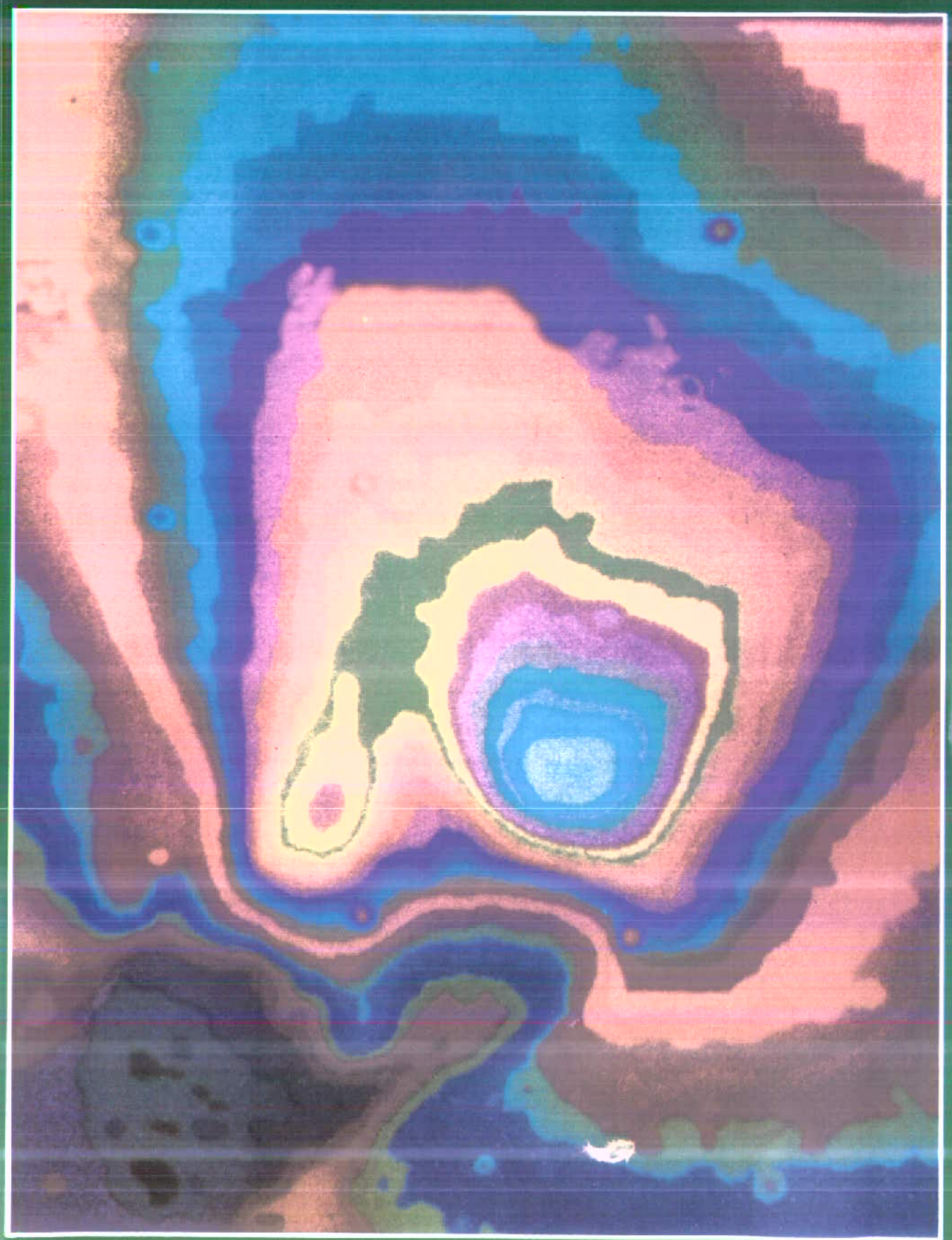
۱۴۰۰ تومان
۴۶

رشد آموزش فیزیک

سال یازدهم، بهار ۱۳۷۷

◆ شفق قطبی در شمال کانادا ◆

این تابلوی رنگارنگ زیبا، تصویر دنباله دار هالی است. رنگهای
کاذبی که رایانه به این تصویر افزوده است سطوح مختلف
درخشندگی را نشان میدهد.



۴۶

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی
دفتر انتشارات کمک آموزشی

رشد آموزش فیزیک،
شماره ۴۶، سال تحصیلی ۷۷ـ۱۳۷۶

رشد آموزش فیزیک

سال یازدهم، بهار ۱۳۷۷

بسم الله الرحمن الرحیم

۲ سرمقاله — مدرسه محوری

۴ رشته‌های آموزش — چگونه می‌توان با همکلاسی‌ها و همکاران خود رقابت کرد؟ ◦

۸ خاطرات ◦

۹ فیزیک مقدماتی در یک تصادف واقعی اتومبیل ◦

۱۳ آواشناسی (اکوستیک) تالارهای کنسرت علم است یا هنر؟ ◦

۱۷ بازنگری در برج کج کاشیها ◦

۲۳ بردار پرتوهای خورشد و ضرب نرده‌ای ◦

۲۵ نقش فیزیک دبیرستان در آماده‌سازی ... ◦

۲۹ محل فرود آمدن کجاست؟ ◦

۳۳ دانش‌آموزان در حد استاندارد نیستند ◦

۳۴ بحث درباره جوابهای یک مسأله فیزیکی ◦

۳۷ بررسی درستی پاسخها درمسأله فیزیک ◦

۴۱ کاربرد رساناهای خوب ◦

۴۲ رابطه میدان الکتریکی و مغناطیسی ◦

۴۴ به‌دست آوردن معادله حالت گاز کامل ◦

۴۵ فیزیک و آسایش — بررسی حرکات همرفتی در استخر خورشیدی ... ◦

۴۸ آینه علم — جایزه نوبل فیزیک ۱۹۹۷

۵۱ نابود کردن پارادوکس سن عالم ◦

۵۳ محیطهای میان ستاره‌ای ◦

۵۸ گوناگون — علم گام به گام پیش می‌رود ◦

۶۲ کشف علم ◦

مدیر مسؤول: سیّد محسن گلدانساز
سردبیر: دکتر منیژه رهبر
مدیر داخلی: احمد احمدی
صفحه‌آرا: مریم خونساری
اعضاء هیئت تحریریه: منیژه رهبر، سید جعفر مهرداد، محمدرضا اجتهادی، محمدعلی سعادت‌بخت، احمد احمدی

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

◦ مجله رشد آموزش فیزیک نوشته‌ها و حاصل تحقیقات پژوهشگران و متخصصان تعلیم و تربیت، بویژه آموزگاران، دبیران و مدرسان را، در صورتی که در نشریات عمومی درج نشده و مرتبط با موضوع مجله باشد، می‌پذیرد. ◦ 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 واژه‌های علمی و فنی دقت لازم مبذول گردد. ◦ مقاله‌های 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 واژه‌ها 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 مقاله‌های رسیده مختار است. ◦ آرای مندرج در مقاله‌ها، 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 نمی‌شود، معذور است.

نشانی دفتر مجله: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۶۵۸۵
تلفن امور مشترکین: ۹ـ۸۸۳۱۱۶۰ داخلی ۴۳۲
تلفن دفتر مجله: ۸۳۵۲۷۹
چاپ: شرکت افست

مدرسه محوری

به نام خدا

آن کسانی که به‌سخن گوش می‌دهند و از بهترین آن پیروی می‌کنند ایشانند کسانی که خدا هدایتشان کرده و اینان خردمندانند.

قرآن کریم ـ آیه ۱۸ سوره زمر

بنابه‌نوشته روزنامه اطلاعات ۲۴ / دیماه/ ۱۳۷۶، «... جناب آقای مظفر وزیر محترم آموزش و پرورش در دوران جدید، شعار وزارت آموزش و پرورش را **مدرسه محوری** و کاهش تمرکز اداری دانست. وی گفت وزارت آموزش و پرورش تلاش می‌کند تا بابها دادن به مدارس و انتخاب مدیران لایق و شایسته برای آنها عمده مشکلات خود را حل کند.»

وزیر آموزش و پرورش افزودند «... اگر ما به مدرسه اختیار بدهیم و **عزت و استقلال را به مدیران آنها برگردانیم** بیش از ۹۵ درصد از مشکلات وزارت آموزش و پرورش حل می‌شود در این راستا انتخاب مدیران شایسته متعهد و خلاق برای مدارس نقش مهمی دارد.»

پس از انقلاب شکوهمند اسلامی، به‌دلایل موجه و ناموجه انتخاب مدیران دبستانها و راهنماییها و به‌خصوص دبیرستانها با مشکلات و آشفتگیهایی روبرو شد. زمام بسیاری از دبیرستانها به‌دست جوانان بی‌تجربه افتاد. در پاره‌ای از آنها تفاوت سن دانش‌آموزان و اداره‌کنندگان دبیرستانها بسیار ناچیز بود. «رابطه» به‌جای «ضابطه» نشست. ای کاش جوانان دانش‌پذیر به‌جای پیران می‌نشستند.

«جوانان دانای دانش‌پذیر
سزد گر نشینند بر جای پیر.»

ولی عموماً دیده می‌شد که کارگزار مدرسه:

«جوان است و جویای نام آمده است
نبینی که با گرز سام آمده است.»

پند گرانقدر فردوسی را فراموش کردیم که:

«جوان کینه را شاید و جنگ را
کهن پیرو تدبیر و فرهنگ را.»

صاحب اختیار و مدیر مدرسه مانند رئیس یک خانواده است. قوام و دوام یک خانواده در این است که افراد آن به‌فضلیت و تقوی و تدبیر اداره‌کننده خود باور داشته باشند. بی‌توجهی به شرایط انتخاب مدیران مدارس و تغییر پیاپی اداره‌کنندگان آن، نتیجه‌های اسفباری در پی دارد یک بررسی اجمالی نشان می‌دهد که بها ندادن به‌مدارس و بی‌توجهی به‌انتخاب مدیران لایق چقدر برای وزارت آموزش و پرورش مشکل‌آفرین بوده است.

در آیین‌نامه دبیرستانها ـ تیرماه سال ۱۳۳۸ در ماده ۲ می‌خوانیم رئیس دبیرستان باید واجد شرایط ذیل باشد.

۱ـ صلاحیت اخلاقی ۲ـ داشتن حداقل درجه لیسانس و اطلاعات کافی در تعلیم و تربیت ۳ـ داشتن ۱۰ سال سابقه خدمت آموزشی که لااقل ۵ سال آن تدریس باشد ۴ـ کمتر از سی سال نداشته باشد...

سابق بر این بسیاری از مدارس خوب ایران قرین نام مدیران آن بود. حرمت بسیاری از مدیران دبیرستانها از صاحب مقامان اجرایی بیشتر بود. جناب آقای مظفر که خود عضو قدیمی از خانواده بزرگ آموزش و پرورش کشور است، در این مورد «**درد**» و «**دوا**» را به‌درستی شناخته‌اند و خوب می‌دانند:

«بوریاباف اگرچه بافنده است
نبرندش به‌کارگاه حریر»

امیدواریم شاهد توفیق وزارت آموزش و پرورش در انتخاب مدیران شایسته، متعهد، خلاق، به‌خصوص برای مدارس باشیم و از این پس خدای‌ناکرده در روزنامه‌ای با عنوان «آموزش و پرورش و حرف دل مردم» رنجنامه معلم بازنشسته‌ای را نخوانیم که ضمن آن بنویسد:

«... نمی‌دانم شادروان، زنده‌یاد **دکتر مجتهدی** هم، آن سالهای دور ـ در **دبیرستان البرز** ـ با سرایدار مدرسه بر سر تقسیم سود و زیان فروشگاه مدرسه کارش به‌دلخوری می‌کشید؟...» (اطلاعات ـ۳ ـ مهر ـ۱۳۷۶)

«هزاران نکته اندر دل نهفتیم
یکی بود از هزار اینها که گفتیم»

سالها پیش در پیشگفتار رشد آموزش فیزیک ـ شماره ۱۲ـ۱۱ زمستان ۱۳۶۶ یادآور شدیم که:

«... یکی از صاحب منصبان آموزش و پرورش حکایت می‌کرد که سالها قبل در یک مأموریت فرهنگی به‌فرانسه، بایکی از مقامات عالی آن کشور برای بازدید یک مؤسسه فرهنگی رفتیم. در محوطه وسیع مؤسسه با پیرمردی که بیلچه باغبانی در دست داشت و به‌نظر می‌رسید باغبان مؤسسه است روبرو شدیم. این مقام عالی کشور فرانسه به‌محض برخورد با این پیرمرد به سوی او رفت و با احترام و اخلاص خاص دست وی را بوسید. پیرمرد وقتی تعجب مرا دید در صحبت کوتاهی که با من داشت گفت:

«سی سال است مدیر این مؤسسه فرهنگی هستم. در فرانسه حکومت‌هایی سوسیالیست، دوگلیست، راست، چپ می‌آیند و می‌روند اما فرانسه در واقع همواره

در تسخیر حکومت علم است.»

❁❁❁

از لحاظ تأمین مخارج آموزشگاهها، قانون اساسی فرهنگ مصوب آبان ۱۲۹۰ هـ. ش مدارس را به‌دو گروه تقسیم کرده است **رسمی و غیررسمی**. رسمی آن است که از طرف دولت تأسیس یا نگهداری شود و غیررسمی آنکه بانی مخصوص داشته باشد و از محل اعانه و هدیه و موقوفه و شهریه شاگردان مخارجش تأمین شود. (دوره مختصر تاریخ فرهنگ ایران-دکتر عیسی صدیق-ص ۲۲۹ - سال ۱۳۵۱). بعدها از مدارس رسمی به‌عنوان **مدارس دولتی** و ازمدارس غیررسمی به‌عنوان مدارس غیردولتی **یا مدارس ملی** نام برده شده است.

افراد صالحی مدارس ملی معتبری را در تهران و شهرستانها برپا کردند ولی با درگذشت آنان مدرسه آنها نیز برچیده شد.

در سال ۱۳۲۷ هـ. ش برای اولین‌بار گروهی از معلمان باسابقه تهران باکاردست‌جمعی و تشکیل گروه فرهنگی مدارس ملی زیرنظر گروه تأسیس کردند. تاانقلاب ایران چند گروه فرهنگی صاحب‌نام بامقبولیت عام به‌اداره مدارس ملی اهتمام داشتند. طبقه متوسط مردم نیز، توانایی پرداخت شهریه این‌گونه مدارس را داشتند.

این شهریه نیز باهزینه سرانه دانش‌آموزان دولتی تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشت.

پس از انقلاب، مدارس ملی دراختیار دولت قرار گرفت و هم‌اکنون وزارت آموزش و پرورش با مشکل تنوع مدارس (دولتی، نمونه‌مردمی، غیرانتفاعی، شاهد، تطبیقی، تیزهوشان، بزرگسالان، ...) روبرو است. درنامه‌ای از خانواده معظم‌شهدا به روزنامه‌ها باعنوان **(وزیر آموزش و پرورش را مدد برسانیم)** می‌خوانیم:

(... یادمان نرفته یکی از شعارهایی که مرتباً در به‌ثمر رسیدن انقلاب شکوهمند مردمی اسلامیمان اعلام داشته و تحققش را ندا درمی‌دادیم اشاعه «قسط و عدالت» در جامعه بود... پس چگونه است که مدارس جامعه اسلامیمان در ایران تبعیضانه به‌انواع دولتی، نمونه‌مردمی و غیرانتفاعی - که غالباً انتفاعی به‌نحو ریا کارانه‌ای - تقسیم شده‌اند...». در روزنامه‌ها عباراتی باعنوان‌های ریز و درشت به‌صورتهای زیر به‌چشم می‌خورد.

(... قانون اساسی صراحت دارد که آموزش‌وپرورش رایگان است و با کلاه‌شرعی - اسم‌گذاری غیرانتفاعی - نمی‌توان آن را پاک کرد...). (مدارس غیرانتفاعی نمادی از ثروت‌های بادآورده است...). (طرح مدارس نمونه مردمی موجب کاهش کیفیت مدارس دولتی شده مورد اعتراض به‌حق خانواده‌هاست...).

از همه جالبتر این است که روزنامه اطلاعات روز سه‌شنبه ۱۶ / دی/ ۱۳۷۶ از قول خبرگزاری جمهوری اسلامی خبر می‌دهد که عده‌ای از اولیاء دانش‌آموزان می‌گویند مسؤلان مدارس دولتی تهران درطول سال تحصیلی به‌عناوین مختلف از خانواده‌ها پول دریافت می‌کنند و این درحالی است که اکثر دانش‌آموزان مدارس دولتی را اقشار کم‌درآمد جامعه تشکیل می‌دهند...

❁❁❁

مجموعه این حکایتها و شکایتها نشان می‌دهد که وزارت آموزش وپرورش به‌دلایل گوناگون، به‌تنهایی نمی‌تواند بار آموزش وپرورش تحصیلات دبیرستانی را بردوش بکشد. اگر توحید مساعی فرهنگیان باسابقه و صاحب صلاحیت یا کار دست‌جمعی و گروهی مددکار نباشد این آشفتگیها به‌زودی سامان نمی‌پذیرد.

در پیشگفتار شماره ۴۲ - زمستان ۱۳۷۵ رشد آموزش فیزیک نوشتیم که:

«... درحالی که بسیاری از خانواده‌ها باداشتن فرزندان مستعد از پرداخت هزینه‌های معمولی و متعارف عاجزند، دانش‌آموزانی از طبقه پردرآمد باصرف هزینه‌های سرسام‌آور و به‌کارگیری معلمان خصوصی متعدد به‌دانشگاهها راه می‌یابند. این افراد هم راه را برفرزندان مستعد کشور می‌بندند و هم خود تحصیلکرده‌های شایسته‌ای برای کشور نخواهند بود. تنها راه‌حل این مشکل این است که **دبیرستانهای دولتی را بازسازی و فعال کنیم و فرصت از دست رفته دانش‌آموزان مستعد و کم بضاعت را به آنها بازگردانیم.**

تاچندسال پیش مدارس دولتی به‌خصوص درشهرستانها از بهترین مدارس کشور و دردسترس دانش‌آموزان مستعد بودند. پزشکان و مهندسان و استادان کنونی دانشگاهها عموماً فارغ‌التحصیل این‌گونه مدارس هستند. تنها عنایت و توجه اولیای آموزش وپرورش و مدیران مسؤل می‌تواند زمینه تعلیم و تعلم را درمدارس دولتی آن‌چنان فراهم سازد که وجود مؤسسه‌های به‌اصطلاح غیرانتفاعی به‌عنوان مشخص‌ترین جلوه تبعیض در امر آموزش تجلی نکند...». حاصل کلام اینکه، بهسازی و فعال کردن مدارس دولتی و کمک به‌تأسیس مدارس به‌وسیله گروه دبیران باسابقه و صاحب صلاحیت و کار دست‌جمعی آنان می‌تواند راهگشای این مشکل باشد.

چگونه می‌توان با همکلاسی‌ها و همکاران خود رقابت کرد؟

(خاطره‌هایی از دوران تحصیلات دبیرستانی و مخصوصاً دانشگاهی)

اصغر نوروزیان

مرد خردمند هنرپیشه را
عمر دو بایست در این روزگار
تا به یکی تجربه اندوختن
در دگری تجربه بردن به کار

در سال تحصیلی ۱۴-۱۳۱۳ من در مدرسه متوسطه دولتی تبریز در کلاس ۱۲ علمی مشغول تحصیل بودم و چند نفر از معلّمان ما فرانسوی بودند. کتاب ریاضی، علوم و غیره به زبان فارسی نداشتیم، در نتیجه این معلّمان مطالب را به صورت جزوه به زبان فرانسه می‌گفتند و ما هم تند تند می‌نوشتیم و بعد با هم می‌خواندیم و مقایسه می‌کردیم و احیانا غلط‌ها و از قلم افتاده‌ها را یادداشت می‌کردیم. با وجود این همواره نمره‌های عالی را از ایشان می‌گرفتم.

برای نمونه یکی از روشهای جواب دادن به سوالات و حل مسایل را یادآور می‌شوم. برای حل مسأله هندسه که معمولاً ۱۰ یا ۱۲ سؤال داشت، ابتدا یک شکل با مقیاس درست رسم می‌کردم. مثلا دایره‌ای به شعاع ۳ سانتیمتر و در داخل آن یک مثلث قائم‌الزاویه بود که آن را هم با دقت می‌کشیدم، بعد ارتفاع یا چیزهای دیگر را که مطلوب مسأله بود از روی شکل حل می‌کردم. وقتی جواب به دست می‌آمد، فورا با خط‌کش طول یا با نقّاله مقدار زاویه را اندازه می‌گرفتم و می‌دیدیم که با محاسبه یکی است و به این ترتیب از حل مسأله اطمینان حاصل می‌کردم، دیگر لازم نبود که از دیگران بپرسم و به این ترتیب خیلی سریع مسأله حل می‌شد.

برای موفقیّت در امتحان نهایی، من با یکی از همکلاسیهایم به نام آقای سید رضی فردوس (که بعداً پزشک و بعد از چند سال مرحوم شد) ظهر در دبیرستان که تخته سیاه بزرگی داشت می‌ماندیم. یک روز من برای تهیهٔ ناهار برای خرید به بازار می‌رفتم (یک قرص نان به قیمت یک شاهی «$\frac{1}{20}$ ریال» می‌خریدیم و با یک شاهی هم پنیر یا سیب‌زمینی پخته یا حلوا... تهیّه می‌کردم) و روز دیگر دوست من مأمور خرید بود. ناهار را با هم و سرپا جلوی تخته سیاه صرف می‌کردیم و روی تخته سیاه به حل مسائل ریاضی و فیزیک و شیمی مشغول می‌شدیم. روزهای جمعه و تعطیلات رسمی ضمن سال که مدرسه تعطیل بود، این کار را در مدرسهٔ ملّی پدر دوستم آقای فردوس ادامه می‌دادیم و در نظر داشتیم که هر دو رشتهٔ پزشکی را انتخاب کنیم. بعد از قبول شدن در امتحان نهایی، در مردادماه ۱۳۱۴ من به معیت دوستم و پدر ایشان و خاله‌جان او که یک خانم مسنّی بود و برای اداره منزل استیجاری و تهیّه غذا و سرپرستی همراه ما بود عازم تهران شدیم و به دانشکده پزشکی که در آن موقع توأم با دانشکده علوم و ادبیات و دانش سرایعالی در میدان بهارستان بود، رفتیم. جواب دادند که زود آمدید؛ شما اوایل شهریور ماه برای ثبت‌نام مراجعه کنید.

شما نمی‌دانید که این یک ماه برای من به اندازه یک سال طول کشید. از یک طرف گرمای مردادماه تهران، از طرف دیگر دوری از پدر و مادر و خانواده برای اولین بار، از همه مهمتر ناسازگاری رشته‌ای که در نظر داشتم با روحیّه من که اگر پزشک می‌شدم و یک بچه مریض ثروتمندی مراجعه کند نمی‌توانم از او حقّ ویزیت بگیرم تا

کجا رسد به بچهٔ فقیری که مراجعه کند، صرفنظر از حق ویزیت بایستی پول دوا و غذا بپردازم، از کجا؟ و گفته شد که دورهٔ پزشکی هفت سال است.

تا اینکه روز دوم شهریور ماه، روز ثبت‌نام رسید و برای این منظور به دانشگاه رفتیم. خوشبختانه قبل از ثبت‌نام یکی از معلمان دورهٔ اول دبیرستان به نام آقای غفّار بینش‌پور (مرحوم) را در محوّطهٔ دانشگاه ملاقات کردم و جریان را با ایشان در میان گذاشتم و گفتم لطفاً رشته‌ای را برای من معرّفی کنید که دوره‌اش کم باشد ولی شب و روز مرا به خود مشغول کند. ایشان فرمودند در رشتهٔ فیزیک و شیمی ثبت‌نام کن که داوطلب بسیار کم دارد، و رشتهٔ مدرن و خوبی است. حرف ایشان را گوش کردم و چون سال اوّل دانشکده پزشکی هم با رشتهٔ فیزیک و شیمی در بهارستان بود، لذا سال اوّل را با دوست عزیزم آقای فردوس هم منزل بودم و امّا رشتهٔ انتخابی من در سال اوّل با داوطلبان رشتهٔ ریاضی در یک کلاس (به نام ریاضیات عمومی) بود و از فیزیک و شیمی خبری نبود. کلاس ما در حدود ۵۰ نفر دانشجو داشت که همهٔ آنها یا شاگرد اوّل و یا شاگرد دوم تمام شهرستانهای ایران بودند. خوشبختانه ترم اوّل تمام امتحانات ما کتبی بود. بعد از یک هفته مرحوم آقای دکتر مصاحب که دانشیار ریاضی ما بود سر کلاس آمدند و پرسیدند که آقای نوروزیان کدامیک از شما هستند؟ من دست بلند کردم، فرمودند: شما شاگرد اوّل شده‌اید، تبریک می‌گویم. من هم تشکّر کردم و سرجایم نشستم. ولی خیلی‌ها ناراحت شدند. یکی از آنها شاگرد اول شهر شیراز بود که شدیداً شروع به رقابت کرد. حتیٰ در سال دوم که در یک پانسیون بودیم، یک روز که دَر کُمد ایشان باز بود و کتابهایش را مرتب می‌کرد یک چراغ نفتی دیدم و تعجب کردم از رفقا پرسیدم چراغ نفتی را برای چه کاری نگهداشته است؟ گفتند که پس از ساعت ۱۰ شب که چراغهای پانسیون را خاموش می‌کنند، ایشان از چراغ نفتی برای مطالعه استفاده می‌کند. در یکی از شبها که توی حیاط رفتم، دیدم که ایشان چراغ نفتی را خیلی کم روشن کرده و خودش روی میز معلّم خوابیده است! نحوهٔ کار ایشان درست نبود و من مطابق دستوری که در شمارهٔ ۴۳ همین نشریه صفحهٔ ۱۵ نوشته‌ام کار می‌کردم و در نتیجه هیچ احتیاجی به بیدار ماندن شب یا مطالعهٔ زیادی نداشتم.

اینکه عرض کردم، خوشبختانه ترم اوّل تمام امتحانات ما کتبی بود، زیرا در امتحانات شفاهی ما آذربایجانیها کمی اشکال لهجه‌ای داشتیم. خوب یادم هست که یکی از همکلاسیهایمان در سال اوّل که رشتهٔ ریاضی را انتخاب کرده بود، یک روز مرحوم دکتر مصاحب، مسأله‌ای را داده بود که در تابلو حلّ کند. آن دوست عزیز مثلاً می‌گفت این عدد را در این عدد ضرب می‌کنیم؟ مرحوم دکتر مصاحب می‌گفتند که چرا از من سؤال می‌کنید. دومرتبه جملهٔ فوق را با علامت سؤال تکرار می‌کرد مرحوم دکتر مصاحب ناراحت

شده بود. همکلاسی ها گفتند که آقا ایشان یزدی هستند و لهجه شان این طور است و از شما نمی پرسند و منظورشان جملهٔ مثبت است نه استفهامی! حتی در آن موقع که رادیو و تلویزیون نبود، ما زبان فارسی را از همشهریان که لهجه داشتند یاد گرفته بودیم، ولی امروزه بچه ها از کوچکی زبان فارسی را مانند تهرانیها صحبت می کنند چون دائماً با تلویزیون و رادیو سر و کار دارند. رقیب شیرازی من، پس از پنج یا شش ماه گفت که ما اصلاً حرف شما را نمی فهمیدیم و الآن گاهگاهی کلمات فارسی را از زبان شما می شنویم!

در آخر سال هم امتحانات فقط کتبی بود. یادم هست که روز امتحان آنالیز ما پنجاه نفر در سالن قریب با فاصلهٔ زیاد نشسته بودیم و استاد آنالیز ما این سؤال را داده بود که "حجم چنبره را به هر چند طریق بلد هستید، بنویسید." منظورشان سه طریقهٔ انتگرال ساده، دوگانه و سه گانه بود، ولی من از این سؤال حسن استفاده را کرده بودم. خود استاد روی صندلی پشت تریبون نشسته بود و کتاب مطالعه می کرد. ده دقیقه به آخر وقت مانده بود یک مرتبه متوجه شد که کسی ورقه اش را نیاورده است و تعجّب کرد که فلانی که شاگرد اوّل کلاس است چطور نتوانسته است جواب بدهد. مستقیماً به طرف صندلی من که در وسط سالن بود آمد تا چشمش به ورقهٔ من افتاد داد زد که یکی از همکلاسی های شما ۱۰ روش نوشته است و نمی دانم چند روش دیگر خواهد نوشت. همه نگاه کردند و دیدند استاد پهلوی من ایستاده است و رقیب من بسیار ناراحت شد. دو روش دیگر هم نوشتم و ورقه را دادم. همانجا نمرهٔ ۲۰ روی ورقهٔ من گذاشت و نوشت آفرین.

موقع بیرون آمدن از سالن امتحان، رقیب من که معمولاً با من زیاد حرف نمی زد گفت ده روش چه بود؟ گفتم: ده روش نه، دوازده روش؛ سه روش را خودت می دانی. گفت خوب دیگر چه چیز! گفتم روش چهارم اینکه من چنبره را از جائی به طور عمودی بریدم و باز کردم تقریباً به شکل یک استوانه درآمد. حجم استوانه برابر است با حاصلضرب مساحت قاعده در ارتفاع (در اینجا ارتفاع متوسط عبارت است از طول محیط دایره ای که از مرکز مقطعها می گذرد)، و درست همان جواب را می دهد. روش پنجم، آن را در ظرف پر از مایعی وارد کردم، مقدار مایع بیرون ریخته شده با آن هم حجم می باشد. روش ششم، آن را در ظرفی پر از آب خالص وارد کردم مقدار وزن آب بیرون ریخته شده درست برابر با حجم آن است. گفت من اینها را می دانستم، گفتم خوب شما هم می نوشتید و به این ترتیب در امتحانات آخر سال اوّل نتوانست با من رقابت کند!

سال دوم از قبول شدگان کلاس ریاضیات عمومی فقط ۷ نفر وارد رشتهٔ فیزیک و شیمی شدند و بقیه به رشتهٔ ریاضی رفتند.

ما هفت نفر در یک کلاس کوچک در سه ردیف پشت سر هم می نشستیم. خوب یادم هست که مرحوم دکتر حسابی جلسه اوّل که در روز یکشنبه بود، برای تدریس به کلاس ما آمدند. رقیب شیرازی بنده در ردیف اوّل چسبیده به میز معلم نشسته بود و می خواست خود را به آقای دکتر حسابی نشان دهد. در جلسهٔ اوّل استاد کتاب فرانسوی فیزیک «بروها» را باز کردند و فرمودند ۵۰ صفحه از اول کتاب را برای دفعهٔ آینده که روز سه شنبه بود حاضر کنید، من از شما خواهم پرسید. ما به هر زحمتی بود این پنجاه صفحه دو ستونی با خط ریز را حاضر کردیم. روز سه شنبه فرارسید و رقیب بنده که جلوی چشم مرحوم دکتر حسابی نشسته بود به تخته سیاه دعوت شد و از او سؤال شد. ایشان هم با سرعت فوق العاده زیاد جواب دادند (حقیقتاً زحمت کشیده و حاضر کرده بود) پس از چند دقیقه آقای دکتر فرمودند: برو بنشین و پشت سر ایشان که من بودم به تخته سیاه دعوت شدم و سؤالی از من کردند. من جملهٔ اوّل را که گفتم فرمودند: دست نگهدارید و من تعجّب کردم که چه اشتباهی کرده ام. آنگاه رو به شش نفر دیگر کردند و فرمودند: ببینید کسی که فیزیک بلد است باید مثل این آقا جواب بدهد، ملاحظه می کنید که برای ادای یک جمله چقدر فکر می کند و جمله را درست ادا می کند. آنگاه رقیب مرا مخاطب قرار داد و فرمود که آن چطور جواب دادن بود که تند تند گفتی!

در هر صورت سال دوم نیز پس از عبور از هفتخوان و موانع باز رتبهٔ اوّل نصیب بنده شد، تا سال آخر رسید! رقیب من، از طریق پدرش که شخص سرشناسی بود با رئیس دانشگاه مرحوم دکتر صدیق آشنایی پیدا کرد و او به فرزندان رئیس دانشگاه که در دبستان بودند در منزل رئیس دانشگاه درس می داد، من هم با آقای فضل الله که در آزمایشگاه فیزیک بود و نظافت آنجا و همچنین برخی از کارهای فنّی مانند پر کردن باتریها و سیم کشی بر عهده ایشان بود، دوست شدم. یکی از همکلاسیهایم که از معلمان با سابقه و با سواد بازنشسته وزارت آموزش و پرورش هستند در آن موقع به من گفت: آقای نوروزیان،

رقیب شما با رئیس دانشگاه طرح دوستی ریخته است ولی شما با مستخدم آزمایشگاه دوست شده‌اید. گفتم درست است لابد در این هم حکمتی هست!

روزی موقع ظهر با عجله از دانشگاه می‌خواستم به منزل بروم، آقا فضل‌الله سلام کرد و گفت خدا شما را رساند من گرفتاری شدید دادم. پرسیدم چه شده است؟ گفت رئیس دانشگاه، در خیابان هدایت منزلی دارد که باغی است. ساختمان آن در وسط باغ است. رئیس دانشگاه از من خواست که چراغی بکشم که دو کلید داشته باشد یکی دم در خیابان و دیگری دم دَر ورودی ساختمان. من شما را ملاقات نکردم اجباراً از رقیب شما که در آنجا به فرزندان رئیس درس می‌دادند مراجعه کردم ایشان نقشه‌ای به من داد. دیروز پس از آنکه سیم‌کشی تمام شد کلید را زدم تمام سیمها سوخت، حالا چکار کنم البته این نوع سیم‌کشی تازه در تهران متداول می‌شد. پرسیدم آیا از کلیدهای برق معمولی استفاده کردی؟ گفت بلی، گفتم نه! شما باید یک جفت کلید دو پُل از خیابان لاله‌زار تهیّه کنی و آنها را بکار ببری، بیا برویم در آزمایشگاه فیزیک هم نقشه‌اش را بکشم و هم آزمایش کنم. با هم به آزمایشگاه رفتیم از کلیدهای اهرمی آنتن استفاده کرده و نقشه‌اش را کشیدم. چند روز بعد که دیدم بسیار خوشحال بود و تشکر می‌کرد.

