0/013\ as$ خطا در مقادیر θ به‌وجود می‌آید. داده‌های به‌دست آمده در جدول بالا را مطابق شکل(۳ـ۳) رسم می‌کنیم.



شکل ۳ـ۳: فاصله‌های زاویه‌ای θ_1 و θ_2 (ثانیهٔ قوسی) θ_0 بر حسب زمان(روز).

با عبور خط‌های مستقیم مناسب از نتایج داده‌ها خواهیم داشت:

$$\omega_1 = \frac{d\theta_1}{dt} = (17/0 \pm 1/0)\ mas/\text{روز}$$

$$= 9/54 \times 10^{-13}\ \text{rad/s} \qquad (۲_۳)$$

$$\omega_2 = \frac{d\theta_2}{dt} = (8/7 \pm 1/0)\ mas/\text{روز}$$

$$= 4/88 \times 10^{-13}\ \text{rad/s} \qquad (۳_۳)$$

$$V'_{1,\perp} = \omega_1 R$$

$$= 9/54 \times 10^{-13} \times 12/5 \times 3/09 \times 10^{19} \qquad (۴_۳)$$

$$= 3/68 \times 10^{8}\ \text{m/s}$$

$$= (1/23 \pm 0/07)\,C \qquad (۵_۳)$$

$$V'_{2,\perp} = 1/89 \times 10^{8}\ \text{m/s}$$

$$= (0/63 \pm 0/07)\,c \qquad (۶_۳)$$

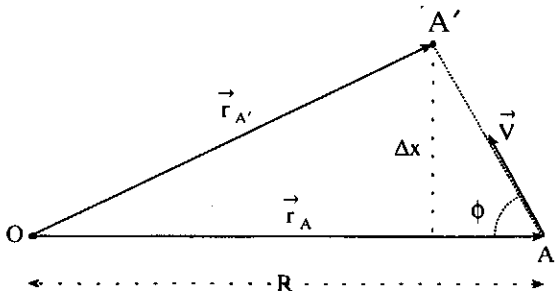
ب) حرکت چشمه در بازهٔ زمانی Δt از نقطه A تا نقطه A' را درنظر می‌گیریم(شکل ۳ـ۴).

در این صورت داریم

$$\vec{r}_{AA'} = \vec{r}_{A'} - \vec{r}_A = \vec{V}.\Delta t \qquad (۷_۳)$$

فرض کنید $\Delta t'$ اختلاف زمانی است که علائم ایجاد شده در O به A و A' می‌رسد. با توجه به اختلاف فاصلهٔ A و A' و سرعت محدود نور، c، داریم

$$\Delta t' = \Delta t + (r_{A'} - r_A)/c \qquad (۸_۳)$$



شکل ۳ـ۴: ناظر در نقطه O و مکان اولیهٔ چشمه در نقطه A است.
$\vec{V}$ بردار سرعت است.

برای Δt کوچک، $V_{\Delta t} << r_A = R$، داریم:

$$r_{A'} - r_A \approx -V\Delta t\, Cos\phi \qquad (۹_۳)$$

در این صورت:

$$\Delta t' = \Delta t(1 - \beta Cos\phi);\ \beta = \frac{V}{c} \qquad (۱۰_۳)$$

و سرعت خطی ظاهری چشمه در امتداد عمود بر خط مشاهده برابر است با:

$$V'_{\perp} = \frac{\Delta r}{\Delta t'} = \frac{\Delta x}{\Delta t(1 - \beta Cos\phi)}$$