چند روز بعد از کلاس بیرون آمدم و می‌خواستم برای صرف ناهار به منزل بروم. در مقابل ساختمان چهار طبقه آزمایشگاه‌ها مرحوم دکتر حسابی را دیدم که به طرف بالا نگاه می‌کرد. نردبان بلندی را به دیوار ساختمان آزمایشگاه تکیه داده بودند و آقای فضل‌الله با چند لولهٔ بریگمن بالای نردبان سیم‌کشی می‌کرد، پرسیدم آقای دکتر چکار می‌کنید؟ فرمودند که کنتور برق در پشت در ورودی آزمایشگاه فیزیک است. از آنجا سیم برق را از نبش دیوار و زیر شیروانی می‌خواهیم بکشیم و دوباره پائین بیاوریم و به آزمایشگاه مکانیک که در زیرزمین همین ساختمان است ادامه دهیم. گفتم آقای دکتر چرا سیم‌کشی را در داخل زیر زمین انجام نمی‌دهید که هم آسانتر و هم کم‌خرج‌تر باشد. آقای دکتر تا این حرف را شنید همراه من از دَر ورودی آزمایشگاه فیزیک به زیرزمین رفتیم. یک راهرو باریک بود که انتهای آن یک دیوار نازک آن را از آزمایشگاه مکانیک جدا می‌کرد فوراً بیرون آمد و به فضل‌الله فرمود که ما چرا این موضوع را درک نکرده‌بودیم، زود باش لوله‌های بریگمن و سیمها را بکن و بیا پائین.

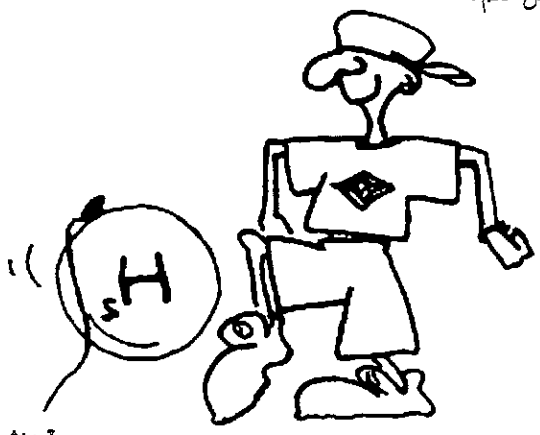
در آخر همین سال که سال سوم بود. ما سه نوع امتحان داشتیم: ۱ـ کتبی ۲ـ شفاهی ۳ـ آزمایشی (عملی). البته با سخت‌گیریهای آقای دکتر که گاهی جلسهٔ امتحان شفاهی ساعتها طول می‌کشید در دو امتحان اوّل و دوم موفّق شدم و امّا دربارهٔ امتحان عملی یا آزمایشگاهی، شنیدم که یک روز عصر آقای دکتر حسابی و معلّم آزمایشگاه در کنار میزی در آزمایشگاه فیزیک با هم بحث می‌کردند و فضل‌الله هم طبق معمول در جلوی تابلوی برق ایستاده بود. مرحوم آقای دکتر از معلم آزمایشگاه می‌پرسد که به نظر شما کدام یک از این هفت نفر دانشجویان رشته فیزیک و شیمی از همه بهتر آزمایش بلد است؟ او پس از کمی تفکّر و خاراندن سر که خودش هم شیرازی بود، می‌گوید: فلانی (رقیب بنده). یک مرتبه آقای فضل‌الله جلو می‌پرد و می‌گوید، نه آقای دکتر آقای نوروزیان! و جریان سیم‌کشی منزل رئیس دانشگاه را تذکّر می‌دهد و آقای دکتر حسابی هم می‌گوید راست می‌گوئید مگر سیم‌کشی برق به آزمایشگاه مکانیک را فراموش کرده‌اید؟

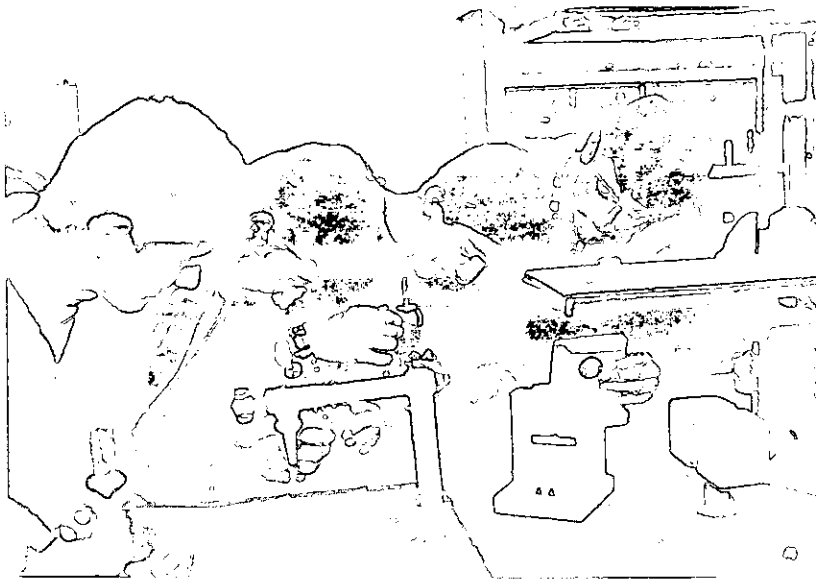
به این ترتیب بنده با معدّل ۱۶/۱۲ در بین تمام دانشجویان رشته‌های مختلف شاگرد اوّل شدم و رقیب من بعد از ده نفر از رشته‌های مختلف با معدّل ۱۳/۸۵ شاگرد دوم رشتهٔ فیزیک و شیمی شد و با همهٔ تلاشها و رقابتهای درست و نادرست نتوانست به آرزوی خود برسد (رجوع شود به سالنامهٔ دانشسرایعالی سالهای تحصیلی ۱۳۱۵ـ۱۳۱۶ و ۱۳۱۶ـ۱۳۱۷ صفحات ۲۴۰ـ۲۴۳).

در خاتمه به دانش‌آموزان و دانشجویان عزیز توصیه می‌کنم که برای رقابت که کار بسیار پسندیده است، دو چیز را فراموش نکنند:

۱ـ توکّل به خدا

۲ـ داشتن نظم و ترتیب در کارها و مخصوصاً در امر تحصیل علم.





تجربه‌های آموزشی

سهیلا آگاه

در سال ۱۳۶۸ به‌استخدام آموزش و پرورش درآمدم. اغلب فیزیک‌های چهارم‌نظام قدیم را تدریس کردم هرچند ترجیح می‌دهم بیشتر با دانش‌آموزان سال اول کار کنم. چون از مقطع راهنمایی وارد دبیرستان می‌شوند و اصولا هیچ اطلاعی از فیزیک و علوم فیزیکی ندارند و این درس را به‌عنوان یک درس خیلی سخت می‌پندارند.

اگر سعی کنیم در همین سال اول، دانش‌آموزان را به‌این درس علاقه‌مند کنیم و روش خواندن درس فیزیک را همراه با تجربه و آزمایش به‌آنها تعلیم دهیم دیگر در سالهای بعد مشکلی نخواهیم داشت.

من شخصا سعی می‌کنم در جلسه اول با مثالهای خیلی ساده از محیط اطرافشان حتی در آشپزخانه، خیابان و...

به آنها بفهمانم

فیزیک چیست؟

در پایان جلسه اول حقیقتا احساس می‌کنم نظر اکثر دانش‌آموزان نسبت به فیزیک فرق کرده است. در تدریس کتاب نیز گهگاه به‌مطالب ابتدایی و راهنمایی اشاره می‌کنم.

برای دانش‌آموزان نظام جدید از ۵ نمره میان‌ترم، همینطور ۱ تا ۱/۵ نمره را به ساخت وسیله اختصاص می‌دهم و ۳/۵ نمره را به‌کل کار کلاس و امتحانات میان‌ترم. چون عقیده دارم با ساخت یک وسیله هرچند ساده، چند مفهوم فیزیکی را عملا یاد می‌گیرند که فراموش نمی‌شود. البته این وسایل را با هزینه کم و امکاناتی که در خانه دارند درست می‌کنند مانند تهیه ماکت چشم با یک قلک پلاستیکی و یک عدسی ارزان‌قیمت که طرز کار فیزیکی چشم و تشکیل تصویر روی پرده شبکه به‌وسیله آن دقیقا مشخص می‌شود.

* * *

یکی از روشهای من در پرسیدن درس از دانش‌آموزان **طرح سؤال توسط خود آنهاست**. به‌این ترتیب که بعد از این که من از دو سه‌نفر درس را به‌صورت شفاهی سؤال کردم از نفرات بعد خود دانش‌آموزان سؤال می‌پرسند به‌این ترتیب کلاس فعالتر می‌شود.

* * *

در دبیرستان امام‌رضا علیه‌السلام مشهد با همکاری مدیریت محترم دبیرستان سرکار خانم هزاره، انجمن فیزیک تشکیل داده‌ام. عضوگیری برای این انجمن، ایجاد کتابخانه تخصصی فیزیک که کار آن کلاً توسط دانش‌آموزان انجام می‌شود، بازدید علمی از فیزیک سرای مشهد، ایجاد فیزیک سرا در دبیرستان، تنظیم جلسات سخنرانی علمی و تهیه مقاله برای کنفرانس فیزیک دانش‌آموزی مختصری از فعالیتهای این انجمن است. مقاله‌ای با عنوان **خاطرات یک روز با فیزیک** در مجله رشد فیزیک زمستان ۷۵ به‌چاپ رسید. طرح اولیه این مقاله را به دانش‌آموزان سال چهارم پیشنهاد کردم و آنان نیز با دقت در پدیده‌های اطراف و ارتباط آنها با فیزیک این مقاله را به‌رشته تحریر درآوردند که پس از ارائه در کنفرانس مورد توجه جمع کثیری از دانش‌آموزان و مربیان قرار گرفت.

فیزیک مقدماتی در یک تصادف واقعی اتومبیل

برنارد. جی. فلدمان

اخیراً برای نخستین بار به‌عنوان یک شاهد متخصص در تحلیل یک تصادف اتومبیل به‌کار گمارده شدم. بسیار متعجب و خوشحال شدم از اینکه چقدر فیزیک مقدماتی در این تحلیل دخیل است. بررسی این مورد یک ابزار آموزشی عالی برای دانش‌آموزان دبیرستان و دانشجویان دانشگاه است تا کاربرد اصول مقدماتی فیزیک را در زندگی واقعی ببینند.

تاریخچهٔ مسئله

درگیری من در این مورد هنگامی شروع شد که یک دانشجوی کلاس فیزیک مقدماتی من سبب آشناییم با یک حقوقدان شد که به دنبال یک شاهد متخصص می‌گشت تا او را در زمینهٔ مسائل فنی دخیل در یک برخورد اتومبیل راهنمایی کند. من به او گفتم که هرگز این کار را انجام نداده‌ام، اما مایلم که آن را امتحان کنم. او برای من تصویری از قسمت جلوی یک کامیون (اسب یک یدک‌کش که سپرش خم شده بود) و قسمت سرنشین یک فورد اسکورت را فرستاد (نگاه کنید به شکل ۱). (متأسفانه، دو مسافر در این تصادف کشته شده بودند. حقوقدانی که به من مراجعه کرده بود وکیل رانندهٔ اتومبیل بود، که خانوادهٔ یکی از در گذشتگان از او شکایت کرده بود.)

حقوقدان گزارش پلیس از واقعه را برای من فرستاد. این گزارش شامل موارد زیر بود(۱) اندازه‌گیری اصطکاک جنبشی، (۲) تحلیل خط ترمز، و (۳) تحلیل پایستگی تکانهٔ خطی. اندازه‌گیری اصطکاک جنبشی با کشیدن یک تایر بر روی همان سطحی که وسایل نقلیه تصادفی روی آن حرکت می‌کردند انجام شده بود! پایین‌ترین کشش لازم برای کشیدن یک تایر ۱۳۰ نیوتونی بر روی سطح اسفالت با سرعت ثابت برابر بود با $T = ۱۰۰\ N$. از رابطهٔ:

$$T = \mu mg \qquad (۱)$$

ضریب اصطحکاک جنبشی μ برابر بود با ۰/۷۹.[۲] پلیس فرض کرده بود که μ تابع سرعت نیست، که در سرعتهای کم تقریب مناسبی است.[۳]

پلیس طول و جهت چهار خطی ترمز را اندازه گرفته بود، دو خط ترمز کوتاه قبل از تصادف و دو خط بلند پس از آن. این طولها در معادلهٔ استاندارد شتاب ثابت وارد شده بودند.

$$V^۲ - V_۰^۲ = ۲a(x - x_۰) \qquad (۲)$$

که در آن V سرعت در ابتدای خط ترمز و $V_۰$ سرعت در پایان خط ترمز، $x - x_۰$ طول خط ترمز و a شتاب اتومبیل است.

$$a = -\frac{T}{m} = -\mu g \qquad (۳)$$

با اعمال معادله‌های (۲) و (۳) به خط ترمز اتومبیل پس از برخورد، و قراردادن $V = ۰$، و اندازه‌گیری مقدار $x - x_۰ = ۸/۲\ m$ سرعت اتومبیل پس از تصادف $V_۲' = ۱۱\ m/s$ به‌دست می‌آید.

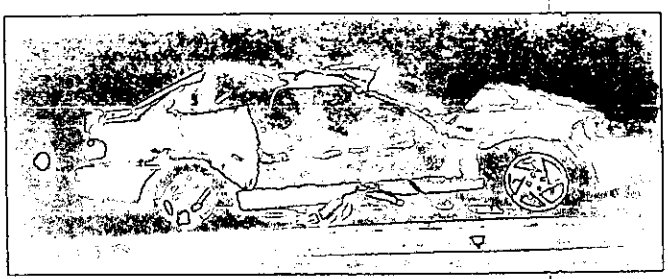
محاسبه سرعت کامیون درست پس از برخورد $V_۱'$ به‌واسطه خطاهای موجود در کارآیی ترمزهای کامیون و چرخش آن در خلال برخورد خطای بیشتری دارد. ترمزهای محور جلوی کامیون به‌طور قابل ملاحظه‌ای کوچکتر و کم‌قدرت‌تر از ترمزهای محور عقب‌اند، تا فرمان کامیون را در حالت ترمز کردن بیشتر قابل کنترل سازند. درنتیجه، چون بیشتر وزن کامیون در حالت ترمز کردن حدسی پس از تصادف به محور جلو منتقل شده بود، توان ترمز کردن کامیون به‌مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته بود. درخلال تصادف، کامیون ۹۰° چرخیده بود، و عمود بر جهت حرکت انتقالی خود قرار گرفته بود.[۴] درطی ترمز کردن کامیون به مسیر اولیه برگشته بود. درنتیجه، در بخش نخست ترمز کردن کامیون پس از تصادف روی چهارچرخ ترمز کرده و لغزیده بود، ولی در

درجه اول در بخش بعدی ترمز کردن چرخهای عقب آن را متوقف کرده بودند.

شتاب کامیون را می توان به صورت زیر تقریب زد

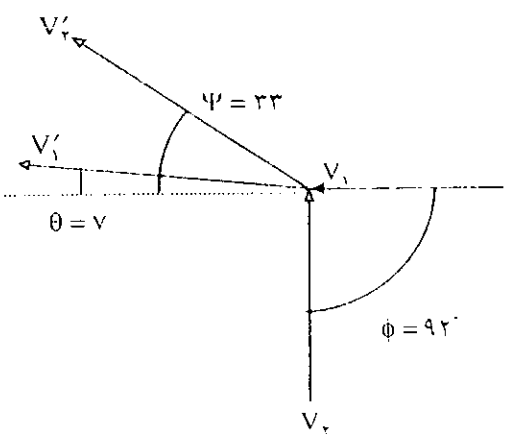
$$a = -n\mu g \qquad (۴)$$

که در آن n کارآیی ترمز کردن است. پلیس از $n=۰/۷$ استفاده کرده بود، درحالی که شاهد متخصص از شرکتی که کامیون متعلق به آن بود گواهی کرد که n می تواند تا باشد.[۵] با استفاده از $n=۰/۷$ و $v_0 = ۰$ استفاده از طول خط ترمز $x - x_0 = ۱۱m$، به دست آوردیم $V_1' = ۱۱\ m/s$.



شکل ۱ـ تصویر اتومبیل پس از برخورد

شکل ۲ـ رابطه میان سرعتهای کامیون قبل و بعد از برخورد V_1 و V_1' و سرعت اتومبیل قبل و بعد از تصادف V_2 و V_2'.



سرعت اتومبیل و کامیون درست پیش از برخورد را می توان با استفاده از پایستگی تکانه خطی در دو بعد محاسبه کرد:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 Cos\phi = m_1 v_1' Cos\theta + m_2 v_2' Cos\Psi \qquad (۵)$$

$$m_2 v_2 Sin\phi = m_1 v_1' Sin\theta + m_2 v_2' Sin\Psi \qquad (۶)$$

که در آن $m_1 g = ۶۹۷۰۰N$ وزن کامیون، $m_2 g = ۱۳۶۰۰N$ وزن اتومبیل، $\varphi = ۹۲$، $\theta = ۷$ و $\Psi = ۳۳$ زاویه های بین بردار سرعت اتومبیل قبل از برخورد، V_2 بردار سرعت کامیون بعد از برخورد، V_1'، و بردار سرعت اتومبیل بعد از برخورد، V_2'، نسبت به بردار سرعت کامیون قبل از برخورد، V_1، است (نگاه کنید به شکل ۲). با استفاده از مقادیر $V_1' = ۱۱\ m/s$، $V_2' = ۱۱\ m/s$، که پلیس به دست آورده بود، محاسبه $V_1 = ۱۳\ m/s$ و $V_2 = ۱۳\ m/s$ راحت است. این را سناریوی I می نامم.

شاهد متخصص از شرکت کامیون گواهی کرد که $V_1 = ۱۱\ m/s$ و $N_2 = ۱۳\ m/s$ را برآورد کرده است. او اطلاعی از گزارش پلیس از واقعه نداشت (من نمی دانم چرا) و فقط طول خط ترمز بعد از برخورد را می دانست. او با توجه به ورقه استشهادش اظهار داشت که با توجه به پایستگی تکانه خطی، پایستگی انرژی، و سالها تجربه، بدون هیچگونه تحلیل کمّی به این نتیجه گیری رسیده است. این رهیافت کیفی بسیاری از فیزیکدانها را نگران می کند (اما در دادگاه کسی اعتراض نکرد). اما می تواند حاوی مغزه ای از حقیقت باشد.

امکان دیگری را در نظر بگیرید که من آن را سناریوی II می نامم. فرض کنید که سرعت کامیون درست قبل از برخورد $۶/۷\ m/s$ بوده باشد. با استفاده از $V_1 = ۶/۷\ m/s$ و $V' = ۱۱\ m/s$ و قرار دادن در معادله های (۵) و (۶) به دست می آوریم $V_2 = ۹/۴\ m/s$ و $V_2' = ۴/۹\ m/s$. می توان انرژی جنبشی تلف شده در این برخورد ناگشان، ΔKE، را با استفاده از پایستگی انرژی برای

سناریوهای I و II محاسبه کرد.

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 - \frac{1}{2} m_1 V_1'^2 - \frac{1}{2} m_2 V_2'^2 \qquad (۷)$$

این انرژی تلف شده در درجهٔ اول صرف تغییر شکل اتومبیل در خلال برخورد می‌شود.[۶] ممکن است بپرسید چگونه ΔKE به مقدار خسارت وارد بر اتومبیل مربوط می‌شود. به عنوان یک تقریب خام، فرض کنید بدنهٔ اتومبیل یک فنر «پلاستیکی» سخت باشد که از قانون هوک پیروی می‌کند.[۷] در این صورت جابه‌جایی بدنهٔ اتومبیل s , s, با رابطهٔ زیر به کاهش انرژی جنبشی مربوط می‌شود

$$\Delta KE = \frac{1}{2} KS^2 \qquad (۸)$$

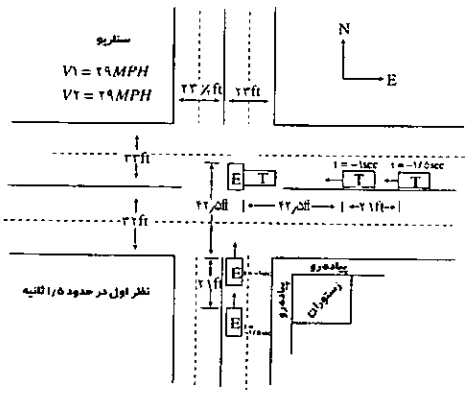
که در آن R ثابت فنر است. اکنون به‌آسانی می‌توان محاسبه کرد که ΔKE برای سناریوی I ۳/۴ برابر این مقدار برای سناریوی II و S در سناریوی I ۱/۸ برابر که S در سناریوی II است. به‌گمان من کسی که سالها در مورد تصادف تجربه دارد به‌آسانی می‌تواند بر مبنای خسارت مشاهده شده در شکل ۱ بین سناریوی I و II فرق بگذارد (همچنین $V_1' = 4/9\ m/s$ در سناریوی II با خط ترمز کامیون پس از برخورد کاملاً ناسازگار است، حتی اگر ۰/ n=۴ را در نظر بگیرید.)

اهمیت سناریوی II به‌لحاظ این گفتهٔ راننده کامیون است که قبل از تصادف با سرعت فقط $6/7\ m/s$ در حرکت بوده است. حقوقدانی که مرا استخدام کرده بود به‌تناقضها و پیامدهای $V_1 = 6/7\ m/s$، که در آن زمانهای مشاهده/ واکنش دخیل بود بسیار علاقه‌مند بود. در شکل ۳، محل اتومبیل و کامیون در زمانهای مختلف قبل از برخورد، با فرض اینکه هر دوی اتومبیل و کامیون با سرعت ثابت $13\ m/s$ سناریوی I حرکت می‌کرده‌اند، نشان داده شده است.[۸] به واسطهٔ وجود یک ساختمان در گوشهٔ چهارراه، تا $1/5\ s$ قبل از برخورد رانندگان در صحنه ظاهر نمی‌شوند. اگر فرض کنیم که یک زمان واکنش/ مشاهده مناسب در حدود $1/5\ s$[۹] است، تصادف اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. اما اگر فرض کنیم که مطابق سناریوی II کامیون با سرعت ثابت $6/7\ m/s$ و اتومبیل با سرعت ثابت $11\ m/s$ حرکت می‌کرده‌اند، محل کامیون و اتومبیل به‌گونه‌ای است که در شکل ۴ نشان داده شده است. اکنون دو راننده به‌مدت ۲/۵۶ در معرض دید یکدیگر هستند، و می‌توان با ترمز کردن یا تغییر مسیر به‌آسانی از تصادف اجتناب کرد. حقوقدان من با استفاده از این محاسبه این نظر خود را تأیید کرد که رانندهٔ کامیون وقت کافی برای اجتناب از تصادف داشته است و بنابراین تقصیر با اوست. برعکس، شاهد متخصص مربوط به شرکت کامیون از این محاسبه زمان مشاهده/ واکنش استفاده کرد تا اعتبار سناریوی I را ثابت کند ـ اتومبیل و کامیون هیچکدام برای مدت قابل ملاحظه‌ای ترمز نکرده و تغییر مسیر نداده بودند، زیرا هیچیک از رانندگان دیگری را به‌موقع ندیده بود.

یک مسئلهٔ موجود در این مورد اظهارات رانندهٔ اتومبیل بود که وی قبل از ورود به چهارراه کاملاً متوقف شده بود. (در مقابل اتومبیل یک چراغ قرمز چشمک‌زن و در مقابل کامیون یک چراغ زرد چشمک‌زن قرار داشت.) اتومبیل از ابتدای چهارراه تا محل تصادف در حدود ۱۴m (نگاه کنید به شکل ۳) حرکت کرده بود. با استفاده از سرعت اتومبیل در هنگام برخورد ($V_2 = 13\ m/s$ در سناریوی I) معادلهٔ (۲)، ($x - x_0 = 14\ m$ و $V_0 = 0$) شتاب فوراسکورت $6/1\ m/s^2$ به‌دست می‌آید.[۱۰] این برای یک فوراسکورت با سه سرنشین غیرممکن است. حد بالای شتاب آن $3/0\ m/s^2$ است. متخصص شرکت کامیون نتیجه گرفت که رانندهٔ فوراسکورت بدون ترمز کردن از چراغ قرمز چشمک‌زن گذشته است.

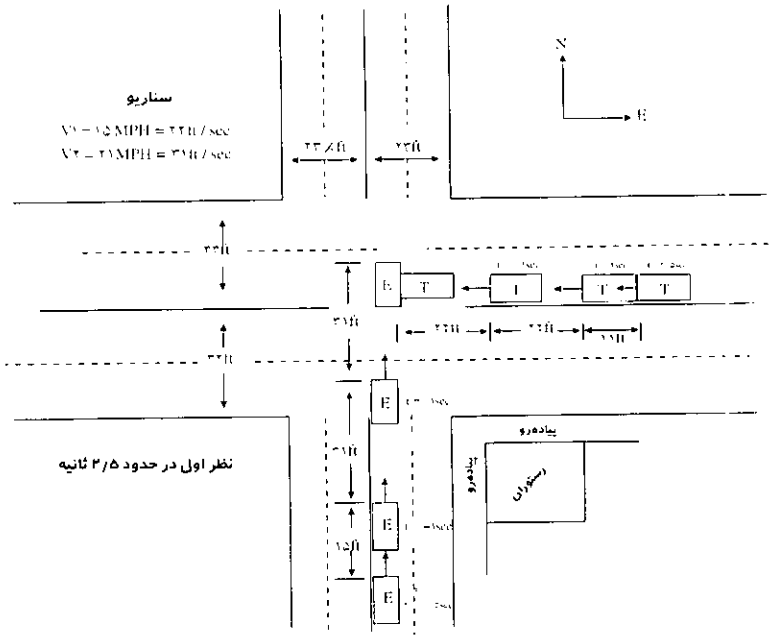
شکل ۳ـ نمودار سناریوی I که محل کامیون (T) و اتومبیل (E) را ۱/۵ , ۱/۰ و ۰ ثانیه قبل از برخورد با این فرض نشان می‌دهد که هر دوی کامیون و اتومبیل با سرعت ثابت $13\ m/s$ در حرکت‌اند.

شکل ۴ ـ نمودار سناریوی II که محل کامیون (T) و



اتومبیل (E) را ۲/۵ ، ۲ ، ۱/۰ و ۰ ثانیه قبل از برخورد، با این فرض که کامیون و اتومبیل به ترتیب با سرعتهای ثابت ۶/۷ m/s و ۱۱ m/s در حرکت‌اند، نشان می‌دهد.

نتیجه گیری



این مورد در دادگاه مطرح شد و هیأت داوران باحقوقدان من موافق بودند که سناریوی II متحمل و درنتیجه، هر دو طرف مقصرند. اگرچه هیأت داوران متوجه اهمیت فیزیک در این مورد نشدند، اما محصلان فیزیک پایه آن را تشخیص می‌دهند. امیداست که آنها بیاموزند که هنگام رانندگی در مقابل چراغ قرمز چشمک زن توقف کنند تا گرفتار کامیونها نشوند. اگر شاگردان شما به یک بحث مقدماتی درباره برخوردهای اتومبیل و طراحی آن علاقه‌مندند، کتاب اوهانیان[11] یک فصل جالب توجه دربارهٔ این مطلب دارد. یک مورد پیچیده‌تر تصادف اتومبیل در فیزیک تردی[12] چاپ شده است. همین طور، یک آزمایش درمورد تصادف اتومبیل نیز وجود دارد.[13]

مراجع

۱ـ یک آزمون خط ترمز با وسایل نقلیه موردنظر اندازهٔ دقیقتری را برای μ به دست می‌دهد. اما این کار انجام نشد.

۲ـ گزارش پلیس μ را تا دو رقم بامعنی و سرعتها را تا ده رقم بامعنی محاسبه کرده بود. نویسنده گزارش بامفهوم خطوط خطا و ارقام بامعنی آشنا نبود.

۳- J. D. Edmonds, *Am.J.physics*, **48**, 253(1980)

۴ـ می‌توانیم از پایستگی تکانه زاویه‌ای در این برخورد استفاده کنیم. اما، بدون داشتن ابعاد، گشتاورلختی، و مرکز جرم کامیون، به‌دست آوردن اعداد قابل اعتماد مشکل است.

۵ـ شرکت کامیون یکی از متهمان بود. هدف حقوقدان ما این بود که ثابت کند راننده کامیون تااندازه‌ای مقصر است، به طوری که بیمه‌گزار شرکت کامیون تااندازه‌ای خسارت شاکی را جبران کند و تعهدات مالی راننده اتومبیل کاهش یابد.

۶ـ کاهش انرژی جنبشی ΔKE، شامل مقدار کمی انرژی جنبشی دورانی کامیون چرخان نیز می‌شود که درنظر گرفته نشده است.

۷- بدنهٔ اتومبیل مانند یک فنر کشسان عمل نمی‌کند، زیرا پس از برخورد به شکل اولیه‌اش برنمی‌گردد. اما بدنهٔ اتومبیل نمی‌تواند رفتاری مانند یک فنر «پلاستیک» داشته باشد. که در آن جابه‌جایی دائمی با نیروی برخورد متناسب است.

۸ـ خط ترمزها قبل از برخورد هریک ۲m طول داشتند. برای سناریوی I، با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲)، $V_0 = 11\,m/s$ و $n=0/4$ برای کامیون، می‌توانیم سرعتهای اتومبیل و کامیون را قبل از ترمز کردن محاسبه کنیم. این محاسبه سرعتهای اولیه ۱۳ m/s را برای اتومبیل و کامیون می‌دهد. این تصحیح نتیجه‌های شکل ۳ را به‌طور قابل ملاحظه تغییر نمی‌دهد.

۹- *Missouri Driver's Guide*, Missouri Department of Revenue, 1993,P.57

۱۰ـ اگر خط ترمز ۲m قبل از تصادف را درنظر بگیرید، شتاب اتومبیل حتی بیش از این می‌شود ($9/1\ m/s^2$).

۱۱- A.C. Damask, *Phys. Today 40*, 36 (1987)

۱۲- P.L Ball et all, *Am.J.Physi 42*, 642, (1974).

The Physics Teacher, Vol 35, September 1997, P.P 335 - 338

مترجم: منیژه رهبر

آواشناسی (اکوستیک) تالارهای کنسرت: علم است یا هنر؟

«جان ریدن، استاد فیزیک دانشگاههای امریکا درسال ۱۹۲۰ دکترای فیزیک خود را از دانشگاه جان هاپکینز دریافت کرد. پس از گذراندن دورهٔ فوق دکترا در دانشگاه هاروارد، عضو هیأت علمی دانشکده نازارن شرقی، دانشکدهٔ میدل پوری و دانشگاه سن لویی درمیسوری شد. وی ضمن تدریس فیزیک درامریکا مسئول برنامه‌های فیزیک فرهنگستان بین‌المللی علوم، مسئول توسعهٔ طرحهای استاندارد آموزشی بین‌المللی علوم، سردبیر پیشین مجلهٔ امریکایی «فیزیک» (درسالهای ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۸) و مؤلف کتاب:

«فیزیک صوت و موسیقی» چاپ ۱۹۷۷ باویرایش دوم ۱۹۸۵ است. او اخیراً زندگینامه کاملی از «رابی» فیزیکدان بزرگ امریکایی به رشته تحریر درآورده است.»

اجرای موسیقی در تالار کنسرت

ایساک اشترن یکی از ویلونیستهای برجسته جهان است. هنوز هم هنگامی که روی صحنه یک تالار کنسرتِ خوب ظاهر می شود خود تالار نیز به‌آلتی درکنار دیگر آلتهای موسیقی تبدیل می‌شود. تالار کنسرت، محیط منفعلی نیست که درآن صرفاً آهنگ اجرا می‌شود. بلکه سهم عمده‌ای در برقراری ارتباط بین هنرمندان و رهبر کارکشتهٔ آنها دارد.

امواج صوتی که شنونده حاضر در تالار و اجراکننده را به‌هم مرتبط می‌کند حامل انرژی است. اگر چشمهٔ صوتی، یک تار ویولن باشد که بابسامد اصلی و بسامدهای هماهنگ بالاتر نوسان می‌کند، نوسانهای فشار باهمان بسامد سیم مرتعش توسط هوای اطراف ویولن انتقال می‌یابند. این امواج طولی فشار انرژی صوتی را تا فاصله‌های دوری از چشمه انتقال می‌دهند.

یک موج صوتی هنگامی که به‌نزدیکی پنجرهٔ بازی می‌رسد از آن عبور می‌کند و انرژی را از طرفی که چشمهٔ صوتی قرار دارد به‌فضای آن سوی پنجره منتقل می‌کند. زمانی که چشمهٔ صوتی به‌وسیلهٔ سطوح بازتابنده‌ای ـ نظیر تالار کنسرت ـ احاطه شده باشد موضوع کاملاً متفاوت می‌شود.

موج صوتی به‌دیواری برخورد می‌کند و پس از بازتاب به‌درون تالار بازمی‌گردد، و در فضای تالار منتشر می‌شود تا به‌سطحهای دیگر برخورد کرده دوباره بازتاب کند و این امر پی‌درپی ادامه می‌یابد. اگر چشمهٔ صوتی، انرژی را باآهنگ ثابتی در تالار پخش کند شدت صوت در فضای تالار به‌سرعت افزایش می‌یابد تا به‌سطح تعادل برسد. کسری از انرژی گسیل‌شده در هر بازتاب را سطحهای اطراف جذب می‌کند، درنتیجه، شدت صوتی که به‌سطح تعادل نزدیک می‌شود به‌ساختار سطحهای بازتاب‌کننده بستگی دارد. شدت صوت زمانی به‌حد تعادل می‌رسد که مقدار انرژی که همهٔ سطوح جذب می‌کنند برابر مقدار انرژیی شود که چشمهٔ صوتی در محیط تولید می‌کند.

در یک محیط بسته، شنونده ابتدا صوتی را که مستقیماً از سوی چشمه می‌آید می‌شنود. سپس، پس‌از یک بازهٔ زمانی که گاف زمان تأخیر اولیه نامیده می‌شود، امواج صوتی بازتابیده به‌گوش شنونده می‌رسد. کمی بعد، گروه دوم امواج صوتی بازتابیده می‌شوندو هر موج پس‌از دیگری از بالای‌سر شنونده عبور می‌کند. دراین صورت سطح شدت صوت آنقدر افزایش می‌یابد که شنونده دراصواتی که از همه‌سو می‌آیند و به‌حال تعادل رسیده‌اند غوطه‌ور می‌شود. مجموعهٔ همه صوتهای بازتابیده اصوات بازگشتی (پژواک) نامیده می‌شوند. درتراز صوتی تعادل، نسبت بلندی صدای پژواک به‌اصوات اصلی گسیل‌یافته مشخص‌کنندهٔ طنین دریافتی است، و طنین خوب از مشخصه‌های یک تالار کنسرت خوب است. چنین طنینی مشخصه اجرا دریک تالار موسیقی را

از یک پارک شهری متمایز می‌کند.

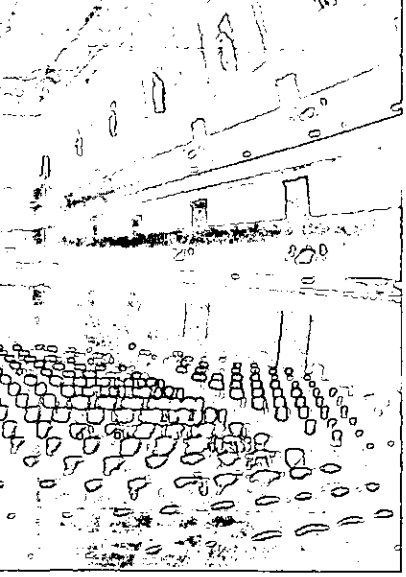
پس از آن‌که اصوات به‌وجود آمده به سطح تعادل رسیدند شروع به فروافت از این سطح می‌کنند. اگر تولید صوت متوقف شود، ابتدا صدای مستقیم از میان می‌رود شنونده یک افت ناگهانی را حس می‌کند. سپس آهنگ فروافت تاجایی که آخرین موج صوتی بازتاب یافته به‌شنونده برسد به‌آرامی کند می‌شود. سطح صوتی به صورت نمایی ضعیف و ضعیف‌تر میشود و امواج بازتابیده که پیاپی به‌شنونده می‌رسند کاهش می‌یابند.

زمان پژواک

زمان لازم برای اینکه صوت به‌سطح تعادل برسد یاازاین سطح فروافتد زمان پژواک نامیده می‌شود و مهمترین مشخصه اکوستیکی تالار کنسرت است به‌ویژه آنکه زمان پژواک به‌زمان لازم برای افزایش یا کاهش شدت صوت (وات بر متر مربع) باضریب یک میلیون تعریف می‌شود. اگر زمان پژواک خیلی کوتاه باشد، نتهای موسیقی بطور جدا از هم و ضعیف شنیده میشوند. برعکس اگر زمان پژواک خیلی طولانی باشد اصوات حاصل از نتهای متوالی باهم تداخل می‌کنند. نوعاً، مطلوبترین زمان پژواک برای موسیقی سمفونی دوثانیه است. زمان پژواک تالار سمفونی شهر بوستون که یکی ازبهترین تالارهای کنسرت جهان است، وقتی کاملاً پر باشد ۱٫۸ ثانیه است. تالار موسیقی ورینال در وین یکی دیگر از تالارهای ممتاز کنسرت جهان وقتی کاملاً پر است دارای زمان پژواک ۲٫۰۵ ثانیه است.

زمام پژواک به‌حجم و بزرگی تالار کنسرت و جنس و ساختار سطوح بازتابنده بستگی دارد. هرچه حجم تالار بیشتر باشد زمان بیشتری طول می‌کشد تاصوت باسرعت تقریبی ۳۴۵ متر بر ثانیه فاصله بین دیوارهای بازتابنده را طی می‌کند و زمان طولانی تری می‌خواهد تامیدان پژواک صوت ایجاد شده به‌تعادل برسد.

حجم تالار سمفونی ۶۱٫۴۹۶ مترمکعب است. حجم تالار کارنگی درنیویورک بیشتر است. (۷۹٫۶۱۰ مترمکعب) درحالی که زمان پژواک ۱٫۷ ثانیه‌ای آن کمتر از زمان پژواک تالار سمفونی بوستون است. این اختلاف ناشی از ساختار سطوح بازتابنده است. وقتی سطوح تالار دربرخورد بااموج صوتی قدرت جذب بیشتری داشته باشند آهنگ انرژی جذب شده توسط سطوح به‌سرعت برابر آهنگ انرژی تولید شده توسط همهٔ چشمه‌های صوتی می‌شود. درنتیجه زمان پژواک کوتاهتر خواهد بود.



بنابراین می‌توان گفته ایساک اشترن فهمید که تالار کارنگی درهنگام تمرین بهتراز وقتی است که پراز شنونده است. زیرا خاصیت جذب یک نفر معادل یک پنجرهٔ باز به‌مساحت ۰٫۵ مترمربع است، بنابراین زمان پژواک تالار کنسرت خالی بیشتر است (بدین‌دلیل است که زمان پژواک درحالت کاملاً پر اندازه‌گیری می‌شود به‌علاوه، اکثر تالارهای کنسرت رختکنی دارد که حضار می‌توانند پالتوهای زمستانی خود را که جذب‌کننده خوبی هستند در آنجا بیآویزند).

حفاظت تالار کنسرت از سر و صدا

تالارهای کنسرت معمولاً دروسط مناطق شهری بزرگ ساخته می‌شوند که پراز سر و صدا و توفه‌های مزاحم است. محوطهٔ داخلی تالار باید از سر و صداهای خارج مانند صدای هواپیماهای جت، اتوبوسها و آمبولانسها درخیابانهای مجاور و قطارهای زیرزمینی درامان باشد، امواج صوتی ایجاد شده درخارج از ساختمان تالار کنسرت از هر منفذ موجود درساختمان به‌داخل نفوذ می‌کنند. حتی یک سوراخ کلید می‌تواند مقدار قابل‌توجهی صوت را انتقال دهد. خود دیوارها نیز صوت را انتقال می‌دهند. امواج صوتی باهر بسامدی به‌دیوارهای خارجی تالار برخورد می‌کنند و باعث نوسان دیوارها بابسامد امواج می‌شوند. دیوارهای مرتعش نیز به‌نوبهٔ خود به‌چشمهٔ امواج صوتی در داخل تالار تبدیل می‌شوند. هرچه جرم دیوارها بیشتر باشد میرایی امواج انتقالی بیشتر خواهند شد. می‌توان پیش‌بینی کرد دیوارهایی بابسامدهای کم بیشتر به‌نوسان می‌آیند تا بابسامدهای زیاد. بنابراین از میان امواج صوتی که باهمهٔ بسامدها به‌دیوارهای بیرونی ساختمان برخورد می‌کنند دیوارها به‌بسامدهای پایین بهتر پاسخ می‌دهند و صداهای بم سریعتر به‌قسمت داخلی ساختمان نفوذ می‌کنند.

تالار کنسرت می‌تواند گرم یا خنک شود به‌این معنی که باید ماشین‌آلاتی برای ایجاد هوای گرم یا خنک موجود باشد، بادبزنهایی که هوا را به‌جلو برانند و کانالهایی که برای انتقال آن به‌کار می‌روند. ماشین‌آلات و حرکت هوا

چشمه‌های سر و صدا هستند. ماشین‌آلات باید در ساختمان جداگانه‌ای قرار گیرند. کانالها با ماده‌ای جذب کننده پوشیده شوند. باید از تعبیهٔ پیچهای تند، اتصالات زبر و ناهموار یا دمنده‌های هوا در لوله‌ها خودداری شود زیرا می‌توانند حرکتهای آشفته در هوا تولید کنند و آشفتگی هوا نوعی سر و صدای مخصوص تولید می‌کند.

به گفته یکی از مشاوران صوتی یکی از وضعیتهای بالقوه فاجعه‌آمیز در این مورد کانالهای تهویه است. زمانی که او محل ساختمان را بازدید می‌کرد متوجه شد که لوله‌ها چند سانتیمتر پایین‌تر از حد معمول نصب شده‌اند و آنها را روی پایه‌هایی قرار داده بودند. این اتصالهای بین لوله‌ها و تیرهای تالار سبب جفت‌شدگی صداهای لوله‌ها با خود ساختمان می‌شد. خوشبختانه متخصصان توانستند این مسأله را که نادیده گرفته شده بود قبل از تمام شدن سقف اصلاح کنند.

فرض کنید صداهای محیط از چشمه‌های داخلی و خارجی در سطح صدا در یک شب ساکت و آرام خانه روستایی در یک مزرعه باشد. رهبر یک ارکستر در چنین فضایی می‌تواند از گسترهٔ دینامیکی کامل ارکستر از بلندترین صدا تا صدای خیلی آرام استفاده کند و حتی اجرای ظریف‌ترین ملودی می‌تواند به وضوح شنیده شود. اگر طراحی اکوستیکی تالار غلط باشد حتی وقتی زمان پژواک یک تالار آرام، مطلوب باشد لذت شنیدن از میان می‌رود و اجراکنندگان نیز ناراحت خواهند شد.

تالارهای کنسرتی که مورد پسند منتقدان، موسیقیدانها و حضار است می‌توانند شکلهای مختلفی داشته باشند «چهارگوش، گرد یا نعلی شکل» اما همه ویژگیهای معینی دارند. تالارهای معروف و باشکوه دارای زمان پژواک بین ۱٫۷ تا ۲ ثانیه هستند. همانقدر که زمان پژواک ویژگی مهمی است گاف تأخیر زمانی اولیه نیز برای ایجاد ارتباط نزدیک اهمیت دارد. هرچه این گاف بیشتر باشد رابطه نزدیک با فضای موسیقی از تأثیر کمتری برخوردار است. گاف تأخیر زمانی اولیه در حدودهٔ ۱۰ تا ۷۰ میکروثانیه است ولی برای بهترین تالارهای کنسرت این مدت کمتر از ۴۰ میکروثانیه است.

امواج ایستاده

می‌توان در تالار موسیقی امواج ایستاده‌ای به‌وجود آورد. به‌عنوان مثال امواج صوتی می‌توانند بین دو دیوار موازی جلو و عقب بروند. کمترین بسامد امواج ایستاده بسامد اصلی است که در هر دیوار یک شکم فشار و بین آنها یک گره دارد. بنابراین طول موج، دوبرابر فاصله بین دو دیوار بازتابنده است. برای مضربی از بسامد اصلی، گره و شکمهای اضافی به‌وجود می‌آید.

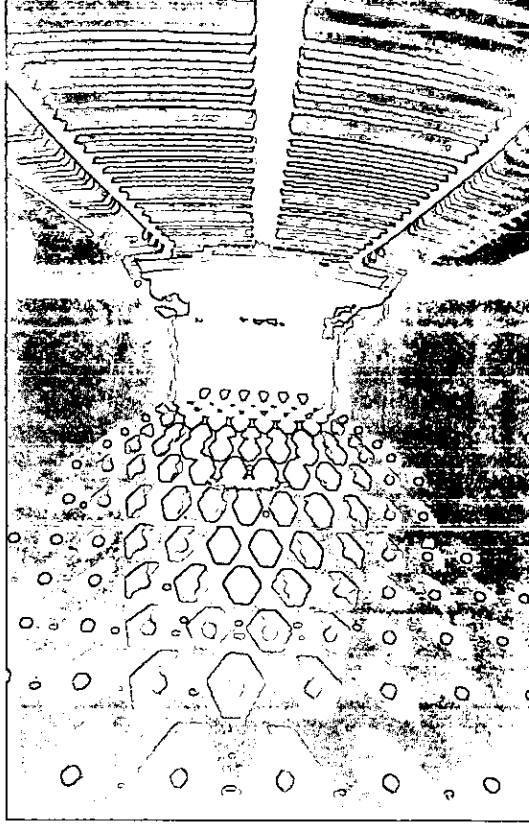
اگر امواج ایستاده بارز باشند پیکربندی گره و شکم این امواج می‌تواند نقاط مرده و نقاط دائمی به‌لحاظ صدا تولید کند که برای یک تالار کنسرت که یکنواختی صدا مهم است شرایط مطلوبی نیست به‌همین دلیل طراحان تالارهای کنسرت، ابعاد دیوارها را به‌صورت مضرب ساده‌ای از هم نمی‌سازند و از دیوارهای صاف و موازی اجتناب می‌کنند. بی‌قاعدگی در دیوارها و سقف نه‌تنها امکان ایجاد امواج ایستاده را کاهش می‌دهد بلکه به پخش امواج صوتی در همهٔ جهات بخصوص جهتهای دلخواه کمک می‌کند.

تالارهای کنسرت دارای ساختار سه‌بعدی هستند و امواج صوتی می‌توانند در همه جهتها باز تابیده شوند، در نتیجه هزاران مد طبیعی وجود دارد. طنین ایجاد شده توسط ویولن در تالار کنسرت به صدها مد طبیعی بدل می‌شود. خواننده‌ها می‌توانند با بهره‌گیری از مدهای طبیعی در تالار، گستره دینامیکی وسیعتری برای نتهای معین به‌دست آورند، پس امواج ایستاده، نقش مهمی را در تالار ایفا می‌کنند. انرژی صوتی که در مدل‌های طبیعی نوسان ذخیره می‌شود سهم عمده‌ای در ایجاد پژواک دارد.

علم و هنر

به‌رغم رشدفزاینده دانش اکوستیک، اجرای یک کنسرت در یک تالار تازه تأسیس همیشه با عوامل غیرمنتظره و غیرقابل پیش‌بینی همراه است. در اینجا این پرسش مطرح می‌شود که اکوستیک علم است یا هنر؟

افسانه‌های زیادی دربارهٔ اکوستیک تالارهای کنسرت وجود دارد که به‌این پرسش برمی‌گردد. عقیده رایجی مطرح است که کیفیت صدا در تالارهای کنسرت به‌مرور زمان بهبود می‌یابد (که این چنین نیست). در تالارهای بزرگ تمایل خاصی به‌اشکال و نقوش برجسته مانند تزیینات طلایی رنگ یا مجسمه‌سازی می‌شود به‌این منظور که منشأ صداهای خوب باشند (که چنین نیست). باورهای افسانه‌ای نیز وجود دارد که در عهد قدیم قوانین اکوستیک



اسرارآمیزی وجود داشته‌اند، قوانین پیشرفته ناشناخته‌ای که اگر بتوانیم به رمز و راز آن پی ببریم تالارهای کنسرت ما به سرعت پیشرفت خواهند کرد (ولی گذشتگان هیچگونه آشنایی به رازهای اکوستیک نداشته‌اند).

تأثیر اسرار حاکم بر مقوله اکوستیک با این حقیقت که اکوستیک به یک لحاظ، یکی ازکهن‌ترین شاخه‌های علم فیزیک است، بیشتر افزایش می‌یابد.

علاوه بر این اکوستیک در طراحی و تعیین محل تئاترهای روباز که بیشتر یونانیها و رومیها به کار می‌بردند نقش مهمی داشت. از طرف دیگر علم اکوستیک علمی جوان است و قبل از سال ۱۹۰۰ ملاحظات اکوستیکی به طور اصولی برای طراحی تالارهای کنسرت در نظر گرفته نمی‌شد. حتی اکنون نیز توصیه‌های متخصصان همیشه به کار گرفته نمی‌شود.

اثر تالار کنسرت بر موسیقی فراتر از لحظات تکان‌دهنده‌ای است که به طور مؤثر یک اجراکنندهٔ شیفته را با حضار مشتاق پیوند می‌دهد. فضاهای بسته و موسیقی در طول قرنها بر هم اثر گذاشته‌اند، به ویژه که طراحی ساختمان و ترکیب آن با موسیقی تأثیری عمیق بر هم داشته‌اند. تالارهای موجود بیشتر براساس نوع موسیقی طراحی شده و ترکیب موسیقیهای جدید بر چگونگی ساختار فضاهای موسیقی موردنیاز اثر گذاشته‌اند. به عنوان مثال، مدت زمان پژواک کلیساهای بزرگ قرون وسطی در حدود ۵ تا ۱۰ ثانیه بود که ایجاب می‌کرد موسیقی یا آوازها خیلی آرام اجرا شوند، زیرا بر اثر طولانی بودن پژواک در این کلیساها کلمات در صحبتها به سختی فهمیده می‌شدند و خواندن تصنیف و سرود جایگزین صحبت کردن شده بود.

جیروانی گابریلی، ارگ‌نواز کلیسای سن مارک درونیز در حدود سالهای ۱۶۰۰ نوشته است: «برای فضاهایی با زمان پژواک طولانی موسیقی با گام و ضربه آهسته مناسبتر است.

اجرای موسیقی در زمان گابریلی ابتدا درونیز و بعد در همهٔ ایتالیا رواج یافت. عبادتگاههای کوچک مستطیلی شکل با سقفهای بلند در نزدیکی کلیساهای بزرگ ساخته شده بودند. از مشخصات این دوره تزیین بر نقش و نگار دیوارها با جزییات برجسته بود. این سطوح تزیین شده، باعث انتشار مناسب اصوات با همهٔ بسامدهای قابل شنیدن می‌شد. زمان پژواک کوچک ـ کمتر از ۱/۵ ثانیه ـ برای این عبادتگاههای کوچک سبب توسعهٔ شکل جدید موسیقی و پیدایش دورهٔ باروک گردید. جورج فردریک هندل بیشتر موسیقی خود را برای چنین فضاهایی تصنیف کرده است. این عبادتگاههای کوچک دوستانه تجربه شنیداری را بهبود قابل ملاحظه‌ای بخشیدند.

با پیشرفت فضای اکوستیکی، اجرای موسیقی متداولتر شد.

ساختمانهای بزرگتر برای جمعیتهای مشتاق مورد نیاز بود، موسیقیهای دوره کلاسیک ـ سمفونیهای هایدن، موزارت و بتهوون ـ دارای بهترین اجرا در تالارهای کنسرت بزرگتر با زمان پژواک در حدود ۱/۵ تا ۱/۷ ثانیه بود. دورهٔ رمانتیک با پیروی از دورهٔ کلاسیک و موسیقیهای برامس چایکوفسکی، موریس راول و ریچارد اشتراوس در فضاهای موسیقی بزرگتر با زمان پژواک بیشتر ۱/۸ تا ۲/۲ ثانیه به سرعت پیشرفت کرد.

در آینده نه تنها در طراحی ساختمان تالارهای کنسرت از مواد و روشهای جدید بهره گرفته می‌شود بلکه استفاده از تجهیزات الکترونیکی افزایش می‌یابد. اگر بتوان از گذشته به عنوان راهنما استفاده کرد، می‌توان مطمئن بود که تالارهای کنسرت تغییر خواهند کرد و آهنگسازان موسیقیهای جدید ابداع خواهند نمود که نه تنها روشی برای رقابت است بلکه باعث افزایش فضاهای جدید موسیقی خواهد شد.

مترجم: عبدالحسن بصیره، عضو هیأت علمی دانشگاه کردستان

نقل از: کتاب Fundamentals of Physics
چاپ ۱۹۹۳ تألیف Halliday, Resnick and walker

بازنگری در برج کج کاشیها

جورج . ک . هورتون، برایان هولتون و اوژن فردکین

برج کج کاشیها یکی از نمایشهای فیزیکی همواره مورد توجه است . یافتن علت آن نیز مشکل نیست . اگر شما از هر شخص ناآگاهی بپرسید «در یک برج کج کاشیها تا چه ارتفاعی می‌توان کاشیهای مربعی را به طور متوالی با اندکی جابه‌جایی روی هم گذاشت؟» معمولاً پاسخی نادرست دریافت خواهید کرد . لااقل این تجربهٔ من با نسلهای مختلف شاگردانم بوده است به‌خصوص اگر برج را روی لبهٔ میز می‌ساختیم . این نامعقول به‌نظر می‌رسد که بالاترین معیار (یک کاشی ساده) از یک گروه پنج‌تایی ، با توجه به نیروی جاذبه ، کاملاً خارج از لبهٔ میز قرار گیرد .

در خلال سالها ، برجهای کاشی مردم بسیاری را سرگرم کرده است . هدف ما نمایش تفصیلی و به‌لحاظ فیزیکی شفاف نظریهٔ دخیل در این مسئله است . پاول جانسون «برج کج لیرها» ـ را با قرار دادن سکه‌های ایتالیایی و انباشتن آنها به کمک یک روش ریاضی بررسی کرد . و یک سری ناهماهنگ از جابه‌جایی نسبی بالاترین سکه به‌دست آورد که به گفتهٔ او واگرا بود . لئونارد ایزنر «برج کجی از مجله‌های *فیزیکال ریویو*» طراحی کرد و با استفاده از یک بحث دقیق یک سری هماهنگ واگرا برای جابه‌جایی بالاترین مجله روی تودهٔ مجله‌های زیرین به‌دست آورد . به گفتهٔ ریچارد وایدنر ، رابرت ارلیش ساخت «برج کج خط کشها» را با نظریه‌ای شبیه به نظریهٔ ما بررسی کرده است . در یک یادداشت دقیق و سازنده یان مک اینز نشان داد که موبایلی که از خط کشهای متوالی تشکیل شده باشد که با فاصلهٔ مناسب روی هم قرار گرفته‌اند ویژگیهایی شبیه به برج کج کاشیها دارد . به‌علاوه نمایش همیشگی مورد توجهی از برج بلند کاشیها در اکسپلوراتوریم سان فرانسیسکو وجود دارد که در آن برای سهولت انباشت کاشیها با بیشترین جابه‌جایی جانبی کاشی بالایی از یک الگو استفاده شده است .

در این مقاله کاشیهای غیریکنواخت مورد توجه‌اند ، اجازه دهید ابتدا کاشیهای یکنواخت را بررسی کنیم و نتیجه مؤلفهای قبلی را با توجه به نکته‌های جامع‌تر و بنیادی‌تر به‌دست آوریم . ما به‌مفهوم نسبتاً پیچیده گشتاور اشاره نخواهیم کرد تا مخاطبان گسترده‌تری را با تکیه بر درک شهودی آنها داشته باشیم . یک خواننده آگاه فوراً متوجه می‌شود که این رهیافت ما را به همان نتایج حاصل از گشتاور رهنمون می‌شود .

برای درک ایده اصلی این آزمایش شگفت‌انگیز ، محرک و کم هزینه که می‌توان آن را در هر مدرسه از ابتدا تا کالج انجام داد فقط به‌چند کاشی نیاز داریم . الگو ، موبایل ، و دیگر «چیزها» صرفاً تزیینات روی یک کیک خوشمزه هستند .

نگرشی جدید

رهیافت ما به نظریهٔ برج کاشی ، بار دیگر توان فرمول مکان x ، مرکز جرم دو ذره: به‌جرم m_1 که با سرعت v_1 حرکت می‌کند در x_1 و m_2 را که با سرعت v_2 حرکت می‌کند در x_2 نشان می‌دهد . به‌دست آوردن آن ساده و روشن است . اگر چه بحثمان را برای سادگی به یک بعد محدود می‌کنیم اندازه حرکت P و جرم m ذره‌ای که به بهترین صورت m_1 و m_2 را نشان می‌دهد باید همان اندازه حرکت دو ذره باشد به طوری که $m = m_1 + m_2$. از $P = (\frac{mx}{t}) = P_1 + P_2$ ، و نیز آنجاکه $P = mv$ است به‌دست می‌آوریم .

$$V = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

اما می‌دانیم که $x = x_0 + vt$ ، به طوری که اگر دو ذره با هم از مبداء شروع به حرکت کنند (ما ساده‌ترین حالت را در نظر می‌گیریم) ، می‌توان نوشت $x = vt$ ، $x_1 = v_1 t$ و $x_2 = v_2 t$. با قراردادن آنها در رابطهٔ مربوط به v ، پس از حذف t ، به‌دست می‌آوریم .

$$x = \frac{m_1 x_1 + x_2 x_2}{m_1 + m_2} \qquad (1)$$

این معادله برخلاف منشاء ساده‌اش برای پیدا کردن مرکز جرم اجسام پیچیده و پیوسته و نظیر اینها که در این مقاله مورد نظرند کاربرد بسیار دارد . برای ساختن برج کجی از کاشی معمولی تعدای از کاشیها را مستقیماً روی هم بچینید و سپس کاشی بالایی را به سمت راست بکشید تا مرکز جرم آن درست روی لبهٔ کاشی زیرین قرار

گیرد. این وضعیت را وضعیت حدی می‌گویند. اگر مرکز جرم کاشی بالایی روی لبهٔ کاشی بعدی که زیر آن واقع شده قرار گیرد، کاشی بالایی می‌لغزد و پایین می‌افتد. اگر در این مورد تردید دارید می‌توانید آزمایش را عیناً انجام دهید. سپس این فرایند را با کاشی بعدی تکرار کنید و به کاشی بالایی کاری نداشته باشید و این کار را تا آخر ادامه دهید. همه بحثهای قبلی ما به کاشیهای با سطح صاف، مربع، متحدالشکل و یکنواخت محدود می‌شد که مرکز جرمشان از معادله (۱) به‌دست می‌آید و در واقع مرکز جرمشان چنانکه از معادلهٔ (۱) برمی‌آید بر روی مرکز هندسی آنها قرار دارد. این جملهٔ پاول جانسون که «هیچ روش انباشته دیگری نمی‌تواند به جابه‌جایی بیشتر از آنچه برای ساختن برج کج کاشیها گفتیم بینجامد» ما را برانگیخت تا ببینیم آیا می‌توان از فرضیهٔ جانسون برای ساختن یک برج کج از کاشیها استفاده کرد.

برای آزمون این فکر، برج کجمان را با کاشیهای به جرم m و ابعاد $2a$ می‌سازیم که مرکز جرم آنها در فاصلهٔ αd از لبهٔ راست هر کاشی قرار گرفته است. بدیهی است که $0 < \alpha < 2$. حالت خاص $\alpha = 1$ همان مورد کاشیهای یکنواخت است (نگاه کنید به شکل ۱ـ الف). برج ما تعمیم کلی از کارهای قبلی است تا ببینیم چگونه می‌توان فرض جانسون را به موردی بسط داد که تنها محدودیت کاشیهای آن این است که یکسان، تخت، و تراکم‌ناپذیر باشند، رهیافت ما که مکمل کار قبلی است با اجتناب کامل از مفهوم گشتاور و با ایجاد یک رابطهٔ بازگشتی دارای شفافیت و جامعیت است. کاشیها را یکی یکی به طرف راس می‌کشیم و فاصله‌ها را از لبهٔ راست کاشی بالایی اندازه می‌گیریم. تعداد کاشیهای استفاده شده را با زیرنویس n و جابه‌جایی آنها را با x_1، x_2 و غیره نشان‌گذاری می‌کنیم. در هر مرحله از معادلهٔ (۱) و روش انباشت شکل ۱ الف، ب و ج استفاده می‌کنیم. با استفاده از یک کاشی $x_1 = \alpha d$ و با استفاده از دو کاشی خواهیم داشت.

$$x_2 = \frac{m x_1 + m(x_1 + \alpha d)}{m + m} = \alpha d\left(1 + \frac{1}{2}\right)$$

که در آن x_1 محل مرکز جرم کاشی بالایی و $x_1 + \alpha d$ مرکز جرم کاشی پایینی است. با استفاده از سه کاشی داریم

$$x_3 = \frac{2m x_2 + m(x_2 + \alpha d)}{2m + m} = x_2 + \alpha \frac{d}{3}$$

$$= \alpha d\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right)$$

که در آن x_2 محل مرکز جرم دو کاشی بالایی و $x_2 + \alpha d$ مکان مرکز جرم کاشی سوم است. با استفاده از n کاشی به‌دست می‌آوریم.

$$x_n = \frac{(n-1)m x_n + m(x_{n-1} + \alpha d)}{(n-1)m + m}$$

$$= \frac{n x_{n-1} + \alpha d}{n} (n \geq 1)$$

به طوری که:

$$x_n = x_{n-1} + \alpha d/n \qquad (2)$$

در نتیجه:

$$x_n = \alpha d\left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \ldots + \frac{1}{n}\right) \qquad (3)$$

می‌نویسیم:

$$x_n = \alpha d\, H_n \qquad (4)$$

که در آن H_n سری هماهنگ قطع شده است

$$H_n = 1 + \frac{1}{2} + \ldots + \frac{1}{n} \qquad (5)$$

با قرار دادن $\alpha = 1$ نتیجه برای کاشیهای یکسان به‌دست می‌آید. جالب است که یک توزیع دلخواه جرم کاشیها به نتیجهٔ ساده‌ای چون معادله (۳) می‌انجامد. اگر نظریهٔ مطرح شده بالاتر از سطح شاگردان کلاس شماست. یک مثال فیزیکی ساده و قابل فهم برای شاگردان جوان که مطلب را به‌خوبی می‌رساند مورد $\alpha = 1$ (کاشیهای یکسان) است. چند کاشی را بگیرید و شروع به انباشتن آنها کنید. برای راحتی می‌توانید کاشیها را در نیمه راه، یک سوم راه، ... علامت‌گذاری و معادلهٔ (۵) را بررسی کنید. با استفاده از یک خط‌کش می‌توانید معادلهٔ (۵) را با تقریب خوب بررسی کنید. مورد $\alpha \neq 1$ می‌تواند برای غنی کردن آزمایش به کار رود.

بعضی خواص ریاضی H_n

۱ را بر $(x - 1)$ تقسیم کنید. نتیجه زیر به‌دست می‌آید

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + \ldots + x^n$$

از این رابطه انتگرال بگیرید تا به‌دست آورید.

$$-Ln(1-x) = x + \frac{x^2}{2} + \ldots + \frac{x^n}{n}$$

با قرار دادن $x = 1$ ، داریم:

$$-Ln(0) = 1 + \frac{1}{2} + \ldots + \frac{1}{n} = H_\infty$$

که یک سری هماهنگ است. اگر $u = e^v$ نتیجه می‌گیریم که اگر $v = -\infty$ باشد، $u = 0$ می‌شود. از آنجا که $ln(u) = v$ نتیجه می‌گیریم که:

$$H_\infty = \infty \qquad (6)$$

به‌نظر می‌رسد که سری هماهنگ واگراست. کاشی بالایی را می‌توان تا بینهایت به‌طرف راست جابه‌جا کرد، البته اگر به‌اندازه کافی کاشی موجود باشد.

درعمل، البته ما هرگز بینهایت کاشی نداریم و با استفاده از n می‌توان H_n را به‌صورت زیر برآورد کرد.

$$\int_1^n \frac{dx}{x} = Lnx \qquad (7)$$

با استفاده از قاعده ذوزنقه داریم

$$\int_{x_0}^{x} f(x)dx = h\left(\frac{f_0}{2} + f_1 + f_2 + \ldots + f_{n-1} + \frac{f_n}{2}\right)$$

بـــــا $x_0 = 1$ ، $x_n = n$ ، $h = 1$ ، و $f(x) = \frac{1}{x}$

انتگرال را در معادلهٔ (۷) برآورد می‌کنیم. اگر جمله اول و آخر را دو برابر کنیم و این سهم اضافی را کم کنیم، طرف راست به‌صورت $H_n - \frac{1}{2} - \frac{1}{2n}$ درمی‌آید. که نتیجه می‌شود

$$H_n \cong Ln + 0/5 + 1/2n + \ldots$$

تعدادی از ریاضیدانان بزرگ با روشهای پیشرفته H_n را مطالعه کرده‌اند. دراینجا ما از فرمول آدامز معروف اقتباس کرده‌ایم که H_n را به دقت می‌دهد

$$H_n = Ln^n + 0/57722 + 1/2n + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{A_K}{n(n+1)..(n+k-1)} \qquad (8)$$

که در آن

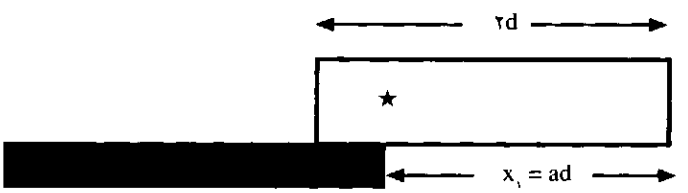
$$A_k = (1/k)\int x(1-x)(2-x)..(k-1-x)dx \qquad (9)$$

و

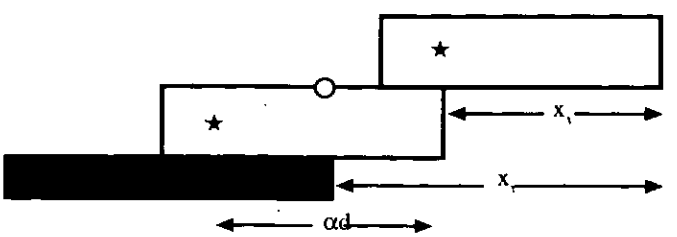
$$A_2 = A_3 = \frac{1}{12} \ , \ A_4 = \frac{19}{80} \ , \ A_5 = 9/70 \qquad (10)$$

آدامز عدد معروف $\gamma = 0/57722$ را تا ۲۶۰ رقم اعشاری محاسبه کرده است. معادله‌های ۸ تا ۱۰ همان گونه که ما انجام دادیم برای مطالعه جابه‌جایی کاشی بالایی، حتی اگر بتوان آزمایشها را در آزمایشگاه انجام داد، سرگرم کننده‌اند. آنها همچنین نشان دادند که واگرایی H_n با n لگاریتمی است به‌طوری که سری هماهنگ فقط در حد واگرایی است. مقادیر H_n برای n محدود در جدول I داده شده است.