$$= \frac{c\beta Sin\phi}{1 - \beta Cos\phi} \qquad (۱۱_۳)$$

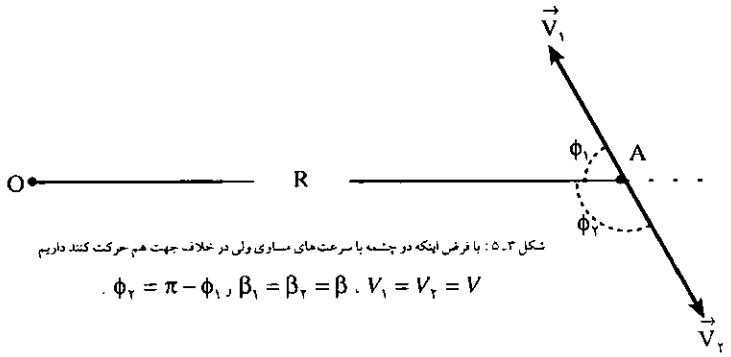
با استفاده از رابطهٔ اخیر، سرعت خطی حقیقی در چارچوب مرجع ناظر برابر $V_{\perp} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = c\beta Cos\phi$ است.

و سرعت زاویه‌ای چشمه از دید ناظر برابر است با:

$$\omega = \frac{V'_{\perp}}{R} = \frac{c\beta Sin\phi}{R(1 - \beta Cos\phi)} \qquad (۱۲_۳)$$

پ) شکل(۳ـ۵) وضعیت توصیف شده در این حالت را نشان می‌دهد. با قرار دادن $\phi = \phi_1$ داریم $Sin\phi_2 = Sin\phi$ و $Cos\phi_2 = -Cos\phi$. از معادلهٔ(۳ـ۱۲) داریم:

$$\omega_1 = \frac{\beta c Sin\phi}{R(1 - \beta Cos\phi)} \qquad (۱۳_۳)$$



شکل ۳ـ۵: با فرض اینکه دو چشمه با سرعت‌های مساوی ولی در خلاف جهت هم حرکت کنند داریم

$$\phi_2 = \pi - \phi_1 \, , \beta_1 = \beta_2 = \beta \, . \, V_1 = V_2 = V$$

$$\omega_2 = \frac{\beta c Sin\phi}{R(1+\beta Cos\phi)} \qquad (۱۹_۳)$$

کمیت‌های ω_1 ، ω_2 و R تعیین شوند، ولی در این قسمت می‌خواهیم کمیت‌های β و ϕ را به‌دست آوریم.

با محاسبات جبری ساده داریم:

$$(1-\beta Cos\phi)\omega_1\omega_2 = \beta c Sin\phi\omega_2 / R \qquad (۱۵_۳)$$

$$(1+\beta Cos\phi)\omega_2\omega_1 = \beta c Sin\phi\omega_1 / R \qquad (۱۶_۳)$$

با کم کردن رابطه‌های (۳ـ۱۵) و (۳ـ۱۶) از یکدیگر داریم:

$$2\beta Cos\phi\omega_2\omega_1 = \beta c Sin\phi(\omega_1 - \omega_2) / R \qquad (۱۷_۳)$$

$$\tan\phi = \frac{2R\omega_2\omega_1}{c(\omega_1 - \omega_2)} \qquad (۱۸_۳)$$

$$\theta = \arctan\frac{(2R\omega_2\omega_1)}{c(\omega_1 - \omega_2)} \qquad (۱۹_۳)$$

با تقسیم رابطه‌های (۳ـ۱۵) و (۳ـ۱۶) بر یکدیگر و با توجه به اینکه کمیت‌های ω_1 و ω_2 معلوم‌اند، داریم:

$$\omega_1(1-\beta Cos\phi) = \omega_2(1+\beta Cos\phi) \qquad (۲۰_۳)$$

$$\beta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{Cos\phi(\omega_1 + \omega_2)} \qquad (۲۱_۳)$$

با جای‌گذاری مقادیر ω_1 و ω_2 از قسمت(الف) و هم‌چنین مقادیر R و c داریم:

$$\phi = \arctan(2/57) = 1/20\, rad$$

$$= 68/8^\circ \pm 2^\circ \qquad (۲۲_۳)$$

$$\beta = 0/892 \pm 0/08 \qquad (۲۳_۳)$$

ت) معادلهٔ (۳ـ۱۱) نشان می‌دهد سرعت خطی ظاهری چشمه در امتداد عمود بر خط مشاهده بزرگتر یا مساوی با سرعت نور خواهد بود، اگر و تنها اگر:

$$\frac{\beta Sin\phi}{1-\beta Cos\phi} \geq 1 \qquad (۲۴_۳)$$

اگر $\beta < 1$ باشد، شرط (۳ـ۲۴) معادل است با:

$$\beta Sin\phi \geq 1 - \beta Cos\phi \qquad (۲۵_۳)$$

$$\beta(Sin\phi + Cos\phi) \geq 1 \qquad (۲۶_۳)$$

$$\beta\sqrt{2}(Sin\phi Cos\frac{\pi}{4} + Cos\phi Sin\frac{\pi}{4}) \geq 1 \qquad (۲۷_۳)$$

$$Sin(\phi + \frac{\pi}{4}) \geq \frac{1}{\beta\sqrt{2}} \qquad (۲۸_۳)$$

در نتیجه معادلهٔ (۳ـ۲۴) در صورتی صادق است که:

$$\beta > f(\phi) = \left(\sqrt{2}Sin\left(\phi + \frac{\pi}{4}\right)\right)^{-1} \qquad (۲۹_۳)$$

ناحیه مناسب فیزیکی در صفحهٔ (β,ϕ) به‌صورت زیر است:

$$(\beta,\phi) \in [0,1[\times [0,\pi] \qquad (۳۰_۳)$$

واضح است که معادله (۳ـ۲۴) تنها برای $\phi \in [0,\frac{\pi}{2}]$ می‌تواند برقرار باشد و اگر $\beta \geq \frac{1}{\sqrt{2}}$ باشد تنها یک پاسخ برای ϕ در معادلهٔ (۳ـ۲۸) وجود دارد. نگاهمان را به ناحیه زیر متمرکز می‌کنیم:

$$(\beta,\phi) \in [\frac{1}{\sqrt{2}},1[\times [0,\frac{\pi}{2}] \qquad (۳۱_۳)$$

به طوری که نگاشت آن

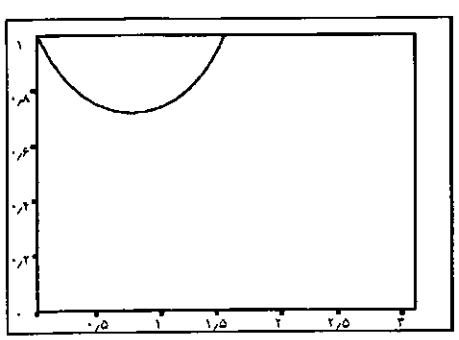
$$(\beta,\phi) \longrightarrow \beta Sin\left(\phi + \frac{\pi}{4}\right) \qquad (۳۲_۳)$$

در این ناحیه پیوسته است.

همچنین مناسب است به مرز ناحیه که با نامساوی (۳ـ۲۸) تعریف می‌شود، توجه کنیم:

$$\beta Sin\left(\phi + \frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \qquad (۳۳_۳)$$

که نشان می‌دهد β تابع از ϕ است که در شکل (۳ـ۶) رسم شده است. این منحنی ناحیه‌ای را که $V'_\perp > c$ است را جدا کرده است.



شکل ۳ـ۶: ناحیهٔ بین خط افقی و منحنی واقع در بالا گوشهٔ سمت چپ، بیانگر $V'_\perp / c > 1$ است.

ث) برای به‌دست آوردن مقدار بیشینهٔ $V'_\perp$ بر حسب ϕ ، با مشتق‌گیری از رابطهٔ (۳ـ ۱۱) خواهیم داشت:

$$\frac{d}{d\phi}\left(\frac{V'_\perp}{c}\right)=\frac{B(Cos\phi-\beta)}{(1-\beta Cos\phi)^2} \qquad (۳۴_۳)$$

به‌ازای $\phi=\phi_m$ این عبارت صفر است. در این صورت

$$Cos\phi_m=\beta \;;\; \phi_m=arcCos\beta\in\left]0,\frac{\pi}{2}\right] \qquad (۳۵_۳)$$