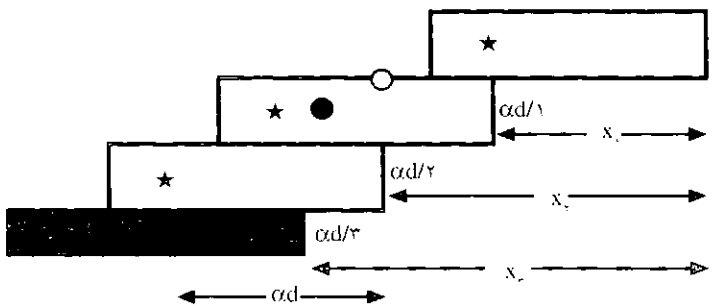
شکل ۱ـ الف ـ مرکز جرم برج تک کاشی با ستاره مشخص شده است.



شکل ۱ـ ب ـ مرکز جرم برج بادو کاشی با دایره مشخص شده است. ستاره‌ها محل مرکز جرم هر کاشی را نشان می‌دهند. توجه کنید که مرکز جرم کاشی بالایی در لبهٔ کاشی دوم است.



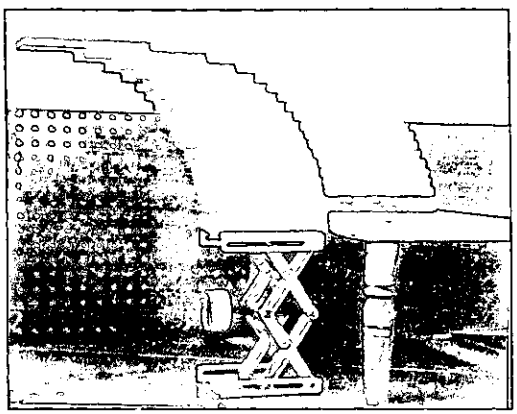
شکل ۱ـ ج . دایره توخالی مرکز جرم دوکاشی بالایی: دایرهٔ توپر مرکز جرم سه کاشی را نشان می‌دهد. ستاره‌ها مرکز جرم هر کاشی را نشان می‌دهند $0 < \alpha < 2$



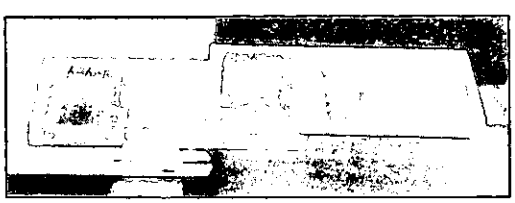
در معادلهٔ (۸) به عدد اویلر ۰٫۶ بر می‌خوریم. این یکی از چند عدد مهم مانند اعداد π و e است که عمیقاً در بافت فیزیک وارد شده‌اند. در حالی که شاگردان با π و e به صورت عادی برخورد می‌کنند و می‌دانند این اعداد را چطور اندازه بگیرند، اما در مورد γ کاملاً چنین نیست.

برای به‌دست آوردن γ با دقت بیش از ۱٪، باید فقط ده کاشی را روی هم گذاشت و H_n را با استفاده از خط‌کش و معادلهٔ (۸) به‌دست آورد. از آنجاکه γ نقش مهمی در ارزیابی نمودارهای فاینمن، در کرومودینامیک کوانتومی، و نظریه ریسمان دارد. این آزمایش مستقیماً به لبهٔ تیز جریان تحقیقات فیزیک مربوط می‌شود. در واقع، ریاضیدانان موفق شده‌اند تا ثابت کنند که γ گنگ است خیلی کمتر از اینکه متعالی باشد. گرچه همه تصور می‌کنند که چنین است.

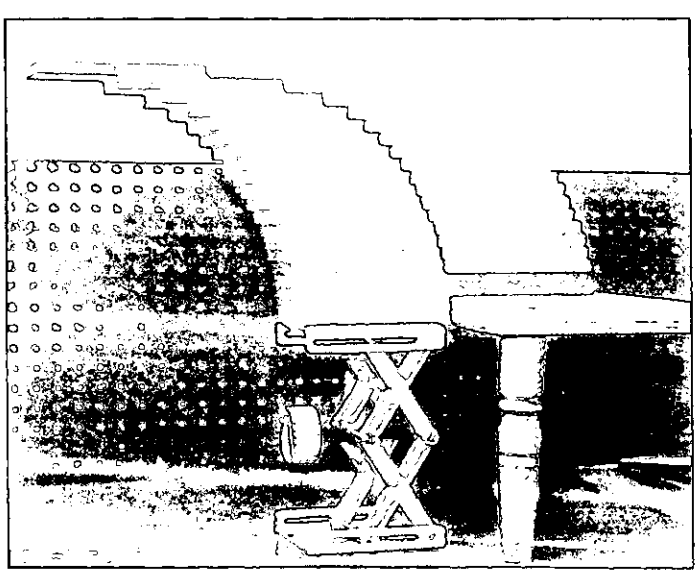
شکل ۲ـ ب. برج کج کاشیهای خاکستری باالگویی که پایین برده شده است. کاشی بالایی به اندازهٔ $-1/7(2d)$ جابه‌جا شده است. کاشیهای خاکستری بالایی درحال افتادن است.



شکل ۳ـ مورد کاشیهای غیریکنواخت که در آن چهار ردیف سوراخ موجود در پلاستیک مربعی با ساچمه‌های سربی پر شده‌اند. فقط دو کاشی برای جابه‌جایی یک کاشی از لبهٔ میز ضروری است.



شکل ۲ـ الف. برج کج کاشیهای خاکستری به‌خوبی بر الگویی از کاشیهای قرمز که در فاصله‌های ازپیش تعیین شده به‌هم چسبیده‌اند منطبق شده است. یک دستگیره الگو را بالا و پایین می‌برد.



بحث دربارهٔ نتایج

۱) کاشیهای یکنواخت ($\alpha = 1$)

برای سهولت انباشت بهینهٔ کاشیها (اگرچه این آزمایش را بدون هیجان می‌سازد) ما با پیروی از نمایشی که در محل اکسپلوراتوریم سان فرانسیسکو وجود دارد، برج کج را به شکل پله‌های متوالی به اندازه‌های d، $\frac{d}{2}$، $\frac{d}{3}$ و غیره ساخته‌ایم. دستگاه ما در شکل ۲ نشان داده شده است. این نمونه را می‌توان با یک دستگیره بالا و پایین برد. این الگو را با استفاده از یک دستگیرهٔ چرخان بالا و پایین برد. ما از ۲۱ کاشی استفاده کرده‌ایم که می‌توان آنها را در مقابل الگو گذاشت و سپس آنها را از آن دور کرد (معمولاً استفاده کننده یک انگشتش را برای اثرات اصطکاک اجتناب‌ناپذیر به‌آرامی روی کاشی بالایی می‌گذارد) مقدار جابه‌جایی کاشی بالایی از جدول I به‌دست می‌آید.

$$x_{۲۰} = ۳/۶d = ۱/۸(۲d)$$

در عمل با دستگاه ما، عامل واقعی نزدیک به ۱/۷ است.

با توجه به معادله (۳) اگر تعداد بینهایت کاشی محکم داشتیم می‌توانستیم کاشی بالایی را نسبت به کاشی پایینی به دلخواه جابه‌جا کنیم. استفاده از جدول I و تعمیم به n بالاتر به این نتیجهٔ نظری می‌انجامد که برای جابه‌جایی عرضی:

۱ کاشی به برج کجی متشکل از ۴ کاشی نیاز داریم

۲ کاشی به برج کجی متشکل از ۳۱ کاشی نیازمندیم

۱۰ کاشی به برج کجی با $۲/۷ \times ۱۰^{۸}$ کاشی نیاز داریم

۲) کاشیهای غیر یکنواخت ($\alpha \neq 1$)

کاشیهای غیریکنواخت را می‌توان به راههای مختلف ساخت مثلاً با چسباندن نواری از فلز چگال به انتهای یک قطعهٔ پلاستیکی سبک، یا تزریق یک توپی سنگین به داخل یک پلاستیک سبک مربعی یا یک مثلث متساوی‌الساقین. در حالت حدی وقتی که α نزدیک به ۲ می‌شود (بارگیری به‌شدت نامتقارن) برای جابه‌جایی یک کاشی به‌طور نظری فقط به یک کاشی نیازمندیم. البته این حالت حدی در عمل امکان‌پذیر نیست. اما یک برج کج با دو کاشی با α نزدیک به ۲ و نه کاملاً برابر با آن با جابه‌جایی یک کاشی عملاً ممکن است.

حالت شگفت‌انگیزتر وقتی است که α به صفر نزدیک شود، یعنی وقتی کاشیها را نسبت به حالت حدی قبلی ۱۸۰° بچرخانیم، باز هم اگرچه ممکن است α دوباره کوچک باشد اما جابه‌جایی عرضی به دلخواه بزرگی برای کاشی بالایی امکان‌پذیر است، اگرچه قسمت اعظم جرم هر کاشی در انتهای آن است. به‌عنوان یک حالت خاص $\alpha = ۱/۵$ را در نظر بگیرید. با استفاده از جدول I برای جابه‌جایی عرضی:

۱ کاشی، یک برج کج با ۲ کاشی مورد نیاز است

۲ کاشی، نیازمند یک برج کج با ۸ کاشی است.

سرانجام حالت $\alpha = ۰/۵$ را در نظر بگیرید. کاشیها را از مثال قبلی به‌عنوان مثال به اندازه ۱۸۰° بچرخانید. دوباره از جدول I استفاده کنید، برای جابه‌جایی عرضی:

۱ کاشی، به برج کاشی با ۳۱ کاشی نیاز داریم

۲ کاشی، به برجی با ۱۶۷۴ کاشی نیازمندیم

تمام این مقادیر نظری است که به‌دلیل وجود اصطکاک و کامل نبودن انباشت نمی‌توان در عمل به این مقادیر دست یافت (اگرچه می‌توان به‌آن نزدیک شد. نگاه کنید به شکل ۳)

نتیجه گیری

ما تعجب می‌کنیم که این مسئلهٔ معروف تا چه حد پرمحتواست، به‌لحاظ عملی انجام آن ساده و کم‌هزینه است، به‌ویژه در مورد غیریکنواخت فقط به تعداد کمی کاشی نیاز داریم. اما در آزمایشهای واقعی به حوصله زیاد، دستی که تکان نخورد، و دید خوب نیاز داریم تا نتایج کمّی را به‌دست آوریم. با وجود این، حتی یک نوآموز جوان هم می‌تواند بینش آزمایشگاهی خوبی داشته باشد، اما با پختگی بیشتر جنبه‌های پیچیده‌تر نمایان می‌شوند. از لحاظ نظری، گنجینه‌ای از مفاهیم در این آزمایش دخیل است، از جمله مواردی که در این مقاله آورده شده است عبارت‌اند از: تعادل پایدار، مرکز جرم، همگرایی، واگرایی سری، خواص توابع لگاریتمی، تابع نمایی، رفتار جامدات ناهمگن و یک اندازه‌گیری عملی از ثابت اویلر. مهمتر از همه، نتایج غیرمعقول را می‌توان برای به‌دست آوردن بینش شگفت‌انگیز در مورد طبیعت حتی در سنین کم به‌کار کرد. این همان چیزی است که موضوع آموزش و یادگیری خوب فیزیک را

تشکیل می‌دهد.

جدول I ـ مقادیر سری هماهنگ برای مقادیر معین n

n	H_n
۱	۱٫۰
۲	۱٫۵
۳	۱٫۸۳۳
۴	۲٫۰۸۳
۵	۲٫۲۸۳
۶	۲٫۴۵۰
۷	۲٫۵۹۳
۸	۲٫۷۱۸
۹	۲٫۸۲۹
۱۰	۲٫۹۲۹
۱۱	۳٫۰۲۰
۱۲	۳٫۱۰۳
۱۳	۳٫۱۸۰
۱۴	۳٫۲۵۱
۱۵	۳٫۳۱۸
۱۶	۳٫۳۸۱
۱۷	۳٫۴۴۰
۱۸	۳٫۴۹۶
۱۹	۳٫۵۴۹
۲۰	۳٫۵۹۹
۲۱	۳٫۶۴۷
۲۲	۳٫۶۹۳
۲۳	۳٫۷۳۷
۲۴	۳٫۷۷۹
۲۵	۳٫۸۱۹
۲۶	۳٫۸۵۸
۲۷	۳٫۸۹۵
۲۸	۳٫۹۳۱
۲۹	۳٫۹۶۶
۳۰	۳٫۹۹۹
۳۱	۴٫۰۳۱

مترجم: فاطمه ذبیحیان

The Physics Teacher, Vol, 35, April 1997, PP 214 - 219

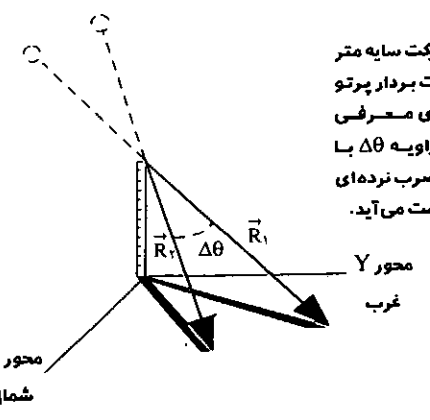
بردار پرتوهای خورشید و ضرب نرده‌ای

ارنست زیبروسکی جی آر[1]

در بیشتر کتابهای درسی فیزیک، قبل از آنکه به مسائل جالب برای فهم بهتر مطالب بپردازند ضرب نرده‌ای را در بخش‌های نخستین ریاضیات پایه معرفی می‌کنند. آزمایش ساده‌ای وجود دارد که ضرب نرده‌ای در سه بُعد را به پدیده‌ای فیزیکی، قابل مشاهده و آشنا یعنی: حرکت روزانه و ظاهری خورشید از وسط آسمان مرتبط می‌سازد. به کمک خورشید و شرایط مساعد، این آزمایش می‌تواند در مدت یک ساعت انجام پذیرد.

سؤال مطرح شده این است که: حرکت ظاهری خورشید می‌تواند برحسب چرخش زمین بیان شود. زمین در مدت ۲۴ ساعت 360° و یا در مدت یک ساعت 15° می‌چرخد. هرچند، این مقدار از روی زمین (مستقیماً) نمی‌تواند تأیید شود مگر آنکه ناظر از زمین خارج شود تا زمان چرخش زمین را برآورد کند. چگونه می‌توان مقدار $\Delta\theta/\Delta t$ را براساس حرکتی که خورشید نسبت به ناظر زمینی انجام می‌دهد به‌دست آورد؟ آیا این مقدار همچنان 15° برساعت است؟

خورشید در روزهای مختلف از مسیرهای متفاوت از آسمان عبور می‌کند و هرگز از بالای سرما مستقیماً رد نمی‌شود. به‌این دلیل، به‌جای آنکه خورشید را مورد مطالعه قرار دهیم سایه‌ای را که روی سطح زمین ایجاد می‌کند را درنظر می‌گیریم. باتغییر موقعیت سایه می‌توان مجموعه‌ای از بردارهای پرتو خورشید در سه بُعد را در هرلحظه تعریف کرد (شکل ۱). در این صورت می‌توان اثر خورشید را نسبت به یک نقطه ثابت در چارچوب مرجع آزمایشگاه درنظر گرفت. زاویه بین جفت بردارها تقسیم برمدت جابجایی بردارها، مقدار $\Delta\theta/\Delta t$ حرکت خورشید در آسمان را، همانطوری که از روی زمین قابل مشاهده است، به ما می‌دهد.



شکل ۱- با حرکت سایه متر چوبی، جفت بردار پرتو خورشیدی معرفی میگردد. زاویه $\Delta\theta$ با استفاده از ضرب نرده‌ای دو بردار بدست می‌آید.

در ساختمان فیزیک، ما یک اتاق مسقف شیشه‌ای داریم که می‌توانیم این آزمایش را در آنجا انجام بدهیم. همچنین می‌توان این آزمایش را در بیرون از خانه در یک پیاده‌روی خلوت انجام داد. دانش‌آموزان در ابتدا نوارهایی را در راستای محورهای x و y به روی سطح افقی، روی زمین قرار می‌دهند. بطوریکه یکی از نوارها در راستای شرق - غرب و دیگری در راستای شمال- جنوب باشد. بااستفاده از یک تکیه‌گاه محکم و طناب خط‌کش یک متری را عمود بر سطح زمین قرار می‌دهند، بطوریکه گوشه پایینی خط‌کش بامبدأ x - y در تماس باشد. فرض کنید متر چوبی محور Z دستگاه باشد. موقعیت نوک سایه را روی زمین درنظر می‌گیریم و زمان را یادداشت می‌کنیم. پس‌از گذشت اندک‌زمانی (حدود ۱۰ تا ۱۵ دقیقه) نوک سایه در موقعیت جدیدی قرار می‌گیرد در این لحظه زمان را مجدداً یادداشت می‌کنیم. دانش‌آموزان من دست‌کم این عمل را سه‌بار انجام دادند و سه‌بردار پرتو خورشیدی به‌دست آوردند و در نهایت دو نتیجه برای $\Delta\theta/\Delta t$ منظور کردند.

با اتصال سرخط‌کش به نوک سایه بردارهای $\vec{R}_i$ به‌دست می‌آید و می‌دانیم که مقدار مؤلفه Z این بردارها برابر با $-1/000\ m \pm 1\ mm$ است. برای محاسبه مؤلفه‌های x و y این بردارها کافی است بر روی زمین تصاویر قائم آنها را محاسبه کنیم و یا با استفاده از مختصات قطبی و با استفاده از توابع مثلثاتی این کار را انجام دهیم.

پس برای دو بردار $\vec{R}_1$, $\vec{R}_2$ می‌توان نوشت.

$$\vec{R}_1 = x_1\hat{i} + y_1\hat{j} - 1\hat{K}$$
$$\vec{R}_2 = x_2\hat{i} + y_1\hat{j} - 1\hat{K} \qquad (1)$$

که در آن x_i و y_i به‌کمک اندازه‌گیری بدست آمده‌اند. زاویه بین بردارهای $\vec{R}_1$ و بردار $\vec{R}_2$، $\Delta\theta$ را با استفاده از دو رابطه هم‌ارز ضرب نرده‌ای پیدا می‌کنیم یعنی:

1-Pennsylvania college of Technology, williamsport, PA 17701
ezebrows @ pct.edu

$$\vec{R}_1 . \vec{R}_2 = R_1 R_2 Cos(\Delta\theta) = x_1 x_2 + y_1 y_2 + Z_1 Z_2 \quad (2)$$

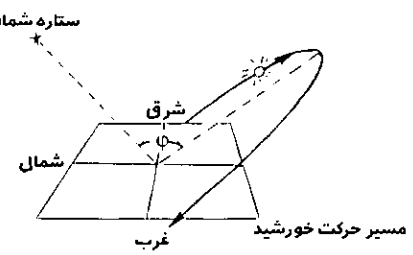
در رابطه اخیر R_1 و R_2 اندازه بردارهای پرتو خورشیدی هستند که برحسب مؤلفه‌هایشان از رابطه $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ به‌دست می‌آید. بنابراین همه‌چیز معلوم است بجز $\Delta\theta$، دانش‌آموزان به‌راحتی می‌توانند آن را به‌دست بیاورند. با تقسیم $\Delta\theta$ بر زمان اندازه‌گیری شده، مقدار کمیت $\Delta\theta/\Delta t$ به‌دست می‌آید.

به‌دلیل اندازه دستگاه، خطای آزمایش کمتر از یک است. باوجود تاری، سایه دانش‌آموزان به‌راحتی می‌پذیرند نوک سایه در $\pm 3\,mm$ قرار دارد. با توجه به‌جمع خطاها مؤلفه x و y برابر $\pm 5\,mm$ میباشد. ضمناً اگر دانش‌آموزان به‌طور همزمان موقعیت سایه و زمان را ثبت کنند خطای زمان برای مدت ۲۰ دقیقه کمتر از ۵ ثانیه خواهد شد. محاسبه خطای آزمایش برای کمیت $\Delta\theta/\Delta t$، $0/2^\circ/h$ خواهد شد.

در عمل دانش‌آموزان میانگین نتایج را $14/8^\circ/h$ در اوایل ماه سپتامبر (شهریور) و $13/9^\circ/h$ در اواسط ماه ژانویه به‌دست آوردند. این موضوع علاوه بر آن سال، سال بعد نیز تکرار شد: ماه سپتامبر نسبت به ماه ژانویه(دی) به‌مقدار قابل‌انتظار یعنی $15^\circ/h$ نزدیکتر است. همیشه اختلاف مقدار ماه ژانویه نسبت به‌مقدار قابل انتظار $15^\circ/h$ از مقدار خطای اندازه‌گیری بیشتر است. برای پیدا کردن علت به‌وجود آمدن این نتایج، دانش‌آموزان را تشویق کردم تا فرض‌هایی بکنند. معمولاً اولین اشتباه را به حرکت مداری زمین به دور خورشید نسبت دادند ولی این اثر اختلافی در حدود $0/04^\circ/h$ را نشان می‌دهد. (زمین 360° نسبت به ستاره‌های ثابت در مدت یک روز نجومی $23/934\,h$ می‌چرخد.) فرض دیگر دانش‌آموزان آن بود که با تغییر فصل فاصله زمین تا خورشید نیز تغییر می‌کند و این پدیده به روی اندازه‌گیری‌ها تأثیر می‌گذارد. با توجه به یک چرخ دوار این نظریه را می‌توان رد کرد، زیرا اگر زمین حول محور خود به‌اندازه $15^\circ/h$ بچرخد این عمل بدون در نظر گرفتن فاصله نسبت به خورشید اتفاق می‌افتد.

اختلاف بین $\Delta\theta/\Delta t$ اندازه‌گیری شده به‌روی زمین و مقدار $15^\circ/h$ که انتظار می‌رود از فضا دیده شود از اینجا ناشی می‌شود که فقط در دو روز از سال (اعتدالین) خورشید از شرق طلوع و در غرب غروب می‌کند. در طول ماه‌های زمستان، وقتی که خورشید از جنوب شرقی طلوع و در جنوب غربی، غروب می‌کند، ما در نیمکره شمالی صفحه حرکت خورشید را از بالا مشاهده می‌کنیم. این کار، مقدار $\Delta\theta/\Delta t$ اندازه‌گیری شده را به‌نسبت $\sin\varphi$ کوچکتر می‌کند. φ زاویه بین ستاره شمالی و خورشید است. (زاویه φ از $66/54^\circ$ تا $113/46^\circ$ بستگی به‌کدام روز از سال مقدارش تغییر می‌کند ولی به‌مقدار عرض جغرافیایی نقطه مشاهده بستگی ندارد. (شکل ۲). برای مثال در لحظه انقلاب زمستانی $\sin\varphi = \sin 113/46^\circ = 0/9173$ است و مقدار انتظاری $\Delta\theta/\Delta t$ از نقطه‌ای واقع بر روی زمین برابر با مقدار زیر است.

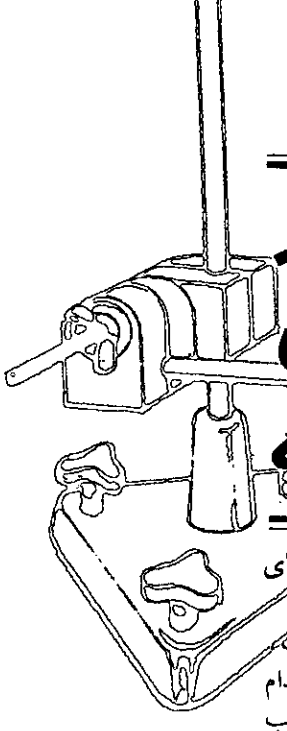
$$(0/9173)\,(0/h) = 13/80^\circ/h \quad 15/04\ 0/h$$



شکل۲ - یک روز از روزهای اعتدال، مقدار انتظاری $15^\circ/h$ بوسیله عامل $\sin\varphi$ کوچک شده است. φ زاویه بین شمال حقیقی و صفحه مسیر حرکت خورشید در آسمان است.

به‌طور خلاصه، $\Delta\theta/\Delta t$ اندازه‌گیری شده با این روش، مقدار واقعی آهنگ حرکت زاویه‌ای خورشید را از روی زمین می‌دهد. این تمرین، استفاده‌های تعلیماتی خوبی را در پی دارد. به‌جای آنکه بردارها را بر روی صفحه کتاب مورد مطالعه قرار دهیم، می‌توانیم آنها را در سه‌بعد در چارچوب مرجع در نظر بگیریم و نیز می‌توانیم بردارهای قطبی و مؤلفه‌های عمود بر هم‌شان و ضرب اسکالر آنها را مطالعه کنیم.

مترجم - حسن قلمی باویل علیایی
کارشناس ارشد فیزیک



نقش فیزیک دبیرستان در آماده‌سازی دانش‌آموزان برای فیزیک دانشگاه

فیلیپ ام. سندرسو رابرت اچ. تای

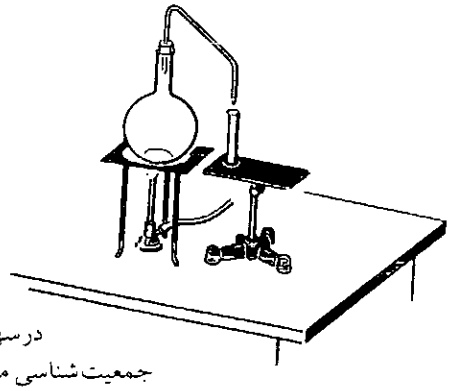
به ندرت به دبیری بر می‌خورید که درس فیزیک خود را در آماده‌سازی دانش‌آموزان برای فیزیک دانشگاه سودمند نداند، اما برای بسیاری از استادان فیزیک در دانشگاهها ارزش دروس فیزیک دبیرستان جای سؤال دارد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که استادان دانشگاه نه از معلومات و قابلیت فارغ‌التحصیلان دبیرستان راضی هستند و نه از احساس موفقیتی که دبیران در آماده‌سازی دانش‌آموزان در این مورد دارند. در جلسه ارائه مقاله‌های انجمن امریکایی معلمان فیزیک در تابستان ۱۹۹۶، که این دو گروه با یکدیگر بحث می‌کردند فشار خونها به میزان محسوسی بالا رفته بود. شرط‌بندی بالاست. بیش از ۶۵۰،۰۰۰ دانش‌آموز در سراسر کشور فیزیک دبیرستان را می‌خوانند و موفقیت در فیزیک دانشگاهی (که یک سوم میلیون دانشجو آن را می‌گیرند) پیش‌نیاز بسیاری از برنامه‌ها از جمله پیش پزشکی و مهندسی است.

تحقیقات چندی رابطهٔ میان فیزیک دانشگاهی و آماده‌سازی در دبیرستان را نشان داده است. همهٔ این مطالعات نشان داده‌اند که در فیزیک مقدماتی دانشگاه، دانشجویانی که در دبیرستان فیزیک خوانده‌اند عملکرد بهتری از همکلاسان خود داشته‌اند که این درس را نگذرانده‌اند (گرچه شدت همبستگی در مطالعات مختلف فرق می‌کند). بنابراین، به نظر می‌رسد که این موضوعی است که دربارهٔ آن تحقیق کافی صورت گرفته و نتیجه‌های سازگاری به دست آمده است. ولی، در هر یک از این مطالعات دردسرهایی وجود دارد. فرضهای مقابل اندکی کشف شده است. شاید فقط دانش‌آموزان حومه شهرها یا دانش‌آموزان با والدین تحصیل کرده در دبیرستان فیزیک را برمی‌گزینند. موفقیت این دانش‌آموزان در فیزیک دانشگاهی شاید بیشتر به واسطهٔ این متغیرهای جمعیت‌شناختی باشد تا انتخاب درس فیزیک در دبیرستان به علاوه، همهٔ مطالعات قبلی در یک مدرسه یا دانشگاه انجام گرفته است. از آنجا که دبیران نمی‌دانند که دانش‌آموزانشان به کدام دانشگاه خواهند رفت، نتیجه‌گیری درباره بررسی این مطلب در مؤسسه‌های فراوان به دست می‌آید. بدین منظور، ما مطالعه‌ای را آغاز کرده‌ایم که هدف آن تعیین درجه همبستگی متغیرها جمعیت شناختی و دروس دبیرستانی با موفقیت در درس فیزیک نیمسال اول دانشگاه است.

روش شناسی

برای گزینش نمونه‌ای از دروس دانشگاهی، نام ۱۰۰ استاد فیزیک را از آدرس پستی آنها به طور کاتوره‌ای بیرون کشیدیم. امیدوار بودیم که گروه متنوعی از مؤسسه‌ها حاصل شود. سی و هشت نفر از این استادن مدرس فیزیک پایه بودند؛ فقط ۳۰ نفر آنها چنین درسی را در پاییز ۱۹۹۴، که این تحقیق انجام شد، تدریس می‌کردند. شش نفر از شرکت در این برنامه خودداری کردند، پنج نفر دیگر به علت کمی وقت یا بی‌میلی دانشجویان برای شرکت در این کار منصرف شدند، نوزده نفر شرکت کردند، که ۶۳٪ از ۳۰ نفر بالقوه می‌شود. این استادان شامل ۹ دانشگاه دولتی و هشت مؤسسه خصوصی بود، به علاوه یک آکادمی نظامی ملی، این نوزده مؤسسه شامل پانزده دانشگاه، سه کالج با دورهٔ چهار ساله بود. تعداد دانشجویان هر کلاس از ۲۱ تا ۲۹۲ تغییر می‌کرد که میانگین آن ۹۷ دانشجو بود.

با مصاحبه با اعضای هیأت علمی، دانشجویان و دبیران پرسشنامه‌هایی برای دانشجویان آماده کردیم. یک بررسی مقدماتی در کالج محلی به ما کمک کرد تا گسترهٔ پاسخهای ممکن به پرسشها را بهتر کنیم. فرمهایی را تهیه کردیم که می‌شد با رایانه تصحیح کرد. هدف این بررسی آزمون مکرر متغیرهای یکسان در آموزشهای قبلی بود، اما پرسشهای خود را توسعه دادیم تا متغیرهای جمعیت‌شناختی و تجربه‌های مختلفی را که دانشجویان



در درسهای فیزیک خود داشتند شناسایی کنیم. در اینجا فقط به گزارش درسهای گرفته شده و مطالب مربوط به جمعیت‌شناسی می‌پردازیم.

ما نمره‌های دانشگاهی را به عنوان دسترس پذیرترین و عمومی‌ترین معیار موفقیت دانشجویان در فیزیک دانشگاهی در نظر گرفتیم. ما فکر می‌کنیم که این معیار با ارزشها و باورهای تک‌تک استادان دانشگاه را بهتر از هر آزمون که ما طرح کنیم بازتاب می‌دهد. این بررسی ۵۷ فقره‌ای را در ساعتهای کلاس به دانشجویان دادیم و نمره آنها را استاد درس بعداً به ما داد. فرمها رمزگذاری شده بود و درستی آنها بررسی شد.

داده ها و تحلیل

استادان به دانشجویان خود به راههای گوناگون نمره دادند، بنابراین تمام نمره‌های به مقیاس ۱۰۰ تبدیل شد. زمینه دانشجویان متفاوت بود. اغلب آنها (۸۴٪) در مدرسه‌های دولتی تحصیل کرده بودند. ۷۸٪ دانشجویان سفید پوست بودند، و ۱۱٪ آنها زمینهٔ آسیایی داشتند. امریکاییهای افریقای تبار و امریکای لاتینی هر یک ۴٪ نمونه را تشکیل می‌دادند، و بومیان امریکا ۰/۵٪ دو سوم دانشجویان شرکت‌کننده مذکر بودند. تقریباً یک سوم آنها از حومهٔ شهرها آمده بودند، که یک چهارم آنها شامل از شهرها و شهرستانهای کوچک بودند. چهارده درصد از شهرهای بزرگ و فقط ۶٪ از روستاها بودند. اغلب آنها (۶۳٪) درس حسابان را در دبیرستان خوانده بودند و ۸۳٪ قبلاً هم شیمی خوانده بودند و هم زیست‌شناسی. GPA مربوط به دبیرستان آنها (بر مبنای آخرین درس علوم، ریاضیات، و انگلیسی) ۸ ± ۸۹ (± یک انحراف استاندارد) بود. سطح تحصیلات والدین دانشجویان تغییر می‌کرد. پدر شصت درصد دانشجویان چهار سال یا بیشتر تحصیل دانشگاهی داشتند و این موضوع در مورد ۴۵٪ مادران نیز صادق بود. فقط ۴٪ دانشجویان پدران و مادرانی داشتند که دبیرستان را تمام نکرده بودند.

تقریباً تمام دانشجویان (۹۴٪) از دبیرستانهایی آمده بودند که در آنجا فیزیک تدریس می‌شد، اما ۸۲٪ آنها در دورهٔ دبیرستان فیزیک گرفته بودند. از ۲۹۳ دانشجویی که در دبیرستان فیزیک خوانده بودند، ۵۲ نفر از دبیرستانهایی آمده بودند که در آنها فیزیک تدریس نمی‌شد. تقریباً نیمی از دانشجویان در نمونهٔ مورد بررسی درسهای «منظم» فیزیک در دبیرستان گرفته بودند. در حدود یک ششم آنها هر یک AP، فیزیک به درجه ممتاز گرفته بودند و یا هیچ چیزی نگرفته بودند. فقط ۱۲ دانشجو درس دبیرستان خود را مقدماتی برای دانش‌آموزان رشته غیرعلمی مشخص کردند. اغلب دانشجویانی که فیزیک گرفته بودند یک دورهٔ یکساله فیزیک را گذرانده بودند، گرچه ۱۳٪ آنها دو سال یا بیشتر فیزیک خوانده بودند. احتمال اختیار کردن درس فیزیک AP برای این دانشجویان در سال دوم دو برابر اختیار یک درس سوای AP بود.

مطالعات قبلی نشان داده بود که چند متغیر در موفقیت دروس فیزیک مقدماتی در دانشگاهها مؤثر است. هارت و کرتل اختلاف شش نمره‌ای میان دانشجویانی که در دبیرستان فیزیک خوانده‌اند با آنها که نخوانده‌اند به دست آورده‌اند. نمونه ما فقط اختلاف ۲/۴ میان این دو گروه را نشان می‌دهد. هارت و کرتله همچنین دریافتند که دانشجویانی که نمرهٔ آخرین درسی ریاضی‌شان در دبیرستان B یا بالاتر بوده است ۶ نمره یا بیشتر در مقیاس ۱۰۰ (با تبدیل ۰/۶ در مقیاس ۴ نمره‌ای به دست آمده است) از دانشجویانی با نمرهٔ $\dot{C}$ یا کمتر گرفته‌اند. میانگین نمرهٔ دانشجویان گروه ما که در دبیرستان نمره B یا بهتر گرفته بودند ۵ نمره بیش از آنهایی بود که نمره‌های کمتر گرفته بودند. اکترز بررسی هارت و کرتل را با ۱۶۱ دانشجو تکرار کرده است. مجدداً دانشجویانی که در دبیرستان فیزیک خوانده بودند با اختلاف ۶ نمره در ۱۰۰ عملکردی بهتر از آنهایی داشتند که فیزیک نخوانده بودند، که در حدود نیمی از سطح نمره کامل است.

مقایسه اولین گام در تحلیل رابطه میان متغیرهاست. اگرچه نسبت دادن این اختلاف در نمرهٔ میانگین به یک متغیر خاص منطقی به نظر می‌رسد، اما عوامل دیگر می‌توانند پیشگرهای بهتری از عملکرد باشند. با کشف فرضهای متناوب بسیار، می‌توانیم مدلهایی بسازیم که مشخص کند کدام مجموعه از متغیرها مسئول بیشترین واریانس است. روش برگشت چندگانه ابزاری، برای ساخت مدلهاست که می‌تواند تغییرات عملکرد دانشگاهی را با استاندارد از چند متغیر به بهترین نحو توصیف کند. این روش امکان محاسبه اهمیت آماری در خلاف جهت متداول ساختیم که در آنها با شروع از همهٔ متغیرها، آنهایی را که اهمیت کمتری داشتند حذف کردیم تا به مرحله‌ای رسیدیم که همه متغیرها اهمیت آماری $P \leq 0/05$ داشتند (جدول ۱). متغیرهای کنار گذاشته شده در هر گام بررسی شدند، هر باریکی، و تحویل گام به گام تکرار شد تا این

که هیچ متغیری دارای شرایط لازم نبود.

نتیجه‌ها را باید به عنوان روشی برای بیان تغییر در نمرهٔ دانشجویان در هر دانشگاه تفسیر کرد. مدل A خط چند پایه واریانس را مشخص می‌کند. از دانشگاهی که یک دانشجو در آن درس می‌خواند به عنوان یک متغیر کنترل‌کننده استفاده شده است، زیرا بعضی از مدارس سخت‌تر از دیگران نمره می‌دهند. مدل B این مطلب را که آیا دانشجو در دبیرستان فیزیک خوانده است یا نه به حساب می‌آورد. دانشجویانی که درس فیزیک دبیرستانی را گرفته بودند در درس دانشگاهی فیزیک ۲/۴ بیشتر نمره گرفته‌اند.

مدل C چند متغیر جمعیت‌شناختی را اضافه می‌کند و مقدار واریانس توصیف شده دو برابر می‌شود. دانشجویانی که از دبیرستانهای خصوصی آمده بودند عملکرد اندکی ضعیف‌تر از دانشجویان با آموزش دولتی بودند. عملکرد دانشجویان سفیدپوست و آسیایی از بومیان امریکایی سیاه‌پوستان، اسپانیایی تباران بهتر بود. دانشجویانی که والدین آنها آموزش عالی داشتند، عملکرد بهتری داشتند. دانشجویانی که در مدارس حومه درس خوانده بودند اندکی از سایرین بهترند. دانشجویانی که مدرس دانشگاهی آنها از جنس خودشان بود نمره‌های بهتری گرفته بودند، همین طور آنهایی که نمره‌های دبیرستانشان به طور کلی خوب بود، و به ویژه آنهایی که در دبیرستان حسابان خوانده بودند. جنیست دانشجو متغیر قابل توجهی نبود. با در نظر گرفتن متغیرهای جمعیت شناختی عملکرد دختران به همان خوبی پسران بود.

سهم درس فیزیک دبیرستان در این مدل به ۱/۲۴ سقوط می‌کند. احتمال این که این موضوع ناشی از نوسانهای کاتوره‌ای باشد برابر است با $P = ۰/۰۴۹$ که درست در لبه قابل قبول بودن به لحاظ آماری است. از دانشجویان در این بررسی خواسته شد تا پیشگویی کنند که فیزیک دبیرستان تا چه اندازه سبب بالا رفتن نمره در دانشگاه می‌شود. میانگین پاسخها ۷/۸ نمره را پیشگویی کرده بود که شش برابر مقدار به دست آمده است. وزن فیزیک دبیرستان کمتر از نصف سهم درس حسابان در دبیرستان است.

بحث

هدف از این بررسی مشخص کردن رابطهٔ میان متغیرهای جمعیت‌شناختی، گرفتن درس فیزیک در دبیرستان او عملکرد بعدی در فیزیک مقدماتی در دانشگاه است. در نظر گرفتن متغیرهای جمعیت‌شناختی اهمیت ظاهری آموزش اولیه فیزیک در عملکرد دانشجو در دانشگاه را کم می‌کند.

دانشگاههایی که ثبت‌نام در دوره‌های فیزیک را به ثبت‌نام در فیزیک دبیرستان محدود می‌کنند باید در سیاست خود تجدیدنظر کنند. دانشجویان با زمینه علمی قوی در دبیرستان که قبلاً درس حسابان را گرفته‌اند عملکرد خوبی در دانشگاه دادند بدون این که درس فیزیک را در دبیرستان خوانده باشند.

جدول ۱. مدل A، B و C مدلهای بازگشت چندگانه برای نمرهٔ فیزیک مقدماتی در دانشگاه. مدل A شامل همهٔ دانشجویان است. مدل B همهٔ دانشجویان را در نظر می‌گیرد با توجه به این نکته که آیا در دبیرستان فیزیک خوانده‌اند یا نه. مدل C شامل آن دسته از متغیرهایی جمعیت‌شناختی است که به لحاظ آماری اهمیت دارند. $P \leq ۰/۰۵$* $P \leq ۰/۰۱$**

اطلاعات جمعیت شناختی	مدل A	مدل B	مدل C
دبیرستان خصوصی			-۱/۷۲**
مدرسه در حومه شهر			۱/۱۵*
سفید			۳/۷۴**
آسیایی			۳/۳۲**
تحصیلات والدین (کمتر دبیرستان، دبیرستان، کمتر از چهار سال دانشگاه، ۴ سال دانشگاه، بیشتر از ۴ سال دانشگاه)			۰/۷۴**
تصمیمهای دانشجویان			
استاد همجنس دانشجو			۱/۴۸**
گرفتن درس حسابان در دبیرستان			۲/۹۳**
نمره در دبیرستان (A=۵، B=۴)			۰/۳۶**

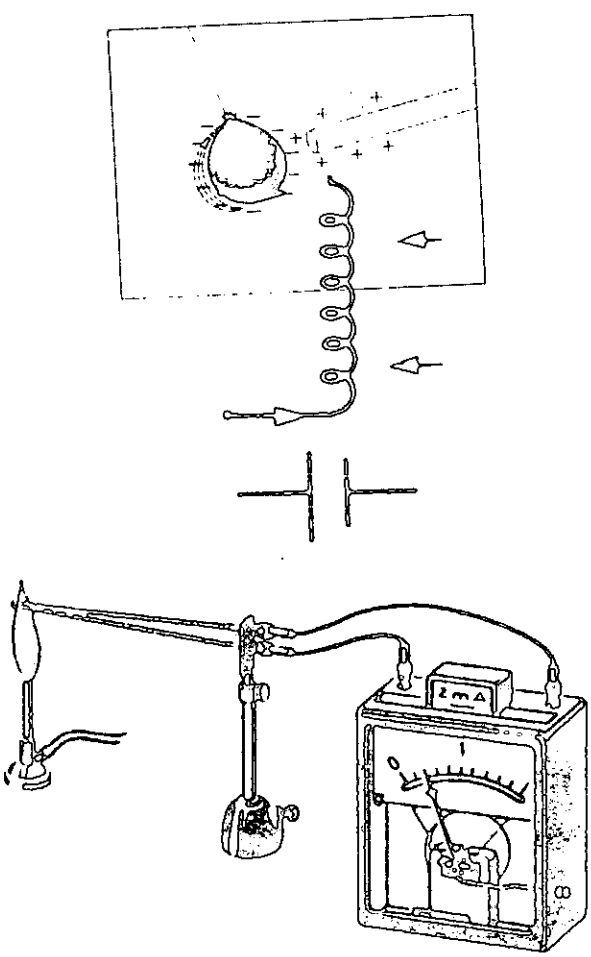
	مدل A	مدل B	مدل C
دانشجویان مفقود	۵۳	۵۳	۹۸
R^2	۰/۱۱۲	۰/۱۱۹	۰/۲۲۵
R^2 تعدیل شده	۰/۱۰۴	۰/۱۱۰	۰/۲۱۴
متغیرهای کالج یا دانشگاه	در نظر گرفته شده	در نظر گرفته شده	در نظر گرفته شده
ثابت	۸۹/۳۶**	۸۷/۰۱**	۴۵/۶۷**
فیزیک دبیرستان گرفته شده		۲/۴۱*	۱/۲۴*

بررسیهای ما همبستگی شدیدی را میان خواندن درس فیزیک در دبیرستان و نمره فیزیک دانشگاه نشان نداد. اگرچه اغلب دبیران بر آماده‌سازی برای درسهای فیزیک آنی تأکید می‌کنند، اما این تنها هدفی نیست که باید مورد حمایت قرار گیرد. بسیاری از دبیران درس خود را به عنوان راهی جهت ارتباط دانش‌آموزان با دنیایی که در آن زندگی می‌کنند در نظر می‌گیرند، که به آنها کمک می‌کند تا به علوم علاقه‌مند شوند، و مطالب علمی در رسانه‌ها را دنبال کنند، و نابرابریهای میان نژادها، جنسها، را در ارتباط با تجربیات علمی هموار سازد. ما بر این باوریم که، با توجه به مطالعه انجام شده، بالا بردن سطح فیزیک دبیرستان به عنوان آماده‌سازی برای فیزیک دانشگاه موجه نیست. این شاید برخلاف گزارشهای خنده‌دار در مورد دانشجویانی باشد که برمی‌گردند تا دروس دبیرستانی خود را تحسین کنند. دیدگاه دانشجویانی که این کار را انجام نمی‌دهند شاید منطقی‌تر باشد.

در حالی که به طور میانگین، به نظر می‌رسد که گرفتن درس فیزیک در دبیرستان ارتباط اندکی با عملکرد در درس فیزیک دانشگاهی دارد، اما ۷۹٪ واریانس در نمره‌های دانشجویان هنوز توجیه نشده است. با در نظر گرفتن عاملهای دیگر، سطح درس فیزیک، تعداد سالهایی که در دبیرستان فیزیک خوانده می‌شود. معلومات معلم، روشهای تدریس، تأکید بر آزمایشگاه، جهت‌گیری سازنده، یا انتخاب کتاب درسی می‌تواند تا ۲۰٪ واریانس را به حساب آورد. ما ابتدا این داده‌ها را اطلاعات مربوط به جمعیت‌شناسی گردآوری کردیم و اکنون مشغول تکمیل این کار هستیم. تحلیل ابتدایی ما نشان می‌دهد که تصمیم‌گیریهای دبیران ارتباط شدیدی با عملکرد دانشجویان در دانشگاه دارد. تعجب‌آور است که بعضی از انواع درسهای فیزیک دبیرستان اثر معکوس دارد. آنها نمره‌های بدتر از آنچه را که اگر فیزیک نخوانده بودند پیش‌بینی می‌کنند. ما امیدواریم که کوششهای ما سبب شناسایی آن دسته از تصمیم‌گیریها، روشها، و منابع شود که به دبیران کمک می‌کند تا بهترین آماده‌سازی ممکن را برای دانش‌آموزانی که عازم دانشگاه‌اند فراهم کنند. ما امیدواریم که گزارش این یافته‌های خود را در آینده نزدیک منتشر کنیم. هر خواننده‌ای که به اطلاعات بیشتر نیازمند است می‌تواند با مؤلفان تماس بگیرد.

مترجم: منیژه رهبر

The Physic Teacher, vol 35,p282- 285 May 1997



محل فرود آمدن کجاست؟

نویسندگان: کریستوفر، آر، هازارد ـ جوزف، آ، سی کینگ ـ ترنس، پی، توپکر

در بعضی از کتابهای درسی (کتب شمارهٔ ۱ تا ۶ مرجع مقاله) مسئله‌ای شامل یک حلقه (دایره عمودی) مطرح شده است. جسمی از یک سرازیری رها می‌شود که ارتفاع محل رها شدن آن از نقطه بالایی دایره بلندتر است. بعضی مواقع جسم (کره یا استوانه) با اصطکاک مناسب می‌غلتد و بعضی مواقع بدون اصطکاک می‌لغزد و معمولاً اندازه جسم در مقایسه با شعاع حلقه «R» بسیار کوچک است و در بسیاری از کتابها اندازه جسم در نظر گرفته نمی‌شود. و سؤالی فرعی که مطرح می‌کنند این است که کمترین ارتفاع H چقدر باشد تا جسم بتواند دایره را بطور کامل دور بزند. بدون اینکه از دیواره جدا شود؟ اما چه اتفاقی رخ خواهد داد اگر جسم از ارتفاعی کمتر از H رها شود؟ از مسیر جدا خواهد شد یا برمی‌گردد و نوسان می‌کند تا بر اثر اصطکاک در پایین حلقه متوقف شود؟ اگر از دیواره جدا شود کجا این حالت رخ خواهد داد؟

دوم آنکه بعد از جدا شدن از دیواره کجا فرود خواهد آمد؟

در بعضی از کتب درسی (مرجع شمارهٔ ۷) در مورد موضوع جدا شدن از دیواره بحث کرده‌اند. اما نویسندگان این مقاله نتوانسته‌اند مثالهایی از مسائلی که شامل یافتن نقطه فرود باشد بیابند.

برای محکم کاری ۴ مورد را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. هر کدام از ارتفاع $h = ۲R$ رها می‌شوند.

مورد ۱: یک قطعه بدون اصطکاک می‌لغزد

در جایی که قطعه با سطح تماس دارد می‌توان نوشت

$$mg\sin\theta + N = \frac{mv^۲}{R}$$

در جایی که قطعه از دیواره جدا می‌شود نیروی N صفر خواهد شد. بنابراین:

$$mg\sin\theta = m\frac{v^۲}{R} \Rightarrow \quad (۱)$$

$$V^۲ = Rg\sin\theta$$

طبق قانون پایستگی انرژی، انرژی پتانسیل قطعه در محل رها شدن $(mg۲R)$ با انرژی مکانیکی آن در محل جدا شدن از دیواره برابر است. اگر ارتفاع محل جدا شدن قطعه در این نقطه برابر $R + R\sin\theta$ است. با این فرض که قرقره در محلی بالاتر از مرکز حلقه از دیواره جدا خواهد شد (شکل یک). در نتیجه انرژی مکانیکی که در این نقطه دارد برابر است با:

$$mg(R + R\sin\theta) + \frac{۱}{۲}mv^۲ = ۲mgR \quad (۲)$$

البته باید توجه داشت که برای یک قطعهٔ واقعی باید انرژی جنبشی دورانی نیز در نظر گرفت که ناشی از چرخش بدور محور خودش حین دور زدن حلقه است با دوره‌ای برابر زمانی که طول می‌کشد تا قطعه مسیر را دور بزند. چون قرقره در این جا مثل یک ذره در نظر گرفته شده است. انرژی جنبشی دورانی در معادلهٔ (۲) وارد نشد.

رابطه (۲) را بر m تقسیم می‌کنیم و $v^۲$ را از رابطه (۱) در آن جاگذاری می‌کنیم که رابطهٔ زیر را بدست می‌آوریم.

$$gR + gR\sin\theta + \frac{gR\sin\theta}{۲} = ۲gR$$

و با حذف gR از دو طرف $۲ = ۱ + \frac{۳}{۲}\sin\theta$ و بنابراین $\sin\theta = \frac{۲}{۳}$ در نتیجه $\theta = ۴۱/۸۱^\circ$ و بدین وسیله جایی که قطعه از مسیر جدا می‌شود مشخص می‌گردد.

راحت‌تر این است که به منظور تعیین محل فرود آمدن قطعه دستگاه مختصات در مرکز حلقه در نظر گرفته شود.

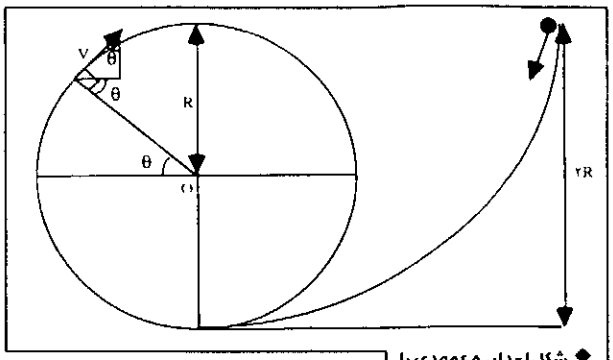
از این رو معادله حلقه این است. $x^۲ + y^۲ = R^۲$ (۳)

معادله‌های پارامتری حرکت پرتابه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرد تا نقطهٔ برخورد مسیر جسم و حلقه پیدا شود. بطور کلی

$$x = x_۰ + v_{۰x}t \quad (۴)$$

$$y = y_۰ + v_{۰y}t - \frac{۱}{۲}gt^۲ \quad (۵)$$

برای تعیین مقدارهای مختصات سرعت اولیه از شکل ۱ استفاده می‌کنیم. با استفاده از رابطه $V = \sqrt{Rg\sin\theta}$ مؤلفه‌های افقی و عمودی سرعت را پیدا می‌کنیم.



◆ شکل۱- دایره عمودی با جسمی که از ارتفاع $H = ۲R$ شروع به حرکت می‌کند. مبدا، دستگاه مختصات در مرکز دایره است.

$$V_x = \sin\theta\sqrt{Rg\sin\theta},\ V_y = \cos\theta\sqrt{Rg\sin\theta} \quad (۶)$$

مختصات اولیه نیز از طریق شکل ۱ پیدا می‌شوند. بنابراین

$$x_0 = -R\cos\theta \quad , \quad y_0 = R\sin\theta$$

اکنون رابطه(۴) تبدیل می‌شود. به

$$x = -R\cos\theta + \sin\theta\left(\sqrt{Rg\sin\theta}\right)t \quad (۷)$$

و معادله (۵) تبدیل می‌شود به

$$y = R\sin\theta + \cos\theta\left(\sqrt{Rg\sin\theta}\right)t - \tfrac{۱}{۲}gt^۲ \quad (۸)$$

معادلات (۷) و (۸) را در معادله دایره $x^۲ + y^۲ - R^۲ = ۰$ قرار می‌دهیم

یک معادله درجه ۴ برای زمان بدست می‌آوریم.

$$\frac{۱}{۴}gt^۳\left(gt - ۴\cos\theta\sqrt{gR\sin\theta}\right) = ۰ \quad (۹)$$

سه جواب برای t جزئی هستند. $(t = ۰)$ اما جواب چهارم جزئی نیست.

$$t = \frac{۴\cos\theta\sqrt{Rg\sin\theta}}{g} \quad (۱۰)$$

حال برای یافتن x و y محل فرود آمدن، مقدار مناسب t را در معادلات (۷) و (۸) جاگذاری می‌کنیم. با استفاده از $g = ۹/۸\frac{m}{S^۲}$ و $R = ۱m$ و $\theta = ۴۱/۸۱^\circ$ از معادله (۱۰) خواهیم داشت پس $t = ۰/۷۸S$ از معادله‌های ۷ و ۸ نتیجه می‌شود:

$$(x, y) = (۰/۵۸, -۰/۸۱) \quad (۱۱)$$

مورد ۲ : کره غلتان

برای یک کره وضعیت جالب‌تر می‌شود. یک کره غلتان دارای انرژی جنبشی دورانی هست. و بنابراین معادله(۲) نیاز به تصحیح دارد که با اضافه کردن انرژی جنبشی دورانی یعنی جمله $\frac{۱}{۲}I\omega^۲$ که در آن $I = \frac{۲}{۵}mr^۲$ انجام می‌شود. r شعاع کره و $\omega = \frac{V}{r}$ سرعت زاویه‌ای کره است. اکنون معادله (۲) به صورت زیر در می‌آید.

$$mg۲R = \frac{۱}{۲}mv^۲ + I\omega^۲ + mg(R + R\sin\theta) \quad (۱۲)$$

با جا گذاری I و ω خواهیم داشت.

$$mg۲R = \frac{۷}{۱۰}mv^۲ + mg(R + R\sin\theta) \quad (۱۳)$$

پس از حذف m و جاگذاری $v^۲$ رابطه (۱) به صورت زیر در می‌آید.

$$۲ = \frac{۷}{۱۰}\sin\theta + ۱ + \sin\theta \Rightarrow \sin\theta = \frac{۱۰}{۱۷} \Rightarrow$$

$$\theta = ۳۶/۰۳^\circ$$

و مثل مورد قبل این زاویه نشان‌دهنده محلی است که کره از دیواره خود جدا خواهد شد. زمان فرود را می‌توان با استفاده از $\theta = ۳۶/۰۳^\circ$ در معادله (۱۰) به دست آورد. این نتیجه به دست می‌آید $t = ۰/۷۹$ و به همین ترتیب با استفاده از معادلات ۷ و ۸ می‌توان x و y را یافت

$$(x, y) = (۰/۳۱, -۰/۹۴) \quad (۱۴)$$

مورد ۳ : یک استوانهٔ غلتان

مثل مورد کره، استوانه هم دارای انرژی جنبشی دورانی است و اصلاحات مشابهی در رابطه (۲) باید صورت گیرد. اما در این جا $I = \frac{۱}{۲}mr^۲$ خواهد بود. با جاگذاری I و ω در معادله (۱۲) بدست می‌آوریم.

$$mg۲R = mv^۲ + mg(R + R\sin\theta) \quad (۱۵)$$

با حذف m و جاگذاری $v^۲$ و حذف مشترکات

$$۲ = \sin\theta + ۱ + \sin\theta \Rightarrow \sin\theta = \tfrac{۱}{۲},\ \theta = ۳۰/۰^\circ$$

با استفاده از این مقدار در معادلهٔ (۱۰) زمان فرود را $۰/۷۸S$ به دست می‌دهد و معادله‌های ۷ و ۸ نتیجه می‌دهند:

$$(x, y) = (۰/۰\ ,\ ۱/۰) \quad (۱۶)$$

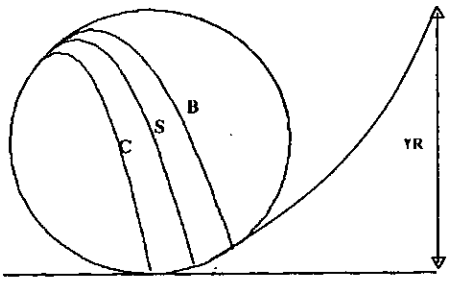
مکان فرود آمدن اجسام مختلف متناسب با مقدار انرژی جنبشی دورانی است. که از انرژی جنبشی انتقالی توسط هر جسم ربوده می‌شود.

جدول - ۱

جسم	زمان پرواز (s)	محل فرود x (m)	مختصات y (m)
گلوله	0.78	0.58	-0.81
کره	0.79	0.31	-0.94
استوانه	0.78	0.00	-1.0

مختصات محل فرود — خلاصه نتایج برای سه جسم.

◆ جدول ۱: خلاصه نتیجه برای سه جسم.
زمان پرواز و مختصات محل فرود آمدن مشخص شده است.



◆ شکل ۲: مسیر تقریبی برای قطعه (B)، کره (S)، استوانه (C) که هر سه از $H = ۲R$ شروع به حرکت کرده‌اند.

همان طور که در جدول ۱ خلاصه شده ، در شکل ۲ نشان داده شده است . قطعه (B) در دورترین قسمت طرف مقابل فرود خواهد آمد . به این دلیل که انرژی آن بخاطر دوران کم نخواهد شد و استوانه (C) نزدیکترین خواهد بود . چون گشتاور لختی آن طوری است که بیشترین انرژی جنبشی دورانی را از انرژی جنبشی انتقالی کم خواهد کرد . و بنابراین در نزدیکترین جا فرود خواهد آمد . و کره (S) بین این دو فرود خواهد آمد . مقداری از انرژی جنبشی انتقالی را به انرژی دورانی اختصاص خواهد داد . اما نه به اندازه استوانه ، همچنین باید دقت داشت قطعهٔ لغزنده اندازه حرکت زاویه‌ای به دور خودش خواهد داشت که به سمت داخل صفحه کاغذ خواهد بود . که از روی جهت حرکت آن در شکل ۱ مشخص خواهد شد . همینطور دو جسم غلتان بردارهای اندازه حرکت زاویه‌ای خارج از کاغذ خواهند داشت .

مورد ۴ : اجسام با ابعاد واقعی :

در سه مورد قبلی فرض کردیم که فاصله بین مسیر حرکت و مرکز جرم اجسام قابل چشم پوشی باشد . اما در بسیاری از مسائل واقعی باید این موضوع در نظر گرفته شود . در شکل (۳) دیده می شود . یک جسم که فاصله بین مرکز جرم و مسیر حرکت r است .

بنابراین شعاع مؤثر حلقه $R' = R - r$ خواهد بود . و در معادلات باید بجای R ، از R' استفاده کرد . در نتیجه جمله مربوط به نیروهای وارد بر جسم در حین جدا شدن از مسیر به صورت زیر خواهد شد .

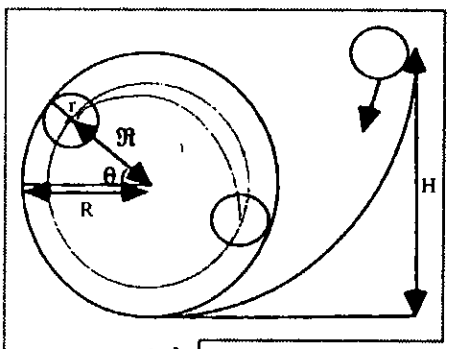
یعنی $mg\sin\theta = \frac{V^2}{mR'}$ و با حذف m

$$V^2 = gR'\sin\theta \qquad (۱۷)$$

و همانطور ارتفاعی که مرکز جرم کره دیواره را ترک خواهد کرد .

$R + R'\sin\theta$ خواهد بود چنان که در شکل (۳) نشان داده شده است . اگر جسم با گشتاور لختی I از ارتفاع H رها شود طوری که $H_0 > H >> R$ که در این رابطه H_0 کمترین ارتفاع است که اگر جسم در آن رها شود بتواند به طور کامل دور بزند .

طبق قانون پایستگی انرژی مکانیکی به دست می آید .



◆ شکل ۳: مسیر حرکت مرکز جرم یک جسم واقعی.

$$mg(R + R'\sin\theta) + \frac{1}{2}mV^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = mgH \qquad (۱۸)$$

در مورد کره $I = \frac{2}{5}mr^2$ با جاگذاری I و خواهیم داشت :

$$mgH = mg(R + R'\sin\theta) + \frac{7}{10}mV^2 \qquad (۱۹)$$

با تقسیم دو طرف بر m و جاگذاری V^2 از رابطه(۱۷) بدست می آوریم .

$$\sin\theta = \frac{10(H-R)}{17R'} = \frac{10(H-R)}{17(R-r)} \qquad (۲۰)$$

با جایگذاری گشتاور لختی استوانه $I = \frac{1}{2}mr^2$ و معادلهٔ ۱۸ داریم .

$$mgH = mg(R + R'\sin\theta) + mv^2 \qquad (۲۱)$$

و بنابراین با جاگذاری V^2 در رابطهٔ ۱۷ خواهیم داشت

$$gH = g(R + R' \sin\theta) + R' g \sin\theta$$

$$\sin\theta = \frac{H-R}{2R'} + \frac{H-R}{2(R-r)} \qquad (۲۲)$$

اکنون اگر با دقت به معادلات ۲۰ و ۲۲ نگاه کنیم می‌بینیم اگر فرض کنیم $R >> r$ و از r صرفنظر شود. همان نتایج قبلی بدست خواهد آمد.

حالا این سؤال اساسی مطرح است. محل فرود آمدن کجاست؟ با بکار بردن عاملهای هندسی، عملیات جبری بسیار جالب خواهد شد. مثل حالت قبل می‌توان نوشت

$$x = x_0 + v_{0x}t \qquad y = y_0 + v_{0y}t - \tfrac{1}{2}gt^2$$

این معادلات حرکت مرکز جرم جسم را بررسی می‌کند. در صورتیکه سطح کره یا استوانه است که عملاً با حلقه در تماس است یک برش عرضی از یک کره یا استوانه یک دایره به شعاع r است. که مرکز جرم در وسط آن قرار دارد. هنگامی که جسم فرود می‌آید. این دایره مماس با دایره $x^2 + y^2 = R^2$ خواهد بود. و مرکز آنها روی دایره به معادله $x^2 + y^2 = R'^2$ قرار دارد. از این رو نقطه‌ای که این دایره‌ها با مسیر حرکت مرکز جرم جسم برخورد خواهد کرد. همان نقطه‌ای است که مرکز جرم جسم موقع فرود آمدن در آنجا خواهد بود. حالا ترفندی مشابه موارد پیشین بکار خواهیم برد تا x و y را پیدا کنیم.

اما نمایشهای پارامتری x و y را دوباره باید مرتب شود. که تصحیح مرکز جرم جسم را برای سطح حلقه در بر داشته باشد.

$$x = x_0 + v_{0x}t = -R'\cos\theta + (\sin\theta\sqrt{R'g\sin\theta})t \qquad (۲۳)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \tfrac{1}{2}gt^2 =$$

$$R'\sin\theta + (\cos\theta\sqrt{R'g\sin\theta})t - \tfrac{1}{2}gt^2 \qquad (۲۴)$$

دو معادله را برای t حل می‌کنیم.

$$t = \frac{4\cos\theta\sqrt{R'g\sin\theta}}{g} \qquad (۲۵)$$

برای کره و استوانه θ از معادله (۲۰) و (۲۲) بدست می‌آید. با جاگذاری مقدار $R' = R - r$ و θ می‌توانیم. زمان t را بدست آوریم. و مثل حالت‌های قبلی می‌توان $(x$ و $y)$ را یافت. و بنابراین مسئله «محل فرود آمدن کجاست؟» حل می‌شود.

مترجم: محمد حسین شمس (دبیر فیزیک)

مراجع مقاله:

1. H. Benson, university Physics (Wiley, New York) 1991, P. 167 problem 10
2. P. Tipler, Physics, Vol. 1, 3rd ed, (worth, New York, 1990), P. 180. problem 77.
3. H. Young, university Physics, 8th ed. (Addison- wesley, reading, MA, 1992), P.193 problems 7- 22.
4. G. Freier, university physics (Meredith, New York, 1965), P.65, problem 15
5. R. serway, Physics, 3rd ed. (Saunders, Philadelphia, 1992), P. 297. problem 42.
6. D. Giancoli, Physics, 3rd ed. (Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nj. 1991) P. 147. problem 62.
7. R. Resnick, D. Holliday, and K. Krane, physics, 4th ed. (Wiley, New York, 1992), P. 174, problem 37

دانش‌آموزان در حد استاندارد نیستند

گرتشن دوگل

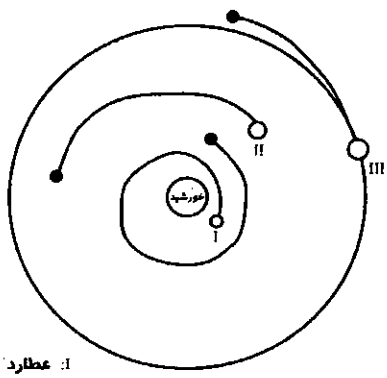
یک آزمون جدید که برای ارزیابی درک دانش‌آموزان مدارس ایالات متحده از علوم، به جای معلومات آنها در این مورد، طراحی شده است نتیجه‌های ناامیدکننده‌ای به بار آورده است: کمتر از ۳۰٪ آنهایی که در این مورد شرکت کردند دارای مهارت لازمی هستند که از آنها انتظار می‌رود. اما رهبران آموزش علوم می‌گویند که این آزمون گامی در جهت صحیح است، و ممکن است به معلمان کمک کند که به طور صحیح آموزش دهند.

این آزمون بخشی از ارزیابی ملی پیشرفت آموزشی (NAEP)* بود، که پیشرفت دانش‌آموزان را در چند زمینه از جمله خواندن، ریاضیات، و جغرافیا ارزیابی می‌کند. آزمون امسال با آزمونهای چند گزینه‌ای که بیشتر دانش‌آموزان امریکایی به آن عادت کرده‌اند تفاوت داشت. دانش‌آموزان ۸۰٪ وقت ۹۰ دقیقه‌ای خود را صرف پاسخگویی به سؤالهای تشریحی و انجام آزمایش و تحلیل آنها کردند. برای مثال از دانش‌آموزان سال چهارم خواسته شد که شباهتها و تفاوتهای چرخهٔ زندگی ملخها و پروانه‌ها را توصیف کنند. دانش‌آموزان کلاس هشتم می‌باید غلظت نمک در آب را با مقایسهٔ ارتفاع یک مداد شناور در آب مقطر، آب نمک ۲۵٪، و یک نمونه ناشناخته تخمین می‌زدند. و از دانش‌آموزان سال ۱۲ خواسته شده بود آزمونی را توصیف کنند ـ سوای چشیدن یا بوییدن ـ که بتواند میان نمونه‌های آب اقیانوس و آب شیرین تفاوت قایل شود. دانش‌آموزان در برابر مجموعه‌ای ثابت از استانداردها به جای «هنجار ملی» ـ که میانگین عملکرد کلی است ـ ارزیابی شدند.