برای به‌دست آوردن بیشینهٔ آن از عبارت (۳ـ ۳۴) دوباره مشتق می‌گیریم. بنابراین داریم:

$$\frac{d^2}{d\phi^2}\left(\frac{V'_\perp}{c}\right)=-\beta\left(\frac{Sin\phi}{(1-\beta Cos\phi)^2}+2\frac{\beta Sin\phi(Cos\phi-\beta)}{(1-\beta Cos\phi)^3}\right) \qquad (۳۶_۳)$$

و در فرینه داریم:

$$\frac{d^2}{d\phi^2}\left(\frac{V'_\perp}{c}\right)\Big|_{\phi_m}=-\frac{\beta Sin\phi_m}{(1-\beta^2)^2}<0 \qquad (۳۷_۳)$$

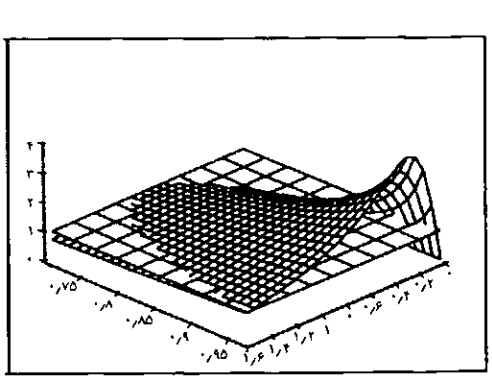
که این نشان می‌دهد ϕ_m متناظر با یک بیشینه است. از رابطه‌های (۳ـ ۱۱) و (۳ـ ۳۵) مقدار بیشینهٔ سرعت ظاهری در امتداد عمود بر خط مشاهده برابر است با:

$$\left(V'_\perp\right)_{max}=\frac{\beta c}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad (۳۸_۳)$$

با استفاده از این رابطه و رابطهٔ (۳ـ ۳۵) داریم

$$\left(V'_\perp\right)_{max}\xrightarrow[\beta\to1]{}\infty\;;\;\phi_m\xrightarrow[\beta\to1]{}0 \qquad (۳۹_۳)$$

شکل (۳ـ ۷) $V'_\perp/c$ را بر حسب β و ϕ در ناحیهٔ $(\beta,\phi)\in\left[\frac{1}{\sqrt{2}},1\right[\times\left[0,\frac{\pi}{2}\right]$ نشان می‌دهد.



شکل ۳ـ۷: سطح منحنی، $V'_\perp/c$ ، تابعی از β و ϕ است. صفحه، تابع ثابت $\beta=1$ را نشان می‌دهد.

ج) معادله‌های دوپلر نسبیتی انتقالی به‌صورت زیر است:

$$\frac{\lambda_{1,2}}{\lambda_0}=\frac{1\pm\beta Cos\phi}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad (۴۰_۳)$$

با جمع آنها و تعریف نسبت مفید ρ و حل آن بر حسب β خواهیم داشت:

$$\rho=\frac{\lambda_1+\lambda_2}{2\lambda_0}=\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad (۴۱_۳)$$

$$\rho^2(1-\beta^2)=1 \qquad (۴۲_۳)$$

$$\beta=\sqrt{1-\frac{1}{\rho^2}}=\sqrt{1-\frac{4\lambda_0^2}{(\lambda_1+\lambda_2)^2}} \qquad (۴۳_۳)$$

مقایسه این رابطه و رابطهٔ (۳ـ ۱) نشان می‌دهد:

$$\alpha=4 \qquad (۴۴_۳)$$

با حل سه معادلهٔ (۳ـ ۴۳)، (۳ـ ۱۸) و (۳ـ ۲۱) می‌توانیم β ، ϕ و R را به‌دست آوریم. برای مثال، اگر β را از معادلهٔ (۳ـ ۴۳) به‌دست آوریم و مقدار آن را در رابطهٔ (۳ـ ۲۱) قرار دهیم، با حل آن می‌توان ϕ را به‌دست آورد. در این صورت مقدار R از رابطه (۳ـ ۱۸) تعیین می‌شود.