نتایج که در یک گزارش توسط هیأت رییسه مستقل ارزیابی ملی، که عهده‌دار سیاستگزاری NAEP هستند، تجزیه و تحلیل شده است تصویر ناامید کننده‌ای به دست می‌دهد. بیش از ۷۰٪ از ۱۳۰۰۰۰ دانش‌آموز شرکت‌کننده، یک گروه نمونه از هر ایالت ـ نتوانستند به سطح مهارت، در علوم برسند که به صورت «توانایی در چالشهای موضوعی» تعریف می‌شود و تقریباً یک چهارم آنها نتوانستند به سطح «مهارت جزیی» در سطح ابتدایی برسند فقط ۳٪ به سطح پیشرفته رسیدند که نمایانگر «عملکرد عالی» فراتر از سطحی است که انتظار می‌رود.

«این آزمون پیام روشنی برای مدارس دارد» که درک عمیق علوم حائز اهمیت است. به گفته اودری شامپانی استاد شیمی و آموزش در دانشگاه ایالتی نیویورک، آلبانی، و نویسنده گزارش، این آزمون معیاری است برای اینکه آیا دانش‌آموزان در سطح استانداردهایی هستند که سازمانهای ملی، از جمله انجمن امریکایی توسعه علوم (AAAS)* که مجلهٔ ساینس را منتشر می‌کند و شورای پژوهشهای ملی، تعیین کرده‌اند. استانداردهایی که با توجه به قراین به تعداد اندکی کلاس درسی رسیده است. به گفته جورج نلسون، معاون طرح ۲۰۶۱ AAAS «این آزمون NAEP بدین منظور طراحی شده بود تا نوعی از آموزش را که در استانداردها از آن گفتگو می‌شود ارزیابی کند» و نتایج نشان می‌دهد که «تغییر ضروری است».

به نظر می‌رسد که این عملکرد بی‌فروغ با نتایج بسیار پرمشتری سومین بررسی بین‌المللی ریاضیات و علوم (TIMSS) یک امتحان بین‌المللی که در آن دانش‌آموزان سال چهارم در امریکا پس از کره مقام دوم را به دست آورند و سال هشتمیها بالاتر از متوسط بین‌المللی بودند ـ ناسازگار است، به گفتهٔ مارتین اورلند از مرکز آمار آموزشی وزارت آموزش و پرورش «تیمس نشان می دهد که ایالات متحده اندکی بالاتر از میانگین بین‌المللی است، اما بنا به داده‌های NAEP



I: عطارد
II: زهره
III: زمین

در لحظه‌ای از زمان که در تصویر بالا نشان داده شده است، زهره نزدیکترین سیاره به زمین است. آیا عطارد هرگز می‌تواند نزدیکترین سیاره به زمین باشد

آری

نه

بگویید چرا آری و چرا نه. می‌توانید برای روشن کردن پاسخ خود از رسم تصویر استفاده کنید

وقتی عطارد از کنار زهره و زمین می‌گذرد سریعتر حول خورشید می‌گردد و زمین از خورشید دورتر و در نتیجه مدت زمان گردش آن به دور خورشید طولانی‌تر است و عطارد به زمین نزدیکتر می‌شود.

پاسخ درست فقط ۲۰٪ دانش‌آموزان کلاس هشتم تمام امتیاز را برای توضیح کامل گرفتند بخش اعظم دانش‌آموزان به سطح مطلوب موردنظر ما نمی‌رسند.

اما این سطح دور از دسترس نیست، شامپانی تأکید می‌کند که این آزمون «هدفی بسیار واقع‌بینانه برای آموزش علوم در ایالات متحده فراهم می‌آورد.» به گفته وی «با توجه به این آزمون می‌توانستیم کارهای بدتر از آموزش نیز انجام دهیم».

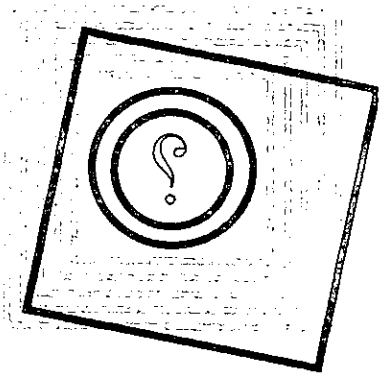
مترجم: منیژه رهبر

NAEP
National Assessment Educational Progress
American Association for the Acluamcement of science
Science, vol 278, 31 october 1997

بحث درباره جوابهای یک مسأله فیزیکی

بوریس کرسونسکی[1]

وقتی یک مسأله فیزیک به یک مسئله ریاضی که در آن یک معادله درجه دوم دخیل است تبدیل می شود چه می کنید؟



برای حل یک مسأله فیزیکی چه باید کرد؟ اگر این مسأله کلاً مفهومی نباشد، با استفاده از فرمولها و واقعیتهای موجود به یک یا چند معادله ریاضی می رسید. در این هنگام به خود می گویید: «بسیار خوب! کار من در فیزیک به پایان رسید و حالا نوبت زورآزمایی با ریاضی است.» یا به قول فیزیکدانهای نامدار: «مسأله فیزیکی تا حد یک معادله ریاضی ساده شده است.» اما گاهی ریاضیات انتقام می گیرد. یک مثال بسیار متداول، معادله درجه دوم است. اما در حل معادله درجه دوم مواظب باشید که کار شما بدون تفسیر جوابهای معادله پایان نیافته است. بحث درباره جوابهای معادله درجه دوم خود مسأله فیزیکی است، حتی گاهی سخت‌تر.

حال مسأله‌های زیر را که شامل مباحث مختلف فیزیکی است، بررسی می کنیم:

مسأله ۱ـ دو اتومبیل در امتداد یک جاده حرکت می کنند. اولی با سرعت ثابت v، و دومی از حال سکون با شتاب ثابت a به حرکت درمی‌آید. اگر در مبدا زمان اتومبیل دوم به اندازه d از اتومبیل اول عقب باشد، پس از چه مدت زمان اتومبیل دوم به اتومبیل اول می رسد؟

این مسأله خیلی مشکل نیست. با نوشتن معادله‌های حرکت دو اتومبیل خواهیم داشت:

$$x_1 = vt + d$$

$$x_2 = \frac{1}{2}at^2$$

$$x_1 = x_2 \quad \Rightarrow \frac{1}{2}at^2 - vt - d = 0$$

این معادله البته دو جواب دارد:

$$t = \frac{V \pm \sqrt{V^2 + 2ad}}{a}$$

آیا هر دو جواب قابل قبول‌اند؟ یا به عبارت دیگر آیا دو اتومبیل دو مرتبه به هم می رسند؟ مسلماً خیر. پس کدام جواب را برگزینیم؟ مسلماً جواب مثبت، یعنی

$$\frac{V + \sqrt{V^2 + 2ad}}{a}$$

قابل قبول خواهد بود.

مسأله بعدی کمی پیچیده‌تر است.

مسأله ۲ـ لوله قائمی به طول l به اندازه $\frac{l}{2}$ در جیوه فرو رفته است. سر لوله را مسدود و لوله را از ظرف جیوه خارج می کنیم. ارتفاع ستون جیوه (h) را وقتی لوله از جیوه خارج شده است بیابید. دما ثابت و فشار هوا معادل ستونی از جیوه به ارتفاع H است.

برای حل این مسأله، ترازمندی را در سطح پایین ستون جیوه در نظر می گیریم: بدین معنی که فشار رو به «بالا» با فشار رو به «پایین» برابر باشد. بهتر است فشارها را بر حسب یکاهای «طول» ستون جیوه بیان کنیم. فشار رو به بالا معادل فشار هوا (H) و فشار رو به پایین برابر مجموع فشارهای بالای ستون جیوه (P') و فشار ستون جیوه باقیمانده در لوله (P'') است. برای محاسبه فشار هوای بالای ستون جیوه با بهره گیری از، ثابت $= PV$، می توان نوشت:

$$H \times \frac{l}{2} = P'(l - h)$$

یا

$$P' = \frac{H}{2} \times \frac{l}{l - h}$$

برای ستون جیوه داخل لوله می توان نوشت:

$$P'' = h$$

شرط $P = P' + P''$ به معادله زیر می‌انجامد.

$$H = \frac{H}{2} \times \frac{l}{l - h} + h \Rightarrow h^2 - (H + l)h + \frac{Hl}{2} = 0$$

که ریشه‌های آن عبارت‌اند از:

$$h = \frac{H + l}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{H^2 + l^2}$$

1-BORIS KORSUNSKY

حالا که شما در حل این گونه مسأله‌ها با تجربه شده‌اید، به سرعت جواب مثبت را انتخاب می‌کنید. اما مشکل اینجاست که هر دو ریشه مثبت‌اند. اما نگاه دقیق‌تری به ریشه‌ها نشان می‌دهد که ریشه بزرگتر نه تنها بزرگتر از صفر، بلکه از l هم بزرگتر است. بنابراین جواب قابل قبول به صورت زیر است:

$$h=\frac{H+l}{۲}-\frac{۱}{۲}\sqrt{H^۲+l^۲}$$

دو مسأله بالا نشان می‌دهند که چگونه ریشه‌هایی از معادله را می‌توان یافت که جواب مسأله نیست. (البته گاهی هر دو ریشه جواب مسأله‌اند. تمرین ۱ در آخر این مقاله از این گونه است.)

مسأله بعدی با دو مسأله پیشین تفاوت دارد، زیرا بدون ریشه‌یابی می‌توان مسأله را حل کرد.

مسأله ۳ـ فاصله کانونی یک عدسی همگرای f است. کمترین فاصله ممکن یک جسم را از تصویر حقیقی‌اش در این عدسی بیابید. (راهنمایی: اگر با حسابان آشنایی کافی ندارید، نگران نباشید!)

معادلهٔ عدسی

$$\frac{۱}{o}+\frac{۱}{x-o}=\frac{۱}{f}$$

به معادله درجه دوم نسبت به فاصلهٔ جسم تا عدسی o تبدیل می‌شود.

$$o^۲-ox-fx=o$$

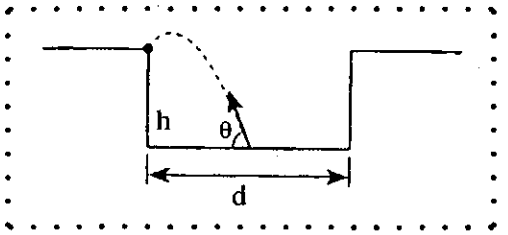
مبین معادله درجه دوم بالا چنین است:

$$D=x(x-۴f)$$

از آنجا که o تنها به ازای $D>۰$ وجود دارد، پس: $x_{min}=۴f$.

در مسأله بعدی محاسبه کمی پیچیده‌تر است، اما مجدداً به جای ریشه‌یابی به سراغ مبین می‌رویم.

مسأله ۴ـ در مرکز یک گودال استوانه‌ای شکل بزرگ، یک موشک آتش‌بازی، آزمایش می‌شود. پس از انفجار، انتظار نمی‌رود که سرعت قطعات سوزان از حد معین v فراتر رود. عمق گودال (h) را چنان بیابید که ایمنی لازم را برای تماشاگرانی که دقیقاً بر لب گودال ایستاده‌اند، تأمین کند. (به شرط این‌که مواظب باشند در گودال نیفتند.)



برای حل این مسأله، معادله حرکت قطعه‌ای از موشک را که درست به لبه گودال اصابت می‌کند، می‌نویسیم. فرض بر این است که قطعه تحت زاویه θ پرتاب می‌شود. پس داریم:

$$x=(V\,Cos\,\theta)t=\frac{d}{۲}$$

$$y=(V\,Sin\theta)t-\frac{۱}{۲}gt^۲=h$$

با حذف t از معادله‌های بالا، معادله درجه دوم زیر را برای $tan\,\theta$ خواهیم داشت:

$$tg^۲\,\theta-\frac{۴v^۲}{gd}tg\theta+\frac{۸hv^۲}{gd^۲}+۱=۰$$

می‌خواهیم این معادله بدون جواب باشد یعنی $D<۰$، پس داریم:

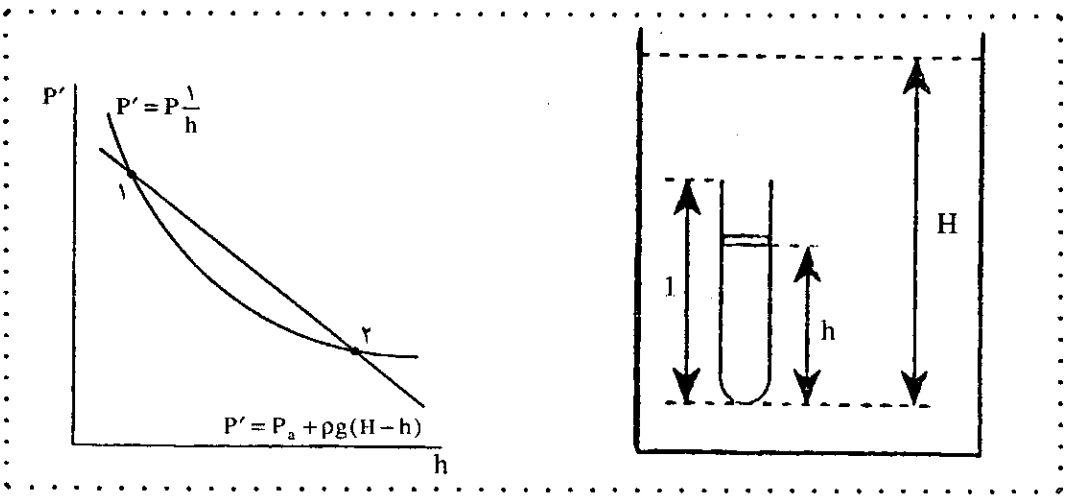
$$D=(\frac{۴v^۲}{gd})^۲-۴(\frac{۸hv^۲}{gd^۲}+۱)<۰\Rightarrow$$

$$h>\frac{v^۴-g^۲d^۲}{۸gv^۲}$$

نگاهی به صورت کسر سمت راست نامساوی نشان می‌دهد که اگر $v^۲<gd$ باشد، هر h ای قابل قبول است به عبارت دیگر موشک را می‌توان حتی بر سطح افقی زمین آزمایش کرد. در غیراین‌صورت، رابطهٔ بالا جواب را به دست می‌دهد.

مسأله آخر با «حذف ریشه‌ها» به جواب می‌رسد. اما این‌بار راه‌حل خیلی آسان نیست. اگرچه مسأله آسان به نظر می‌آید. ببینیم این‌بار چه تدبیری کارآمد است.

مسأله ۵ـ یک لوله آزمایش به طول L در فشار P از هوا پر و دهانه لوله با یک پیستون متحرک سبک مسدود شده است. سپس این لوله را تا عمق H در آب (مطابق شکل ۲) فرو می‌بریم و پیستون را رها می‌سازیم. ارتفاع ستون هوا را در لوله بیابید. چگالی آب ρ و فشار هوا Pa است. با توجه به شرط تعادل پیستون می‌توان نوشت:



$$\rho g(H-h)+Pa=p'$$

که در آن P' فشار جدید هوای محبوس در لوله آزمایش است. از طرف دیگر چون

$$pv=cte \Rightarrow pl=p'h$$

با توجه به این معادله ها داریم:

$$h^2-(H+\frac{P_a}{\rho g})h+\frac{pl}{\rho g}=0$$

و اینجاست که مشکل خودنمایی می‌کند. اولاً مبین معادله درجه دوم بالا الزاماً مثبت نیست که منطقی است. مثلاً اگر $P>>Pa$ ، و H فقط کمی از L بزرگتر باشد، پیستون از لوله بیرون می‌زند. اما اگر معادله جواب نداشته باشد چه باید کرد؟ از نظر شهودی، فقط انتظار یک جواب را داریم. اما معادله دو جواب زیر را به ما می‌دهد:

$$h_{\pm}=\frac{1}{2}(H+\frac{P_a}{\rho g})\pm\sqrt{\frac{1}{4}(H+\frac{P_a}{\rho g})^2-\frac{PL}{\rho g}}$$

هر دو ریشه مثبت‌اند و هر دو باید کمتر از L باشند. پس چگونه می‌توان تنها جواب «قابل قبول» را انتخاب کرد؟ برای پاسخ به این پرسش باید به پایداری تعادل توجه کرد (مفهوم مهمی که اغلب نادیده گرفته می‌شود). نمودار تغییرات P' را بر حسب h با توجه به رابطه‌های $P'=\frac{pL}{h}$ و $P'=P_a+\rho g(H-h)$ در نظر بگیرید (شکل ۳). نقطه‌های تلاقی (۱) و (۲) به ترتیب معرف h_- و h_+ هستند. به تغییرات فشار متناظر با انحراف مختصر پیستون از وضع تعادل در نقطه‌های (۱) و (۲)، توجه کنید. تحلیل نمودارها نشان می‌دهد که فقط نقطه (۱) معرف یک حالت تعادل است که تنها جواب واقعی و ممکن مسأله است. (از نظر فنی اگر پیستون به طریقی در نقطه (۲) متوقف شود، آنجا خواهد ماند، لذا جواب (۲) هم قابل قبول خواهد بود.)

حال که با چگونگی یافتن جوابهای معقول یک معادله درجه دوم آشنا شدید، مسأله‌های زیر را حل کنید:

تمرین ۱ ـ دو اتومبیل همزمان شروع به حرکت می‌کنند. اتومبیل ۱ از A به B و اتومبیل ۲ از B به A. اتومبیل ۱ با سرعت ثابت V، در حرکت است، در حالی که اتومبیل ۲ با سرعت V شروع به حرکت می‌کند و دارای شتاب ثابت a از A به B است. می‌دانیم که این اتومبیلها در حالی که در یک جهت حرکت می‌کنند دوبار با یکدیگر مواجه می‌شوند. گستره V را چنان بیابید که این موضوع ممکن شود. فاصله AB برابر L است.

تمرین ۲ ـ دو بار نقطه‌ای Q+ و 2Q- به فاصله ثابت L از یکدیگر قرار دارند. در چه نقطه بار آزمون نقطه‌ای q با دو بار دیگر در تعادل است؟

تمرین ۳ ـ از پنجره‌ای که در ارتفاع h از سطح زمین قرار دارد، سنگی را با سرعت اولیه V پرتاب می‌کنیم. بیشینه فاصله‌ای که سنگ در امتداد افقی با زاویه پرتاب مناسب طی می‌کند، چقدر است؟ برای حل این تمرین از رهیافتی که در مسأله ۴ داشتید، استفاده کنید.

مترجم: علی رزمکن
دانش آموز سال چهارم تجربی دبیرستان
نمونه توحید ۱ شیراز

Refrence: Quantum, MAY/ JUNE 1997

1. Boris Korsunsky

بررسی درستی پاسخها در مسأله فیزیک

ملاحظاتی درباره موجهای ایستاده

سید جعفر ـ مهرداد

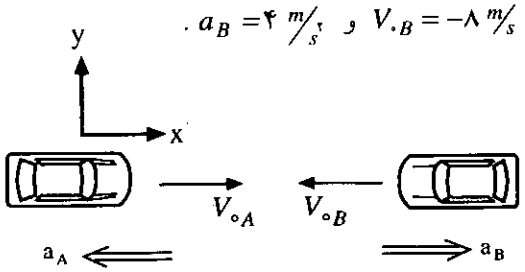
I ـ بررسی درستی پاسخها در مسأله فیزیک

در حل مسأله فیزیک باید بادقت تمام شرایط مسأله را درمحاسبه ریاضی درنظر بگیریم. گاهی به پاسخهایی دست می‌یابیم که بااستدلال ریاضی قابل قبول ولی از لحاظ فیزیکی نادرست است. به مثال زیر توجه می‌کنیم.

مثال: دو اتومبیل A و B به ترتیب با سرعت ۱۶ متر بر ثانیه و ۸ متر برثانیه دریک مسیر راست به هم نزدیک می‌شوند. هنگامی که به ۴۵ متری یکدیگر می‌رسند هر دو راننده ترمز می‌کنند.

هرگاه سرعت اتومبیل‌ها با شتاب ثابت $a_A = ۲ \ m/s^۲$ و $a_B = ۴ \ m/s^۲$ کند شود پس از چه مدت و در چه مکان به هم برخورد می‌کنند؟

حل: مطابق شکل ۱ مکان اولیه A را درحرکت باشتاب، مبداء و جهت سرعت اولیه آن را جهت مثبت محور x اختیار می‌کنیم. بااین فرض داریم. $x_{۰A} = ۰$ و $V_{۰A} = ۱۶ \ m/s$ و $a_A = -۲ \ m$ و $x_{۰B} = ۴۵ \ m$ و $V_{۰B} = -۸ \ m/s$ و $a_B = ۴ \ m/s^۲$.



شکل ۱

هنگامی دواتومبیل به یکدیگر می‌رسند که $x_A = x_B$ است. رابطه کلی $x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t + x_۰$ را برای هراتومبیل به کار می‌بریم:

$$x_A = -t^۲ + ۱۶t \qquad (I)$$

$$x_B = ۲t^۲ - ۸t + ۴۵ \qquad (II)$$

x_A و x_B را برابر می‌گیریم نتیجه می‌شود:

$$۳t^۲ - ۲۴t + ۴۵ = ۰$$

از رابطه اخیر پاسخهای $t = ۳^s$ و $t = ۵^s$ برای زمانهای برخورد دو اتومبیل به دست می‌آید. **این پاسخها از لحاظ فیزیکی نادرست است.** لغزش در کجاست؟

هرگاه سرعت اتومبیلها را در $t = ۳^s$ حساب کنیم خواهیم داشت:

$$\begin{cases} V_A = V_{۰A} + a_A t = ۱۶ + (-۲)(۳) = ۱۰ \ m/s \\ V_B = V_{۰B} + a_B t = -۸ + (۴)(۳) = +۴ \ m/s \end{cases}$$

V_A قابل قبول است ولی علامت V_B نشان می‌دهد که درلحظه $t = ۳^s$ اتومبیل B درسوی مثبت محور درحرکت است و معنی آن این است که وقتی اتومبیل B ترمز شده سوی سرعت آن برگشته است!

به آسانی می‌دانیم که اتومبیل B در $t_B = \left|\frac{V_{۰B}}{a_B}\right| = \frac{۸}{۴} = ۲^s$ متوقف شده است بنابراین رابطه (II) برای اتومبیل B پس از ۲^s صادق نیست. و همچنین اتومبیل A در $t_A = \left|\frac{V_{۰A}}{a_A}\right| = \frac{۱۶}{۲} = ۸^s$ متوقف می‌شود و رابطه (I) برای اتومبیل A پس از ۸^s به‌کار نمی‌رود.

از رابطه (II) مکان توقف اتومبیل B را پیدا می‌کنیم.

$$x_B = ۲(۲)^۲ - ۸(۲) + ۴۵ = ۳۷ \ m$$

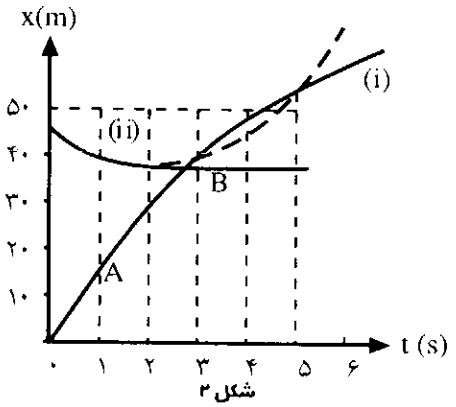
باتوجه به‌شرط برخورد $x_A = x_B$ از رابطه (I) نتیجه می‌گیریم:

$$۳۷ = ۱۶t - t^۲$$

بنابراین $t = ۲/۸^s, \ ۱۳/۲^s$ است و پاسخ $۱۳/۲^s > ۸^s$ قابل قبول نیست پس دواتومبیل درلحظه $t = ۲/۸^s$ درمکان $x = ۳۷^m$ به هم برخورد

می‌کنند.

* * *



شکل ۲

شکل ۲ نمودار مکان ـ زمان دو اتومبیل A و B را نشان می‌دهد. نمودار A سهمی (I) است و این اتومبیل پس از ۸ ثانیه می‌ایستد در صورتیکه نمودار اتومبیل B قسمتی از یک سهمی است که پس از ۲ ثانیه با خط افقی ادامه یافته است زیرا این اتومبیل پس از این مدت متوقف شده است. دو سهمی مربوط به نمودارهای اتومبیل A و B یکدیگر را در زمانهای 3^s و 5^s قطع کرده‌اند.

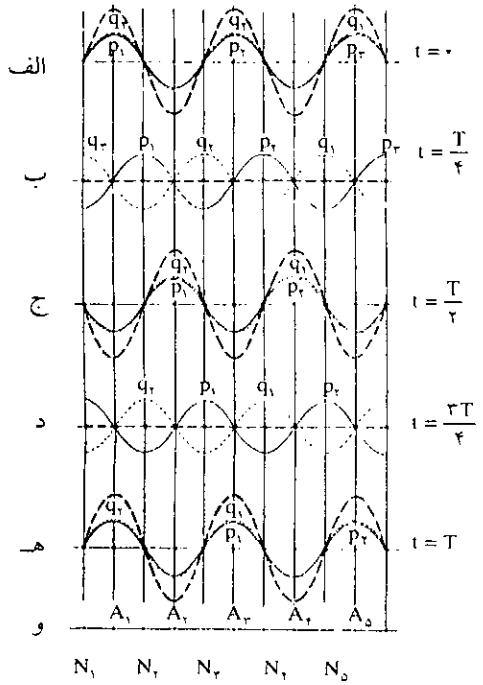
در این بررسی به خوبی نشان داده شده است که نباید چشم بسته، پاسخهای حاصل از محاسبه ریاضی را برای حل یک مسأله فیزیکی قبول کنیم بلکه باید هر پاسخی را به طور منطقی با شرایط فیزیکی مسأله مطابقت دهیم.

II ـ ملاحظاتی درباره موجهای ایستاده

می‌دانیم **موج ایستاده حاصل برهم نهی دو موج هم دامنه و هم بسامد است که در یک راستا در خلاف جهت هم منتشر می‌شوند.** » درباره این گونه موجها مطالب زیر قابل ذکر و توجه است.

۱ـ می‌توانیم موجهای ایستاده یا ساکن را با روش ترسیمی بررسی کنیم.

* **شکل ۱ـ الف** برای لحظه $t = 0$ رسم شده است. منحنی پر، موجی را نشان می‌دهد که بالاترین نقطه‌های موج یا قله‌های موج آن با P_1 ، P_2 ، P_3 مشخص شده و به سمت راست در حرکت است. منحنی نقطه چین موجی است که به چپ می‌رود و قله‌های موج آن با q_1 ، q_2 ، q_3 نشان داده شده است. این دو موج دارای دامنه و بسامد یکسانند و تنها به منظور متمایز بودن از هم جداگانه رسم شده‌اند.



شکل۱- تشکیل موجهای ایستاده- روش ترسیمی

می‌دانیم: «**در نقطه ای که موجها به هم می رسند، جابه جایی کل در هر نقطه برآیند جابه جایی هایی است که هر یک از موجها به تنهایی در آن نقطه ایجاد می کنند.**».

جابه جایی کل یا برآیند جابه‌جایی ها با منحنی خط چین رسم شده است. بیشترین اندازه برآیند جابه‌جایی‌ها در جایی است که دو قله موج اولیه بر هم منطبق است و کمترین اندازه آن در مکانی است که پایین‌ترین نقطه‌های موج اولیه با دره‌های موج بر روی هم قرار دارند.

دوره یا زمان تناوب ارتعاش را T و طول موج، موجهای اولیه را λ می‌نامیم. می‌دانیم هر موج در مدت $\frac{T}{4}$ مسافتی برابر $\frac{\lambda}{4}$ به جلو می‌رود. (برای هر موج T و λ و 2π متناظر یکدیگرند)

* مطابق شکل ۱ـ ب شکل موج هر یک از قله‌های P_1 ، P_2 ، P_3 نسبت به مکان اولیه خود به اندازه $\frac{\lambda}{4}$ به طرف راست و شکل موج قله‌های q_1 و q_2 و q_3 نیز

نسبت به مکان اولیه خود به اندازه $\frac{\lambda}{۴}$ به چپ پیش رفته‌اند و برآیند جابه‌جایی‌ها در هر نقطه برابر صفر است. در لحظه $t = \frac{T}{۴}$ برآیند جابه‌جایی‌ها با خط چین به صورت خط راست نشان داده شده است.

* **شکل ۱ ـ ج** هر یک از دو موج و موج برآیند را در لحظه $t = \frac{T}{۲}$ نشان می‌دهد. یک موج به اندازه $\frac{\lambda}{۴}$ دیگر به طرف راست و موج دیگر به اندازه $\frac{\lambda}{۴}$ دیگر به طرف چپ پیش رفته‌اند. در این حالت قله موج $P_۱$ با قله موج $q_۲$ و قله موج $P_۲$ با قله موج $q_۱$ منطبق است. بنابراین برآیند جابه‌جایی‌ها در مکانهایی دارای بیشترین اندازه است که قله‌ها و دره‌های دو موج بر روی هم می‌افتند. در این لحظه نیز برآیند جابه‌جایی‌ها با منحنی خط چین نشان داده شده است.

* **مطابق شکل ۱ ـ د** شکل قله‌های $p_۱$ و $p_۲$ به اندازه $\frac{\lambda}{۴}$ دیگر به راست و قله‌های $q_۱$ و $q_۲$ نیز به همین اندازه به چپ پیش رفته‌اند. برای لحظه $t = ۳\frac{T}{۴}$ نیز در هر نقطه قله‌های یک موج متناظر با دره‌های موج دیگر و بنابراین برآیند جابه‌جایی‌ها صفر است.

* شکل ۱ ـ هـ برای لحظه $t = T$ رسم شده و برآیند جابه‌جایی‌ها دارای بیشترین اندازه و مانند حالت مربوط به $t = ۰$ است. این چرخه دوباره تکرار می‌شود. از بررسی این پنج شکل به طور خلاصه درمی‌یابیم که بر اثر برهم نهی دو موج هم‌دامنه و هم‌بسامد که در یک راستا و در خلاف جهت هم منتشر می‌شود تمام نقطه‌های محیط با دامنه‌های متفاوت هر کدام جداگانه حرکت نوسانی ساده انجام می‌دهند.

* **مطابق شکل ۱ ـ و** بعضی نقطه‌های محیط مانند $N_۱, N_۲, \ldots$ همواره در حال سکون و نقطه‌هایی از محیط مانند $A_۱, A_۲, \ldots$ دارای بیشترین دامنه هستند. $N_۱, N_۲, \ldots$ را گره و $A_۱, A_۲, \ldots$ را پاد گره یا شکم و برآیند موجها را که خود به شکل موجی ساکن در جای خود تشکیل می‌شود موج ساکن یا ایستاده می‌نامند. فاصله دو گره متوالی یا دو شکم متوالی برابر $\frac{\lambda}{۲}$ و فاصله یک گره تا شکم بعد از آن $\frac{\lambda}{۴}$ است.

برآیند موجها به صورت منحنی سینوسی خط چین نشان داده شده است. هرگاه بسامد نوسان زیاد باشد این برآیند با توجه به اثر دیدگانی به صورت دوکهای متوالی دیده می‌شود.

۲ـ هریک از دو موج را که صورت منحنی پر و یا منحنی نقطه‌چین نشان داده شده، موج رونده یا موج انتقالی می‌نامند. از برهم‌نهی این دو موج، موج ساکن یا ایستاده تشکیل و با خط چین مشخص شده است.

درجدول زیر موجهای رونده را با موجهای ساکن مقایسه می کنیم.

	موج رونده	موج ایستاده
دامنه	برای تمام ذره‌های محیط یکسان است	برحسب مکان ذره تغییر می‌کند. برای گرهها صفر و برای پادگرهها بیشینه است
شکل موج	با سرعت انتشار موج پیش می‌رود	پیش نمی‌رود، بلکه در جای خود ثابت می‌ماند
بسامد	همه ذره‌ها با یک بسامد مرتعش می‌شوند	ذره‌های واقع بر گرهها ساکنند و همه ذره‌های دیگر با بسامد یکسان مرتعش می‌شوند
فاز	برای هر طول موج زاویه فاز از صفر تا ۲π تغییر می‌یابد	تمام ذره‌های میان دو گره مجاور همفازند و با ذره‌های میان دو گره بعدی اختلاف فازی برابر π دارند
انرژی	انرژی از موج از منبع به مکان دیگر منتقل می‌کند	انرژی از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل نمی‌شود

۳ـ در فیزیک دوره پیش دانشگاهی ـ رشته علوم ریاضی صفحه ۳۷ حاصل برهم‌نهی دو موج در یک نقطه به فاصله x از مبدء محور x بنابه اصل برهم‌نهی به صورت زیر به دست آمده است.

$$U_T = ۲A_۱ Cos\left(kx + \frac{\varphi_۲ - \varphi_۱}{۲}\right) Sin\left(\omega t + \frac{\varphi_۲ + \varphi_۱}{۲}\right)$$

تار کشیده‌ای به طول L را در نظر می‌گیریم که دو سر آن در دو نقطه A و B ثابت شده است. در این دو نقطه $x_A = ۰$ و $x_B = L$ گره تشکیل شده و دامنه صفر است. با توجه به اینکه جمله‌های مستقل از زمان معرف دامنه موج است برای نقطه A می‌توانیم بنویسیم.

$$۲A_۱ Cos\,(kx + \frac{\varphi_۲ - \varphi_۱}{۲}) = ۰$$

$$۲A_۱ Cos\,(۰ + \frac{\varphi_۲ - \varphi_۱}{۲}) = ۰$$

$$\frac{\varphi_۲ - \varphi_۱}{۲} = r\frac{\pi}{۲} \qquad (۱)$$

$$r = ۱, ۳, ۵, \ldots$$

و برای نقطه B بنویسیم

$$۲A_۱ Cos\,(kL + \frac{\varphi_۲ - \varphi_۱}{۲}) = ۰$$

$$kL + \frac{\varphi_۲ - \varphi_۱}{۲} = S\frac{\pi}{۲} \qquad (۲)$$

S نیز عدد صحیح فرد است.
از رابطه (۱) و (۲) نتیجه می‌گیریم:

$$L + r\frac{\pi}{۲} = S\frac{\pi}{۲}$$

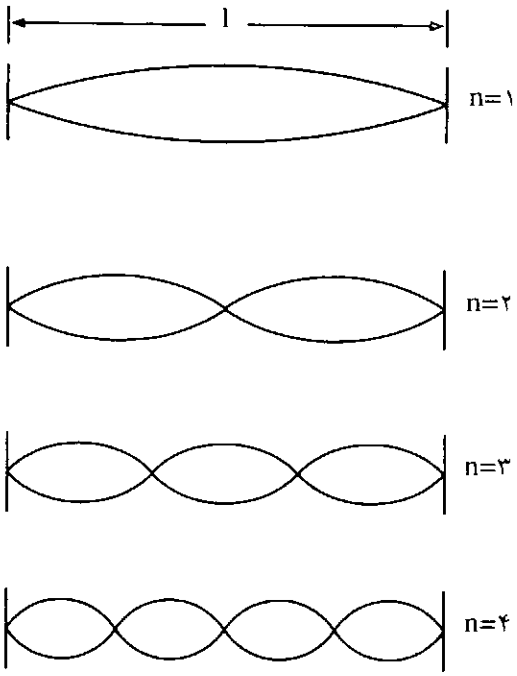
$$kL = (r - S)\frac{\pi}{۲} \qquad (۳)$$

$k = \frac{۲\pi}{\lambda}$ و $(r - s)$ تفاضل دوعدد صحیح فرد و $(r - S) = ۲, ۴, ۶, \ldots$ است بنابراین می‌توانیم رابطه (۳) را به‌صورت زیر بنویسیم:

$$\frac{۲\pi}{\lambda} L = ۲n\frac{\pi}{۲}$$

$$n = ۱, ۲, ۳, \ldots \quad \Rightarrow \quad L = n\frac{\lambda}{۲}$$

این رابطه نشان می‌دهد که برای n=۱ طول تار برابر نصف طول موج و برای n=۲ طول تار برابر با طول موج است و... بنابراین نه تنها در دو سر تار گره تشکیل می‌شود بلکه مطابق شکل ۲ در میان آنها نیز برحسب n گرههای دیگری تشکیل خواهد شد.



شکل-۲

برای نقاطی از تار که

$$Cos\,(kx + \frac{\varphi_۲ - \varphi_۱}{۲}) = \pm ۱$$

است، دامنه ارتعاش بیشینه و برابر $۲A_۱$ است و شکمهای ارتعاش تشکیل می‌شود. هر طول موج ممکن در این تار متناظر با بسامد $f = \frac{V}{\lambda}$ است. V سرعت موج یا سرعت انتشار ارتعاش عرضی در تار است. بسامد تار برای n = ۱ صورت اصلی و بسامدهای متناظر یا n = ۲, ۳, ... صوتهای فرعی یا هم آهنگها نامیده می‌شوند.

مراجع

1) HARRIS BENSON, UNIVERSITY PHYSICS. chap.3
2) V.L. Pur ohit, FUNDAMENTALS OF PHYSICS. chap. 33
3) Borowitz, ESSENTIALS OF PHYSICS. chap. 26
4) BOLTON, PATTERNS IN PHYSICS. chap.7

کاربرد رساناهای خوب*

جی. وی پورچ و امزجی سیمسون

آزمایش. توری‌آهنی یا مسی را روی سه‌پایه قرار دهید. مشعل گاز را زیر توری بگذارید. گاز را باز کنید و از بالای توری آن را روشن کنید شکل (۱ ـ الف). متوجه می‌شوید بااینکه چندلحظه از سوختن گاز بالای توری می‌گذرد امّا هنوز گاز زیر توری مشتعل نشده است. گاز را خاموش کنید و صبر کنید تا توری سرد شود. این بار گاز را از زیر توری روشن کنید. دوباره متوجه می‌شوید گاز پایین توری مدتی می‌سوزد بدون‌آنکه گاز بالای توری مشتعل شده باشد شکل (۱ ـ ب). نخست شاید فکر کنید این آزمایش به شما نشان می‌دهد که توری رسانای گرمایی خوبی نیست زیرا مدتی طول می‌کشد تا طرف دیگر توری کاملاً داغ شود تا گاز مشتعل شود. امّا اگر اندکی بیشتر فکر کنید به‌نتیجه‌ای عکس این مطلب می‌رسید. اگر توری رسانای خوبی نبود بخشی از توری که با شعله ارتباط داشت به‌سرعت داغ می‌شد، درحالی‌که بخشهای دیگر هم‌چنان سرد باقی می‌ماند. درواقع، چون توری رسانای خوبی است، گرما درسراسر توری و هوای اطراف آن پراکنده می‌شود. درنتیجه زمان قابل ملاحظه‌ای طول خواهد کشید تاگاز به‌اندازهٔ کافی داغ شود تا مشتعل گردد.

توانایی فلزات درپراکندگی گرما کاربردهای عملی بسیاری دارد. سرهمفری دیوی (۱۷۷۸ ـ ۱۸۲۹) درطراحی یک چراغ معدنِ روغنی بامشکل روبه‌رو شده بود. او می‌خواست از انفجار گازهای قابل اشتعال که درآن روزگار جان عدهٔ بی‌شماری را گرفته بود جلوگیری کند. شکل (۲) راه‌حل این مشکل را نشان می‌دهد. شعله نمی‌تواند کاملاً محصور باشد زیرا برای اینکه روغن بسوزد هوا باید به‌چراغ وارد و گازهای حاصل از احتراق از آن خارج شوند. دیوی پیشنهاد کرد که اگر شعلهٔ چراغ را با دو یا سه سرپوش بلند از توریهای سیمی بپوشانند، گرمای حاصل از احتراق روغن پراکنده می‌شود بدون‌آنکه دمای خارج از چراغ بالا رود و یا گازهای فرّار به‌حد کافی گرم شوند تاانفجاری صورت گیرد. دراین وضعیت گازهای منفجر شونده بدون‌آنکه درخارج از چراغ مشتعل شوند وارد چراغ می‌شوند، می‌سوزند و نوری آبی رنگ تولید می‌کنند. معدنچیان باتغییر رنگ شعله متوجه خطر می‌شوند.

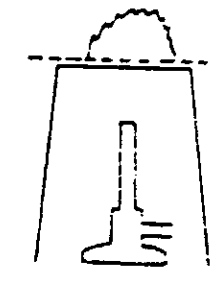
یکی از کاربردهای جدید رساناهای خوب در ابزار الکترونیکی ترانزیستوری است. این وسایل هنگام کار تولید گرما می‌کنند. اگر دما خیلی بالا رود آنها یا درست کار نمی‌کنند یا ممکن است برای همیشه از کار بیفتند. بنابراین گرمای تولید شده باید به‌نحوی پراکنده شود. این وسایل را روی یک صفحهٔ فلزی نصب می‌کنند. تماس حرارتی موجب پراکنده شدن گرما به‌اطراف می‌شود. هم‌چنین هنگامی که یک ترانزیستور را درمداری لحیم می‌کنند لازم است که زمان لحیم‌کاری ترانزیستور خیلی داغ نشود. از این‌نظر برای جلوگیری از این عمل مطابق شکل (۳) سیم متصل به‌ترانزیستور را با یک انبردست محکم می‌گیرند. بااینکار گرما به‌ترانزیستور نمی‌رسد. در دو مثال گفته شده صفحه فلزی مانند یک «چاه گرما» بکار می‌رود.

مترجم: احمد ـ توحیدی

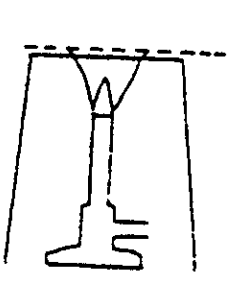
* Good conductor and theirs uses

مرجع:

J.V. Portch and O.J simpson, physics with chemistry

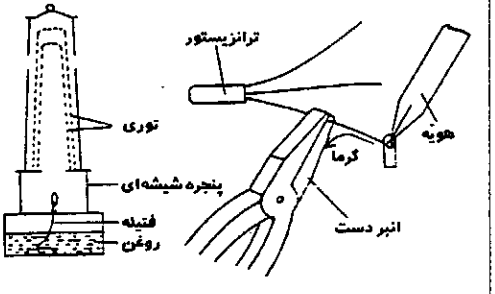


(ب)



(الف)

شکل-۲



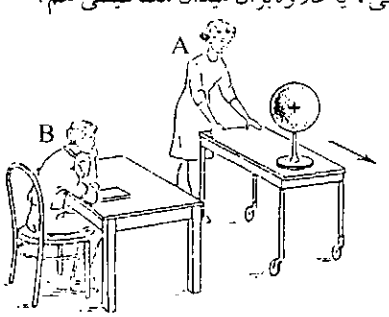
شکل-۳

رابطه میان میدانهای الکتریکی و مغناطیسی*

جی زیلبرمن

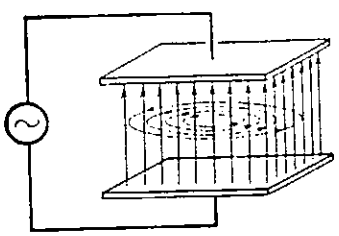
میدانهای الکتریکی و مغناطیسی متغیر یکدیگر را القا می‌کنند. میدان متغیر، میدانی است که شدت و حرکت آن تغییر کند. در این مقاله با نشان دادن چند آزمایش رابطهٔ میان میدانها و تبدیل متقابل آنها هنگام انتقال از یک دستگاه مرجع به دستگاه دیگر را بررسی خواهیم کرد.

آزمایش ۱. آزمایشگر A با سرعت ثابت روی خط راست در عرض آزمایشگاه حرکت می‌کند شکل (۱). او میزی را که کرهٔ فلزی بارداری با پایهٔ نارسانا روی آن قرار دارد به جلو می‌راند. این کرهٔ باردار چه نوع میدانی ایجاد می‌کند؟ چون آزمایشگر A با کرهٔ باردار حرکت می‌کند، بنابراین بار نسبت به او ساکن است و او تنها میدان الکتریکی را که بار تولید می‌کند ملاحظه خواهد کرد. آزمایشگر B که پشت میز نشسته است هرگز با نتیجهٔ به دست آمده موافق نیست. او می‌گوید چون بار متحرک است افزون بر میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی هم ایجاد می‌کند. بدیهی است که این پرسش مطرح می‌شود: واقعاً کرهٔ باردار چه نوع میدانی ایجاد می‌کند؟ تنها میدان الکتریکی، یا علاوه بر آن میدان مغناطیسی هم؟

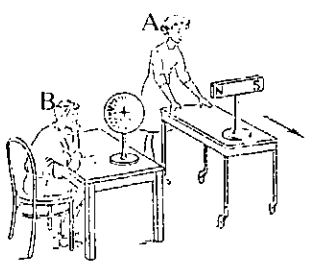


پاسخ پرسش در واقع به وضعیت بار بستگی دارد. آیا ما همراه بار حرکت می‌کنیم یا بار نسبت به ما متحرک است؟ به عبارت دیگر پاسخ ما به دستگاه مرجعی که برای اندازه‌گیری بکار می‌بریم بستگی دارد. اگر اندازه‌گیری در دستگاه مرجعی که با بار حرکت می‌کند انجام شود، یعنی با ابزارهایی که آزمایشگر A دارد، آنها تنها وجود میدان الکتریکی را ثبت خواهند کرد. امّا ابزارهای آزمایشگر B هم میدان الکتریکی و هم میدان مغناطیسی را ثبت خواهند کرد.

آزمایش ۲. در آزمایش (۱) میدان مغناطیسی با حرکت میدان الکتریکی کرهٔ باردار تولید می‌شود. با آزمایش دیگری می‌توان نشان داد که میدان مغناطیسی نه تنها از حرکت میدان الکتریکی بلکه از تغییر آن هم بوجود می‌آید. با این نقطه نظر اختلاف پتانسیل متناوبی با بسامد بالا را به دو سر خازن مسطحی وصل می‌کنیم شکل (۲).



آزمایش ۳. این بار کرهٔ باردار را روی میز آزمایشگر B و روی میز متحرک آزمایشگر A یک آهنربای دائمی قرار می‌دهیم شکل (۳).



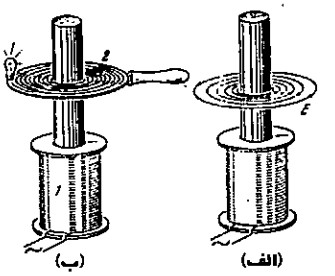
بیائید ببینیم آهنربا چه نیرویی به بار وارد می‌کند. از نقطه نظر A چون بار متحرک در میدان مغناطیسی آهنربا قرار دارد باید از طرف آهنربا به آن نیروی لورنتس ($F=qVB\ Sin\ \theta$) وارد شود. آزمایشگر B چون پشت میز نشسته است و بار نسبت به او سرعتی ندارد اظهار می‌دارد که به هیچ وجه نیروی لورنتس وجود ندارد. امّا بود یا نبود نیرو دیگر نسبی نیست. زیرا هر نیرویی شتابی ایجاد می‌کند و شتاب باید در همهٔ دستگاههای مرجع که

* Relationship Between Electric and Magnetic Field.

باسرعت ثابت روی خط راست حرکت می‌کنند یکسان باشد. آزمایش نشان می‌دهد که واقعاً نیرویی به کرهٔ باردار وارد می‌شود. ازنقطه‌نظر آزمایشگر A این نیرو، نیروی لورنتس است. امّا ازنقطه‌نظر آزمایشگر B باحرکت آهنربا میدان مغناطیسی تغییر می‌کند درنتیجه میدان الکتریکی به‌وجود می‌آید و همین میدان است که روی بار تأثیر می‌گذارد.

حق باکدام آزمایشگر است؟ باهردو، زیرا هردو باتوجه به‌واقعیت موجود اظهارنظر می‌کنند. بنابراین نتیجهٔ اندازه‌گیری کمیتهای فیزیکی مانند میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی در دستگاههای مرجع مختلف متفاوت است. این موضوع موجب شگفتی نیست. کافی است کمیت سرعت را به‌خاطر آورید که اندازهٔ آن در دستگاههای مرجعی که نسبت به‌هم متحرک هستند متفاوت است. دستگاه مرجعی وجود دارد که اندازه سرعت در آن صفر است، و آن دستگاهِ مرجعی است که باجسم حرکت می‌کند. چون اندازهٔ سرعت در دستگاههای مختلف متفاوت است، بنابراین انرژی جنبشی جسم (و کل انرژی هم‌چنین) هم در دستگاههای مختلف متفاوت است. به‌طور مشابه درآزمایش (۳) دریک دستگاه مرجع میدان الکتریکی وجود دارد و در دیگری وجود ندارد. درآزمایش (۱) در دستگاه مرجعی که نسبت به‌آزمایشگاه ساکن است میدان مغناطیسی وجود دارد و در دستگاهی که باآزمایشگر A حرکت می‌کند وجود ندارد.

آزمایش ۴. باانجام این آزمایش به‌آسانی می‌توان نشان داد که میدان الکتریکی القایی نه‌تنها ازحرکت میدان مغناطیسی (آزمایش ۳) بلکه از تغییر شدت آن هم به‌وجود می‌آید. سیم‌پیچ (۱) باهستهٔ آهنی بلند را به‌جریان متناوب متصل کنید. شکل (۴ ـ الف). سیم‌پیچ (۲) متصل به لامپ را در داخل هستهٔ آهنی قرار دهید. لامپ روشن می‌شود. زیرا در اثر تغییر اندازهٔ میدان مغناطیسی در سیم‌پیچ (۱) در سیم‌پیچ (۲) میدان الکتریکی تولید می‌شود و این میدان در سیم‌پیچ (۲) جریان القایی تولید می‌کند شکل (۴ ـ ب).



تبدیل میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در نظریهٔ نسبیت.

آزمایش (۱) و (۳) را می‌توان باالقای یک میدان بر اثر حرکتِ میدان دیگر توضیح داد. این رهیافت از دیدگاه نظریهٔ نسبیت مکمل رهیافت جامعتری است. اصل اساسی نسبیت خاص هم‌ارز بودن همهٔ دستگاههای مرجع لَخت است که نسبت به‌هم حرکت می‌کنند. هم‌ارزی بدین‌معنا است که در هریک از دستگاههای مرجع همهٔ قوانین فیزیک یکسان‌اند. بنابراین در همهٔ دستگاههای مرجع کلیه پدیده‌های فیزیکی روند یکسانی دارند. مثلاً، سرعت نور و دیگر امواج الکترومغناطیسی c، در همهٔ دستگاههای مرجع ثابت باقی می‌ماند و حرکت ذرات باردار در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی از قوانین یکسانی پیروی می‌کنند.

اگر سرعت نسبی حرکت دستگاههای مرجع، $v<<c$ باشد. باتوجه به‌ناوردایی قوانین حرکت ذرات، شتاب هم باید در هریک از دستگاههای یکسان باشد (هنگامی که اندازهٔ سرعتهای v و c به‌هم نزدیک باشند چون در دستگاههای مرجع مختلف اندازهٔ کمیتهای زمان، جرم، و نیرو متفاوت است، موضوع به‌صورت پیچیده‌ای درمی‌آید.) بنابراین، اگر $v<<c$ باشد شتاب بار و نیروهای وارد برآن درهر دو دستگاه آزمایش (۳) یکسان است. امّا نیروی لورنتس که به‌بار وارد می‌شود به‌اندازهٔ سرعت بستگی دارد. بنابراین نمی‌تواند در هر دو دستگاه برابر باشد. پس نیروی الکتریکی وارد به‌بار qE هم‌مانند میدان الکتریکی E در دستگاههای مرجعِ مختلف متفاوت است.

بنابهٔ نظریه نسبیت تبدیل متقابل E و B هنگام انتقال از یک دستگاه مرجع به‌دستگاه دیگر یک انتقال خطی است. اگر در دستگاه (۱) میدان الکتریکی و یا میدان مغناطیسی وجود داشته باشد. در دستگاه (۲) میدان غایب در دستگاهِ(۱) ظاهر می‌شود. باید گفت که جدا کردن یک میدان به‌میدانهای الکتریکی و مغناطیسی امری است نسبی و به‌دستگاه مرجع بستگی دارد.

مترجم: احمد توحیدی

مرجع:

G. Zilebrman , Electricity and Magnetisn.

به دست آوردن معادلهٔ حالت گاز کامل با استفاده از نظریهٔ جنبشی*

دیوید تامپسن[1]

بیشتر کتابهای درسی فیزیک معادلهٔ حالت گاز کامل را با استفاده از یکی از دو روش نظریه جنبشی به دست می‌آورند. امّا من متوجه شده‌ام که بیشتر کتابها هنگام استدلال از یک مرحله صرفنظر می‌کنند، خطایی که امکان دارد از چشم دانش‌آموزی تیزهوش پوشیده نماند.

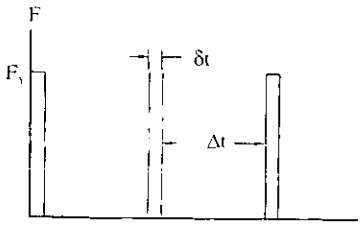
فرض کنید N اتم گاز در مکعبی به ضلع L جای دارند و نیروهایی به سطح مکعب که عمود بر محور X ها است وارد می‌کنند. محاسبه را با در نظر گرفتن تنها یک اتم گاز که مؤلفهٔ سرعت آن در جهت محور X ها است شروع می‌کنیم. هنگامی که اتم به دیوار برخورد می‌کند، مؤلفهٔ سرعت آن معکوس می‌شود و نیرویی که به دیوار وارد می‌کند برابر است با:

$$F_1 = m\frac{\delta \upsilon_x}{\delta t} = \frac{2m\upsilon_x}{\delta t} \qquad (1)$$

تا اینجا همه چیز صحیح است، امّا از این پس معمولاً ادعا می‌شود که فاصلهٔ زمانی δt را باید برابر با $\frac{2l}{\upsilon_x}$ گرفت که فاصلهٔ زمانی میان برخوردهای متوالی اتم با دیوار است. با جایگزینی این مقدار در رابطه (۱) و تعویض سرعت با دما با استفاده از قضیهٔ همپاری انرژی و ضرب طرفین رابطه در تعداد اتمها، معادلهٔ حالت گاز کامل به دست می‌آید.

در اینجا ایرادی که دانش‌آموز تیزهوش می‌گیرد اینست که نیروی F_1 واقعاً تنها هنگام برخورد اتم با دیوار وجود دارد (البته فرض می‌کنیم که مقدار نیرو هنگام برخورد ثابت است). به عبارت دیگر δt مدّت زمانی است که اتم هنگام برخورد با دیوار سپری کرده است نه مدّت زمان میان برخوردهای متوالی اتم با دیوار (Δt). متأسفانه هیچ راهی برای محاسبهٔ δt وجود ندارد. تقریباً بهترین توضیحی که می‌توان دربارهٔ این موضوع داد اینست که بگوییم δt زمان بسیار کوچکی است. امّا اگر این زمان بی‌نهایت کوچک نباشد فکر می‌کنید کجای محاسبه از قلم افتاده است؟

برای رفع این مشکل باید به خاطر آوریم که فشار روی دیوار، حاصل از نیروی متوسطی است که اتمها بر آن وارد می‌کنند. شکل (۱) چگونگی تغییر نیروی یک اتم را بر حسب زمان نشان می‌دهد. فرض کنید در فاصلهٔ زمانی δt نیرو ثابت است. نیرو شامل یک سلسله قله‌های مساوی است که با فاصلهٔ زمانی ثابتی از یکدیگر جدا شده‌اند. هر قله مدّت δt دوام دارد و از قله‌های مجاورش با فاصلهٔ زمانی Δt جدا شده است.



$$\Delta t = \frac{2l}{\upsilon_x} \qquad (2)$$

آشکار است که نیروی متوسط $(\overline{F_1})$ که به دیوار وارد می‌شود برابر است با نیروی (F_1) ضربدر کسری از زمان که این نیرو به دیوار وارد می‌شود:

$$\overline{F_1} = F_1\frac{\delta t}{\Delta t} = \frac{2m\upsilon_x}{\delta t}\frac{\delta t}{\Delta t} = \frac{2m\upsilon_x}{\Delta t} = \frac{m\upsilon_x}{l} \qquad (3)$$

امّا اگر بخواهیم با دقت‌تر عمل کنیم باید در رابطه (۳) در مخرج کسر به جای Δt، $\Delta t + \delta t$ بگذاریم و بگوییم از δt می‌توان در مقابل Δt چشم‌پوشی کرد. آنچه اهمیت دارد اینست که دیگر مجهول δt که اندازه‌پذیر هم نیست، در محاسبات آشکار نمی‌شود.

بار دیگر به رابطه (۳) برمی‌گردیم و با به کارگیری قضیهٔ همپاری انرژی، به روش معمول محاسبه را ادامه می‌دهیم.

$$\frac{1}{2}m\upsilon_x^2 = \frac{1}{2}K_BT \qquad (4)$$

برای به دست آوردن فشاری که یک اتم گاز به دیوار وارد می‌کند طرفین رابطه (۳) را بر سطح $A = L^2$ تقسیم می‌کنیم و با ضرب این مقدار در تعداد اتمها N فشار کل را به دست می‌آوریم.

$$PV = NK_BT \qquad (5)$$

آنچه نویسندگان کتابهای درسی فیزیک انجام می‌دهند آن است که به طور ضمنی میانگین نیرو را نسبت به زمان به دست می‌آورند. در حالیکه در این مقاله نشان دادیم علاوه بر اینکه به حساب آوردن اُفت و خیزهای واقعی نیرو در محاسبات بسیار آسان است، می‌توان فرصتی هم برای ارایه بحث دربارهٔ این نوع اُفت و خیزها فراهم کرد.

مترجم: احمد توحیدی

مرجع

The physics teacher VOL. 35. A PSiL 1997

* ترجمه کلمات با توجه به متن کتاب دورهٔ پیش دانشگاهی رشته علوم ریاضی صفحه ۵۳ ـ ۵۰ انتخاب شده است.

1-David Thompson

متن سخنرانی خانم محبوبه غلامی در کنفرانس دانش‌آموزی اصفهان ۱۳۷۶

ارائه دهندگان مقاله: آرزو فلاح‌زاده، محبوبه غلامی
سخنران: محبوبه غلامی
عنوان گزارش کار تجربی: بررسی حرکات همرفتی در استخر خورشیدی آزمایشگاهی
محل انجام کار: در منزل
مقطع تحصیلات: اوّل دبیرستان
محل اقامت: آمل
نام و نام خانوادگی و میزان تحصیلات راهنمای گزارش: آقای محمود رضا بالف، لیسانس
مراجع یا منابع علمی مورد استفاده:
۱ـ بررسی تجربی حرکات همرفتی در لایه آمیخته یک استخر خورشیدی دکتر علی‌اکبر بیدختی ـ فاطمه صحرائیان ـ علیرضا محمد نژاد مقاله ارائه شده در چهارمین کنفرانس فیزیک شاره‌ها، دانشگاه تربیت‌مدرس ۲۳ تا ۲۵ مردادماه ۷۵
۲ـ کتاب فیزیک ۱ نظام جدید متوسطه
۳ـ کتاب فیزیک ۲ نظام جدید متوسطه

مقدمه

یک استخر خورشیدی با حفاظ چگالی پایدار که توسط تمرکز نمک ایجاد می‌شود شامل سه لایه زیر است:
الف) لایه ذخیره گرمایی ب) لایه محافظتی ج) لایه سطحی

انرژی در قسمت لایه ذخیرهٔ گرمایی جذب و ذخیره می‌شود و توسط حرکات همرفتی در تمام آن پخش می‌شود در لایه حفاظتی که بالای لایه ذخیره‌ساز است هیچ‌گونه حرکات همرفتی وجود نداشته و نقش یک عایق شفاف را بازی می‌کند و در آن گرما تنها از طریق رسانش صورت می‌گیرد لایه سطحی نیز برای محافظت لایه حفاظتی روی آن قرار می‌گیرد.

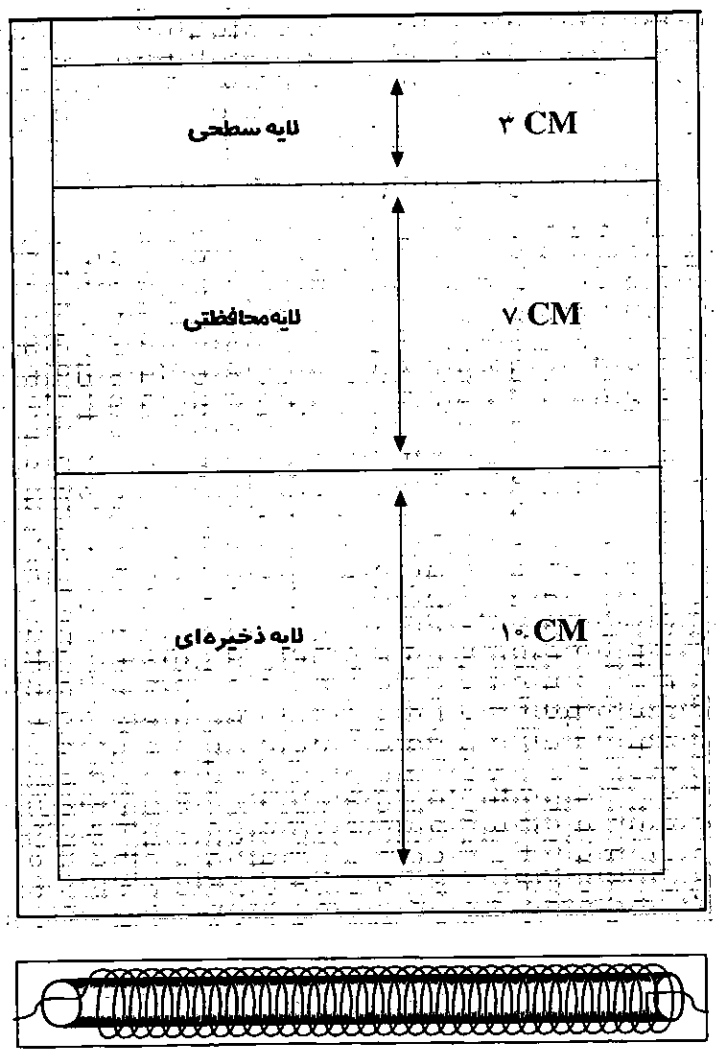
شرایط برپا کردن استخر خورشیدی در ایران نسبتاً مهیا است. از این طریق می‌توان انرژی خورشیدی زیادی را ذخیره و به مصرف مستقیم یا غیرمستقیم رساند.

به علت این که در مازندران هوا در بیشتر مواقع ابری است گاهی مواقع دو یا سه روز و یا حتی هفته‌ها ابری است بنابراین به ساخت یک استخر خورشیدی آزمایشگاهی قناعت کرده‌ایم.

مشاهدات یک استخر خورشیدی آزمایشگاهی

به منظور شناخت بهتر حرکات همرفتی ناحیه ذخیره‌ساز و بر هم کنش آن با لایه حفاظتی و فرسایش آن یک آزمایش مشابه استخر خورشیدی در یک ظرف به سطح مقطع ۹×۱۴ سانتی‌متر مربع و عمق ۲۰ سانتی‌متر انجام شد این ظرف از جنس شیشه است که برای مشاهدات مستقیم مناسب است.

در این آزمایش انرژی گرمایی توسط یک گرم‌کننده برقی به طور یکنواخت در کف ظرف اعمال می‌شود.



گرم کننده برقی

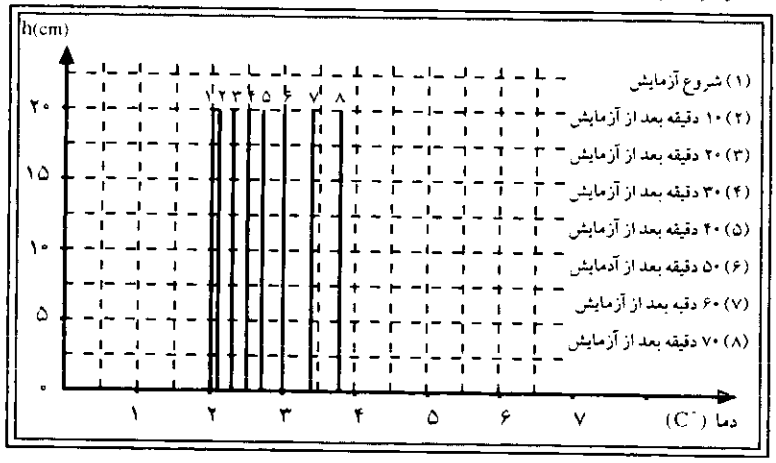
در این استخر عمق ناحیه ذخیره‌ساز ۱۰cm، عمق ناحیه محافظتی ۷cm و عمق لایه سطحی ۳cm در نظر گرفته شد مقدار شوری ناحیه ذخیره‌ساز $۲۰۰ \frac{gr}{kg}$ و از مقدار آن تا بالای لایه محافظتی که شوری صفر است به تدریج کاسته می‌شود.

در شروع آزمایش دما تقریباً در تمام لایه‌ها ثابت است زیرا هنوز شارش گرمایی، انتقال نیافته و حرکات همرفتی بسیار ناچیز است.

حداکثر دمای ناحیه ذخیرهٔ حرارتی در طول مدّت آزمایش که جمعاً ساعت به طول انجام انجامید حدود C° بود.

نمودار شماره یک مربوط به آب با شوری صفر است این نمودار نشان می‌دهد که در هر عمقی دما یکسان است گرمای گرفته شده از گرماده به علت وجود شوری یکنواخت انتقال گرما به طریق همرفتی به تمام نقاط انتقال یافته و دما در تمام عمق ظرف یکسان است.

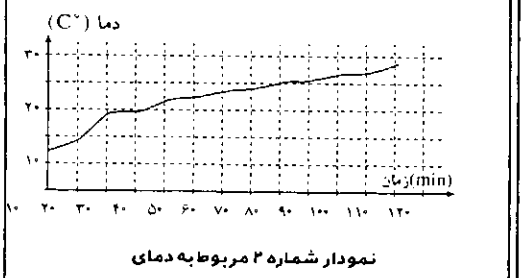
◆ نمودار شماره ۱



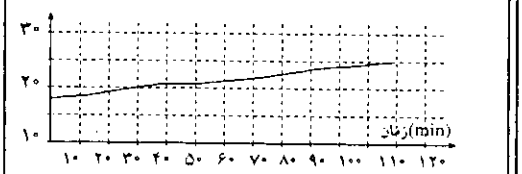
برای ساختن استخر خورشیدی آزمایشگاهی به طریق زیر عمل کرده‌ایم.

ابتدا تا ارتفاع ۱۰cm آب با شوری $۲۰۰ \frac{gr}{kg}$ ریخته روی آن آب با شوری کمتر و روی لایه بالایی هم آب با شوری کمی و ... به طوریکه تا شوری در سطح به صفر برسد.

تا اینجا ارتفاع آب به ۱۷ سانتی‌متر رسیده است، ۱۰ سانتی‌متر اول را لایه ذخیره‌ساز و ۷ سانتی‌متر بعد به عنوان لایه محافظتی و سپس ۳ سانتی‌متر آب با شوری صفر را روی لایه محافظتی ریخته‌ایم روی گرماده قرار داده و دمای سطح و عمق را یادداشت نموده‌ایم که نمودار شماره ۲ مربوطه به لایه سطحی و نمودار شماره ۳ مربوط به لایه ذخیره‌ساز است.