با اندازه‌گیری طول موج‌های انتقال دوپلر یافته می‌توانیم فاصلهٔ چشمهٔ گسیل‌کنندهٔ امواج رادیویی با سرعت زاویه‌ای ω_1 و ω_2 (آن‌طور که از زمین دیده می‌شود) را به‌دست آوریم.

زیرنویس:

۱ـ می‌توان نشان داد تکانهٔ زاویه‌ای کل یک سیستم برابر مجموع تکانهٔ زاویه‌ای چرخشی (تکانهٔ زاویه‌ای نسبت به مرکز جرم) و تکانهٔ زاویه‌ای مداری (تکانهٔ زاویه‌ای حرکت مرکز جرم C نسبت به مبداء وقتی تمام جرم سیستم در C متمرکز فرض شود) است. (مترجم)

۲ـ $L_f=I\omega_f+M\left|\vec{r}_c\times\vec{V}_{cf}\right|=I\omega_f+Ma^2\omega_f\,Sin90^\circ$

$$=\left(\frac{5}{12}+1\right)Ma^2\omega_f=\frac{17}{12}Ma^2\omega_f$$

۳ـ به طور کلی برای یک N ضلعی $\alpha=\frac{2\pi}{N}$ است.

۴ـ برای حل این نامعادله از روش اعداد مختلط نیز می‌توان استفاده کرد، یعنی روش تصاعدی گاوسی یا استفاده از تقریب‌های $Sin\phi\approx\phi$ و $Cos\phi\approx1-\frac{\phi^2}{2}$

بسم الله الرحمن الرحیم

Ministry of Education
Organization of Research & Educational Planning

Teaching-Aids Publications Office

ISSN 1606-917X

Roshd

Physics Education Journal

Vol.13- No.57-2001

CONTENTS:

What is the Criterion for Development? ○ by: *M. Rahbar* / **2**
What Do You Think? ○ by: *Oleeyaie* / **3**
Figuring Physics ○ by: *Paul Hewitt* / **4**
Another Look at Projectile Motion ○ by: *Hui Hu & Jinyun Yu* / **5**
Teaching Geometrical Optics with the "Optics Mirage" ○ by: *Andrzej Sieradzan* / **6**
No Such Thing As a Free Lunch ○ by: *C. Jianota* / **9**
Educational Experiments ○ by: *M.A. Pezeshpour* / **15**
Direct Calculation of Electric Flux ○ by: *S. Shokri* / **16**
Getting a Charge Out of Transparent Tape ○ by: *R. Harrington*/ **18**
The Big Bang and the Genetic Code ○ by: *Gino segre*/ **21**
How Pollution Suppresses Rain? ○ by: *Owen B. Toon*/ **23**
Electric Hazards; Leakage Currents ○ by: *D. Giancoli*/ **26**
What Factors Affect the Trajectory of an Object? ○ by: *J. Riyazi*/ **28**
Measuring Blood Pressure ○ by: *Jones / Childers*/ **30**
Newton's Second Law for Systems With Variable Mass ○ by: *D. Chandler*/ **32**
How Did Friction Get So "Smart"? ○ by: *J.F. Reichert*/ **33**
Science and Creativity ○ by: *D. Giancoli*/ **36**
Magnetically Levitated Trains ? ○ by: *L.A. Bloomfield* / **37**
29th International Physics Olympiad ○ by: *R. Khalili*/ **50**

Managing Editor: Alireza Hajianzadeh
Editor - in - Chief: Manijeh Rahbar
Executive Director: Ahmad Ahmadi
Graphic Designer: Parvaneh Hadipour
Editor: Ahmad Ahmadi,
Jafar Mehrdad,Rouhollah Khalili,
Manigeh Rahbar,

P.O. Box: 15855/363,
Department of Physics,
Tehran, Iran

تصویری از یک قورباغه در میدان
مغناطیسی ناشی از جریان در یک سیملنوله قائم.
نیروی مغناطیسی رو به بالا با نیروی گرانشی وارد بر
قورباغه متوازن شده است.