نمودار شماره ۲ مربوط به دمای سطحی بر حسب زمان در حین آزمایش



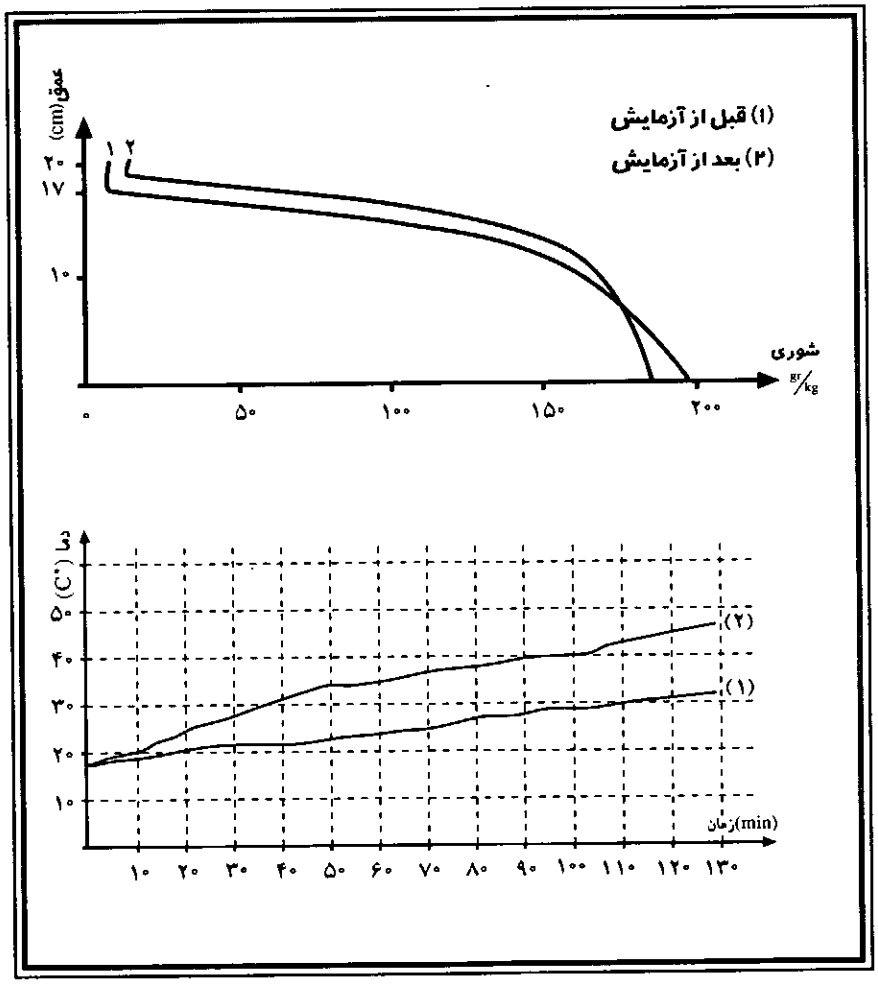
نمودار شماره ۳ مربوط به دمای لایه ذخیره‌ای بر حسب زمان در حین آزمایش است.

از روی این دو نمودار در می‌یابیم که لایه ذخیره‌ساز، انرژی را در خود ذخیره کرد و یک جریان همرفتی در لایه ذخیره‌ساز رخ می‌دهد و لایه محافظتی نمی‌گذارد که گرما از طریق همرفت به لایه سطحی شارش نماید ولی برای آب با شوری صفر مشاهده شده که گرما به طریق همرفت در تمام قسمتهای آب موجود در شیشه شارش کرده و دمای لایه شیشه همواره ساکن باقی می‌ماند.

بدین طریق توانسته‌ایم انرژی خورشیدی را به دام انداخته و به مصرف مستقیم برسانیم.

در ضمن لایه سطحی را بصورت رنگی در آورده و در طی آزمایش ضخامت لایه سطحی را اندازه گرفته‌ایم دیدیم که در اثر حرکت براونی و جریان همرفتی رفته رفته ضخامت لایه سطحی افزایش یافته به طوری که در مدّت آزمایش حدود شش الی ۶/۵ سانتی‌متر افزایش لایه

سطحی را داشته‌ایم نمودار شماره ۴ شوری را برحسب عمق یکبار قبل از شروع آزمایش و بار دیگر بعد از شروع آزمایش نشان می‌دهد (به علّت نداشتن دستگاه شوری‌سنج از رسانایی الکتریکی استفاده کرده و نمودار را رسم کرده‌ایم



◆ نمودار شماره ۴ شوری بر حسب عمق را نشان می‌دهد.

◆ نمودار شماره ۵

دمای سطح و عمق را در زمانهای مشخص هر ده دقیقه یک بار اندازه گرفته و نمودار تغییرات دما را رسم کرده‌ایم (نمودار شماره۵)

از روی نمودار در می‌یابیم که تغییرات دما در لایه سطحی، (۱۸ـ۳۲) برابر ۱۴ درجه است و تغییرات دما در عمق، (۱۸ـ۴۷) برابر ۲۹ درجه است و اختلاف دمای سطح با عمق بعد از ۲ ساعت و ۱۰ دقیقه، درجه ۱۵=۳۲-۴۷ رسیده است.

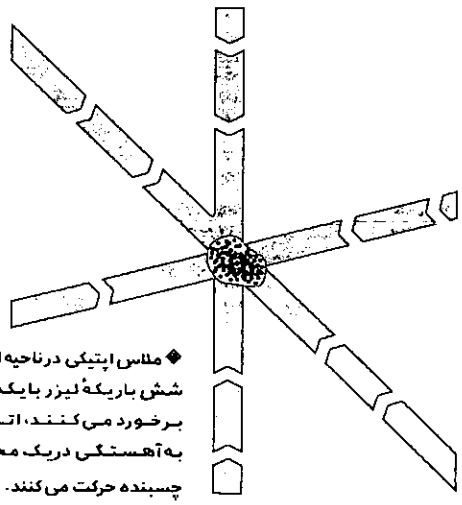
نتیجه گیری

بررسی حرکات همرفتی لایه ذخیره‌ساز توسط مشاهده مستقیم انجام شده و نحوهٔ برخورد آن با لایه محافظتی که فرسایش لایه را به دنبال دارد، نتیجه‌گیری شد که این بر هم کنش به صورت برخورد مولکولهای لایه ذخیره‌ساز با مرز مشترک در لایه باعث درون آمیختگی لایه محافظتی با لایه ذخیره‌ساز و به همین ترتیب آمیختگی لایه سطحی با لایه محافظتی می‌شود.

به علت اینکه مقدار شارش گرمایی کف زیاد بوده و تنها در کف به لایه ذخیره‌ساز داده می‌شد مقدار فرسایش لایه سطحی در لایه محافظتی بسیار زیاد است.

بنابراین مقدار آزمایشگاهی حداقل ۳ تا ۴ برابر شرایط مشابه استخر خورشیدی واقعی که توسط دکتر بیدختی و دیگران در ژئوفیزیک دانشگاه تهران ساخته شده است.

جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۹۷



◆ ملاس اپتیکی در ناحیه‌ای که شش باریکهٔ لیزر با یکدیگر برخورد می‌کنند، اتمها به آهستگی در یک محیط چسبنده حرکت می‌کنند.

سرد کردن با نور

آکادمی سلطنتی علوم سوئد جایزهٔ نوبل فیزیک سال ۱۹۹۷ را مشترکاً به استیون چو، کلود کوهن تانوجی، و ویلیام. د. فیلیپس برای توسعه روشهای خنک کردن و به‌دام انداختن اتمها با نور لیزر اهدا کرده است.

برندگان جایزهٔ نوبل فیزیک امسال روشهایی را برای سرد کردن و به‌دام انداختن اتمها با استفاده از نور لیزر را ابداع کرده‌اند. پژوهشهای آنها مطالعهٔ پدیده‌های بنیادی و اندازه‌گیری کمیتهای مهم فیزیکی را با دقت بی‌سابقه امکانپذیر می‌سازد.

کند کردن اتمها

نور به صورت مکانیکی بر اجسام مادی تأثیر می‌کند، یعنی می‌تواند مکان و سرعت آنها را تغییر دهد. این اثر مکانیکی نور در سرد کردن و به‌دام انداختن لیزری برای کاهش توزیع سرعت مجموعه‌ای از اتمها (سرد کردن) و یا محدود کردن اتمها در یک حجم کوچک (به‌دام انداختن) به‌کار می‌رود.

یک موفقیت در این زمینه در اوایل دهه ۱۹۸۰ هنگامی به‌دست آمد که ویلیام فیلیپس روشهای نوینی را برای کند کردن یک باریکهٔ اتمی سریع ابداع کرد. در سال ۱۹۸۵ اولین گزارش آزمایشهایی منتشر شد که در آنها سرعت متوسط اتمها از ۱۰۰۰ m/s به صفر کاهش یافته بود.

ملاس اپتیکی

موفقیت بعدی در همان سال هنگامی به‌دست آمد که استیون‌چو اتمها را، با استفاده از سرد کردن با سه جفت باریکهٔ لیزری که در جهتهای مخالف منتشر می‌شدند، سرد کرد. در این پیکربندی یک اتم، بدون توجه به اینکه در چه جهتی حرکت می‌کند، با یک نیروی اصطکاک مواجه می‌شود. این اثر نور لیزر بر اتمها مانند یک محیط چسبنده است که سبب ایجاد ملاس اپتیکی می‌شود.

تلهٔ مغناطو اپتیکی (MOT)

برای به‌دام انداختن، نور باید یک نیروی وابسته به مکان بر اتمها وارد کند (برخلاف خنک کردن که به یک نیروی وابسته به سرعت نیازمند است). تله‌های اتمی مختلفی طراحی شده است. متداولترین آنها تله مغناطو اپتیکی (MOT) است. در این تله، سه جفت باریکهٔ لیزری که در خلاف جهت یکدیگر منتشر می‌شوند و یک میدان مغناطیسی ناهمگن کار به‌دام‌اندازی را انجام می‌دهند.

حد دوپلر

حدی برای سرد شدن اتمها با استفاده از سرد کردن دوپلری وجود دارد. در سال ۱۹۸۸ فیلیپس یک روش زمان‌پرواز برای اندازه‌گیری دما ابداع کرد، و نشان داد که دما به‌طور قابل ملاحظه‌ای به کمتر از حد دوپلر می‌رسد. ظاهراً ساز و کارهای خنک سازی دیگری در ملاس اپتیکی وجود داشت.

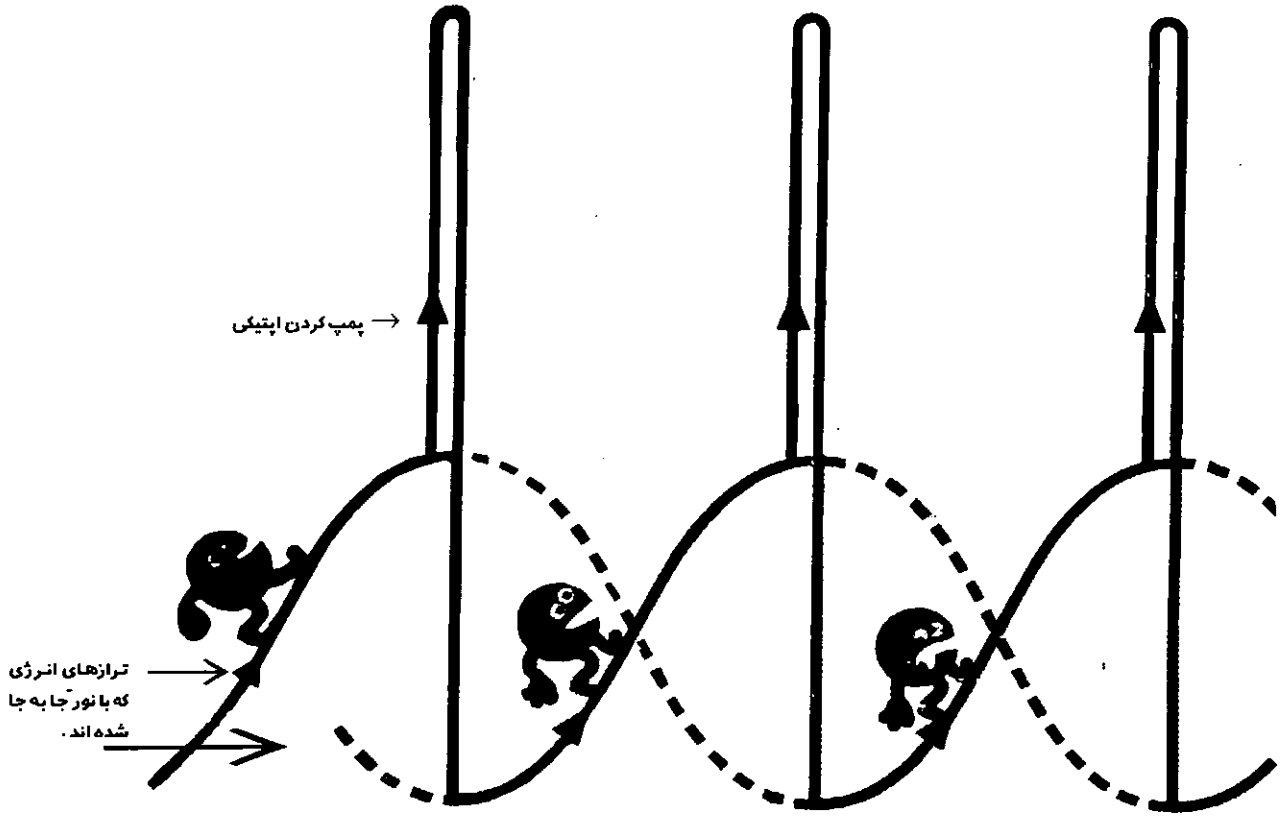
ساز و کارهای خنک سازی نوین

توضیح دماهای پایین را **کلودکوهن تانوجی** و استیون‌چو یافتند. این توضیح برمبنای این واقعیت بود که قطبش میدان لیزر برحسب مکان ملاس اپتیکی تغییر می‌کند.

یک مثال این ساز و کارهای خنک سازی نوین خنک سازی منریف است که در آن مفاهیم جابه‌جایی نوری و پمپ کردن اپتیکی نقش مهمی ایفا می‌کنند.

◆ برطبق اساطیر یونانی سزیف باید در جهان زیرین سنگی را به طور مداوم به بالای کوهی می غلتاند. به مجردی که منریف به بالای کوه می رسید سنگ مجدداً به پایین می غلتید.

خنک سازی سزیف اتمها در یک سطح پتانسیل که به صورت سینوسی مدوله شده است حرکت می کنند که از تغییر ترازهای انرژی آنها هنگام برهم کنش با نور (انتقال نور) حاصل شده است. سرعت اتمها هنگام حرکت در «سربالایی» کم می شود. وقتی به «قله» می رسند به صورت اپتیکی به قعر «دره» پمپ می شوند. بدین طریق اتمها همواره در سربالایی در حرکت اند، و در نتیجه سرعتشان به تدریج کاهش می یابد. این تصویر فیزیکی را کوهن- تانوجی ابداع کرده است.



روش زمان پرواز شش باریکه لیزری قطع می‌شوند. همزمان باآن باسقوط اتمها ابراتمی به صورتی که به دمای آن بستگی دارد منبسط می‌شود. اتمها از یک ورقهٔ نورلیزری می‌گذرند و فلوئورسانی حاصل ثبت می‌شود. ازآنجاکه ابراتمی منبسط شده است سیگنال دارای یک پهن شدگی زمانی است. بااندازه‌گیری این پهن شدگی می‌توان دمای ابر را معین کرد.

زیرحد پس زنی

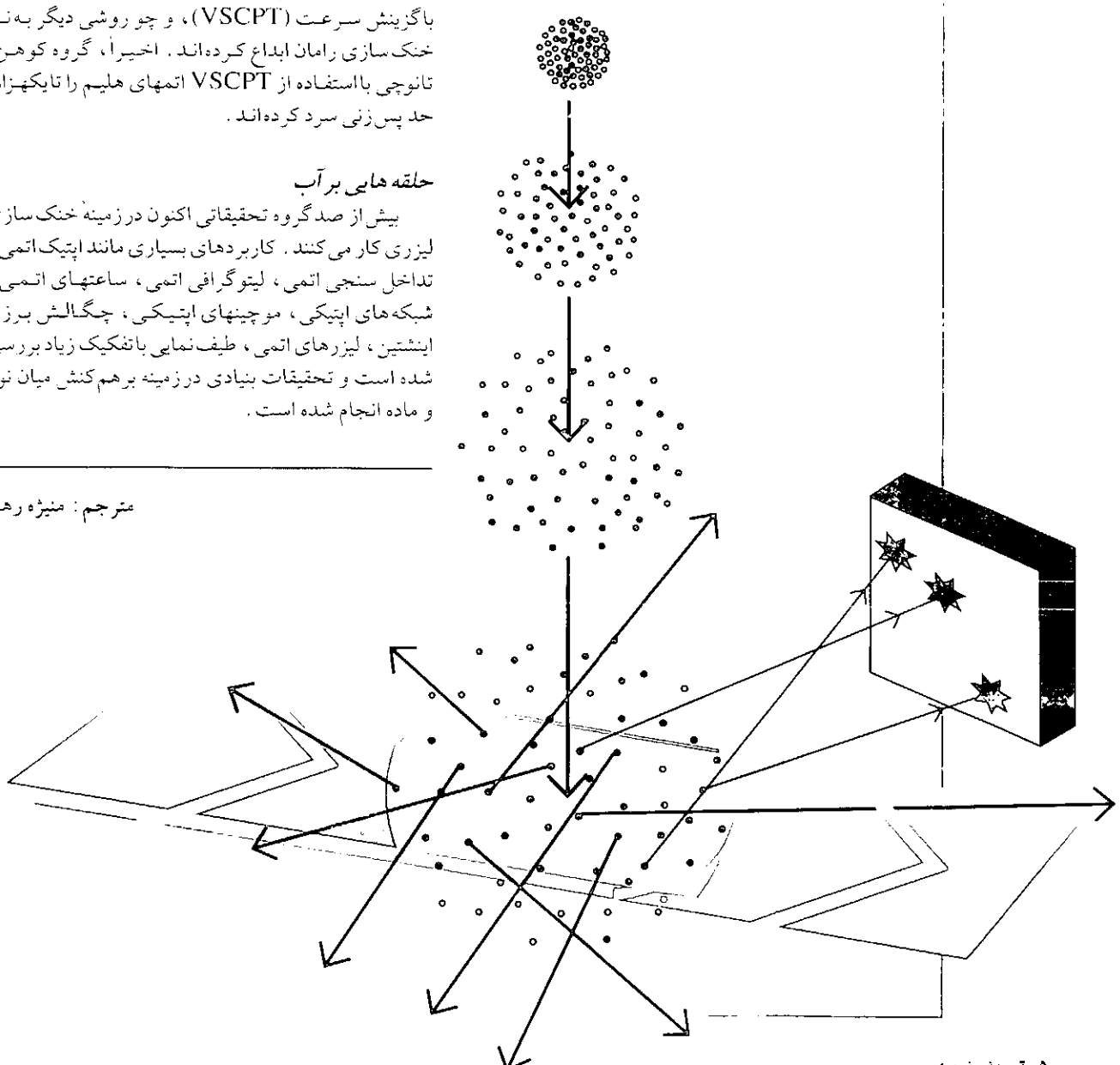
روشهای خنک‌سازی که تاکنون توصیف شدند را پس‌زنی فوتونهای پراکنده محدود می‌کند. این به معنای آن است که مادامی که اتمها نور را پراکنده می‌کنند حصول به دماهای متناظر باسرعتهایی کمتر از آنچه بایک برخورد حاصل می‌شود غیرممکن است.

برای خنک کردن بیش از حد پس‌زنی، نورلیزری باید درهنگام خنک شدن اتمها برای آنها «نامرئی» شود. کوهن‌ـ تانوچی روشی به‌نام به‌دام انداختن جمعیت همدوس باگزینش سرعت (VSCPT)، و چو روشی دیگر به‌نام خنک‌سازی رامان ابداع کرده‌اند. اخیراً، گروه کوهن‌ـ تانوچی بااستفاده از VSCPT اتمهای هلیم را تایکهزارم حد پس‌زنی سرد کرده‌اند.

حلقه هایی بر آب

بیش از صد گروه تحقیقاتی اکنون در زمینهٔ خنک‌سازی لیزری کار می‌کنند. کاربردهای بسیاری مانند اپتیک اتمی، تداخل سنجی اتمی، لیتوگرافی اتمی، ساعتهای اتمی، شبکه‌های اپتیکی، موجینهای اپتیکی، چگالش برز ـ اینشتین، لیزرهای اتمی، طیف‌نمایی باتفکیک زیاد بررسی شده است و تحقیقات بنیادی در زمینه برهم‌کنش میان نور و ماده انجام شده است.

مترجم: منیژه رهبر



نابود کردن «پارادوکس سن عالم»

مدبوسری موکرجی

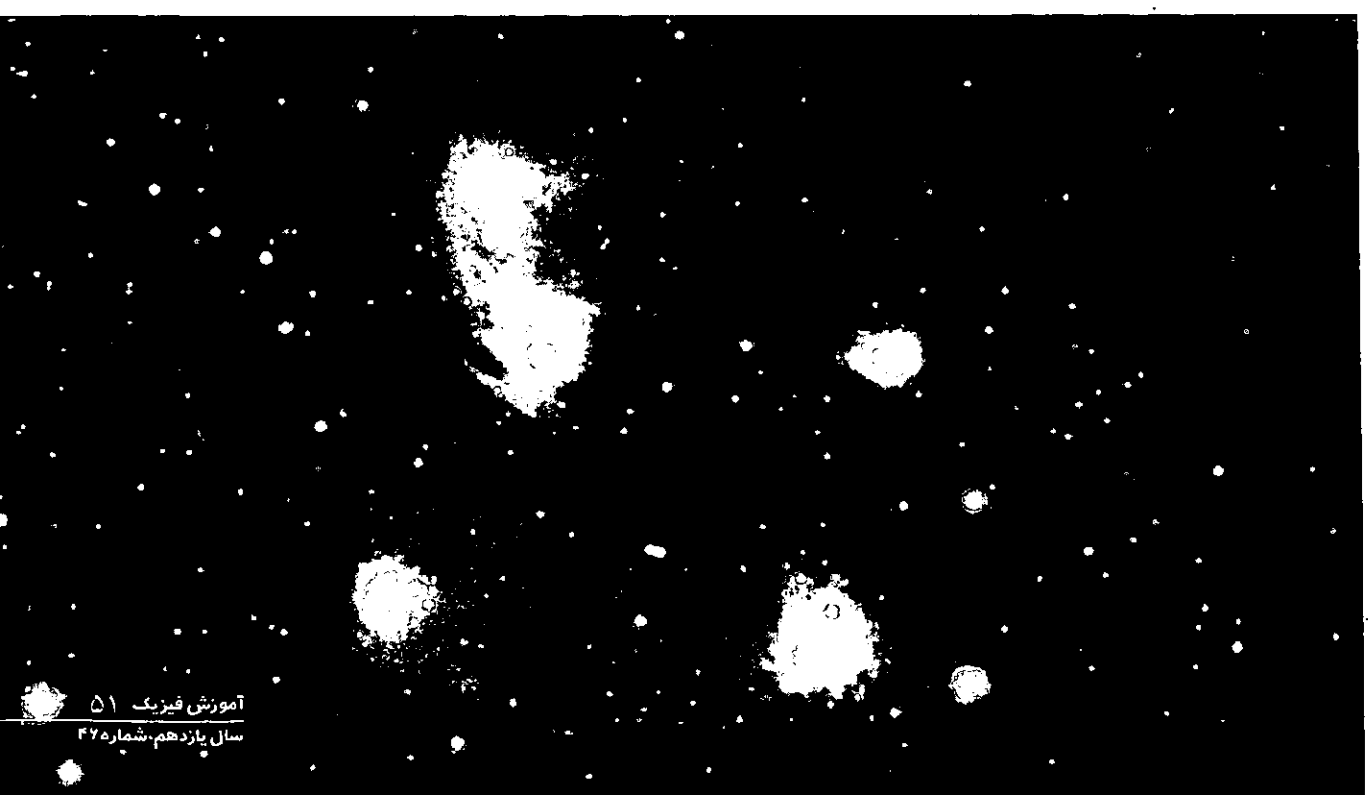
آیا عالم برای ستارگانش به اندازهٔ کافی مسن است؟

سال گذشته اختر فیزیکدانان این زمزمه را آغاز کردند که عالم از برخی فرزندانش جوانتر است. زیرا باتولد در ۹ تا ۱۲ بیلیون سال پیش، حاوی خوشه‌های پیری از ستارگان به‌نام خوشه‌های گوی‌سان است که به‌نظر می‌رسد سن آنها ۱۶ تا ۱۸ میلیون سال باشد. امسال سر و صدای زیادی در مطبوعات بلند شد که ادعا می‌کرد «پارادوکس سن» حل شده است. پژوهشگرانی که داده‌های ماهوارهٔ هیپارخوس آژانس فضایی اروپایی را تحلیل می کردند مدعی آن شدند که باتوجه به‌این داده‌ها خوشه‌های گوی‌سان ممکن است فقط ۹ تا ۱۰ بیلیون‌ساله باشند.

از طرف دیگر، بعضی ناظران دراعلام اینکه پارادوکس سن حل شده است چندان عجله‌ای ندارند. بلکه پیشنهاد می کنند که آنچه نتیجه حاصل از داده‌های هیپاخوس نشان می‌دهد این است که دانشمندان به هیچ‌وجه درک درستی از ستارگان ندارند. وظیفه این ماهواره که سال ۱۹۸۹ پرتاب شده است اندازه‌گیری درخشندگی و مکان میلیونها ستاره بااستفاده از روش قدیمی اختلاف منظر است. این ماهواره از دو منطقهٔ مخالف مدار زمین به‌دور خورشید به‌کره سماوی نگاه می‌کند، درواقع دیدگانی را در اختیار بشر می گذارد که ۱۸۶ میلیون مایل با یکدیگر فاصله دارند. دیدگاه سه‌بعدی حاصل از آسمان، فاصله تاهر ستاره را بادقت بی‌سابقه‌ای نمایان می‌سازد.

اما جهش ازداده‌های هیپارخوس به سن یک خوشهٔ گوی‌سان ساده‌لوحانه است. این خوشه‌ها درهاله کهکشان راه‌شیری، ناحیه‌های ابری‌شکل درخارج از قرص کهکشان، جولان می‌دهند. و برای اندازه‌گیریهای اختلاف منظر بیش‌از اندازه دورند. بنابراین، اخترفیزیکدانان از اندازه‌گیریهای دقیق درخشندگی و فاصله هیپارخوس از ستارگان دیگر مانند زیر کوتوله‌ها ـ اجسام کم‌نوری که فاقد فلزات یا سایر عناصر سنگین هستند ـ استفاده کرده و آنها را باستارگان باترکیب مشابه درخوشه‌های گوی‌سان مقایسه کردند. اگر زیرکوتوله‌ها اولاد جوانتر مشابه خود در خوشه‌ها باشند، درخشندگی ذاتی آنها را می‌توان بااستفاده از مدلهای تکامل ستاره‌ای محاسبه کرد.

◆ باتوجه به‌یافته‌های هیپارخوس ۳۰ درصد کم‌نورتر از آن هستند که انتظار می‌رفت. اندازه‌گیریها مدلهای فعلی ستارگان را مورد تردید قرار می‌دهد.



با استفاده از این روشها، نظریه‌پردازان بسیاری نتیجه گرفتند که این خوشه‌ها از آنچه سابقاً تصور می‌شد درخشانترند. ستارگان درخشانتر سوخت خود را سریعتر مصرف می‌کنند و به سرعت پیر می‌شوند، به طوری که خوشه‌های گوی‌سان ممکن است کاملاً جوان باشند ـ اکنون اعداد در گسترهٔ ۹ تا ۱۵ بیلیون سال است.

کاترین تورون از رصدخانهٔ پاریس ـ مودون، که همراه با همکارانش سن خوشهٔ M92 را ۱۲٫۸ تا ۱۵٫۲ بیلیون سال محاسبه کرده است. عدم قطعیتهای نظری را می‌پذیرد. به گفتهٔ وی در تطبیق مدلها به چنین اجسام دوردست و با محتوای فلزی اندک مشکلات فراوانی وجود دارد. تنها نقطهٔ مرجع نظریه‌پردازان خورشید، یک ستارهٔ میانسال غنی از عناصر سنگین، است که با زیرکوتوله‌ها که در چند مقایسه به کار رفته‌اند تفاوت بسیار دارد. فرایندهایی که تاکنون به حساب آورده شده‌اند ـ مانند دوران سریع یا فلزاتی که با غرق شدن در مرکز زیرکوتوله از دیده پنهان شده‌اند ـ می‌توانند نتیجه گیری را کج و معوج کنند

یکی دیگر از کسانی که با احتیاط عمل می‌کنند مایکل پریمن از آژانس فضایی اروپایی و دانشمند پروژه هیپاخوس است که اظهار می‌دارد «من در پذیرش هر یک از این نتایج به عنوان نتیجه نهایی تردید دارم.» به گفتهٔ وی «برای قرار گرفتن چیزها در جای خود کارهای زیادی لازم است». به نظر او «هیچ کدام از مدلها تمامی ویژگیهای مشاهده شدهٔ ستارگان را به درستی توصیف نمی‌کند و در نتیجه موجب اطمینان زیاد نمی‌شود.» بدتر از آن، داده‌های هیپارخوس نشان داده است که بعضی مدلهای ستاره‌ای ـ از جمله آنهایی که شامل خورشید می‌شوند ـ به صورت بارزی غلط‌اند.

به عنوان مثال، فاصله ستارگان تا خورشید مانند ستارگان خوشهٔ پروین از ۴۲۴ به ۳۷۸ سال نوری تغییر داده شده است، که نشان می‌دهد که آنها به صورت تعجب‌آوری ۳۰ درصد کم‌نور تر از خورشید هستند. به گفته فلدرون لیودن از رصدخانه سلطنتی گرینوویچ در کمبریج «ما هنوز نمی‌دانیم که این کم‌نوری ناشی از چیست»، و «در نتیجه هنوز به عنوان پارامتر وارد مدلهای که برای تعیین سن خوشه‌ها به کار می‌روند نشده است.»

برونیابی این مدلها به خوشه‌های گوی‌سان براین مبنای لرزان، به طوری که سنها با مقایسه انواع ستارگان نتیجه گیری شود ـ قیفاووسیان، RR لیرا، و غولهای سرخ، علاوه بر زیرکوتوله‌ها ـ با یکدیگر ناسازگارند. «افراد تمایل دارند که نتیجه دیگران را که با نتیجه آنها سازگار نیست به آسانی رد کنند.» اما به گفتهٔ ون‌لیودن «احساس من این است که این موضوع عدم قطعیتها را افزایش می‌دهد.» این خطا به گمان وی در حدود ۴۰ درصد است.

این سطح خطاهای سیستماتیک ایجاب می‌کند که هنوز پارادوکس سن نیمه‌جانی داشته باشد. برای کشتن همیشگی آن ـ که روزی صورت خواهد گرفت ـ اختر فیزیکدانان باید ابتدا فرایندهای بسیار پیچیده‌ای را که در درون بعضی از ستارگان روی می‌دهد دریابند. به گفتهٔ پریمن، «مراقب این فضا باشید».

Scientific American
December 1997, P 19
مترجم: منیژه رهبر

محیطهای میان ستاره‌ای

محسن شادمهری
دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد

برخلاف تصور فضای بین ستاره‌ها خالی نیست؛ درواقع مطالعه محیطهای میان ستاره‌ای یکی از مباحث جالب اخترفیزیک است.

کاملاً آرام به‌نظر می‌رسد؛ بدون کوچکترین تغییر یا تحولی بنیادی. قرنهاست «آن» را نظاره می‌کنیم و متحیرانه از خود می‌پرسیم: به‌راستی در «آن‌جا» چه می‌گذرد؟ عجیب این‌که هنوز هم این سؤال به‌ظاهر ساده، براحتی نمی‌توان پاسخ داد. اما می‌دانیم «آن‌جا» اصلاً آرام نیست؛ غوغایی برپاست! مملو از شگفتی است همراه بااسراری سر به‌مهر. اسراری که بشر را به‌مبارزه می‌طلبد؛ مبارزه‌ای سخت و دشوار، ولی واقعی! «آن‌جا کجاست؟» حتماً می‌دانید: آسمان؛ همان عالم لاینتاهی، دنیای ستاره‌ها و کهکشانها!

شاید تعجب کنید؛ اما به‌غیر از ستاره‌ها و اجرام دیگر سماوی، محیط بین آنها نیز جالب و شگفت‌انگیز است. بسیاری فکر می‌کنند که در محیط میان ستاره‌ای «هیچی» وجود ندارد. البته در مقیاس زمینی وضع این‌گونه است: در هر سانتی‌متر مکعب هوا در سطح دریا، 10^{19} مولکول وجود دارد؛ حال آن‌که در محیط میان ستاره‌ای، چگالی ذرات به‌ندرت به 10^{3} یا 10^{4} اتم (یا مولکول) در هر سانتی‌متر مکعب می‌رسد. اما همین محیط میان ستاره‌ای ـ با این چگالی کم ـ چون ابعاد بزرگی دارد (گاه به‌چند ده سال‌نوری می‌رسد). جرمش زیاد است. مثلاً جرم برخی ازابرهای مولکولی به ۵۰۰۰۰۰ برابر جرم خورشید می‌رسد. اما براستی چرا محیط میان ستاره‌ای این قدر مورد توجه اخترشناسان است؟

در تولد و مرگ ستاره‌ها هم درست مثل تولد و مرگ ما انسانها، معماها و ناشناخته‌های بسیاری وجود دارد. به‌ویژه دربارهٔ نحوهٔ تولد ستاره‌ها، اطلاعات اندکی در دست است. سؤال این‌جاست: ستاره‌ها، ستاره‌های دوتایی، خوشه‌های ستاره‌ای و از همه مهمتر منظومه‌های سیاره‌ای، چگونه شکل می‌گیرند؟ این را می‌دانیم که این اجرام در محیط میان ستاره‌ای شکل می‌گیرند؛ ولی چگونه؟ درواقع باشناخت محیط میان ستاره‌ای است که می‌توانیم به‌چنین سؤالی پاسخ دهیم. و اگر بیاد داشته‌باشیم که منظومهٔ شمسی هم دریک محیط میان ستاره‌ای تکوین یافته است، اهمیت این پرسشها بیشتر روشن می‌شود.

محیط میان ستاره‌ای

جرم محیط میان ستاره‌ای کهکشان ما، حدود یک دهم جرم کل ستاره‌های آن است. در محیط میان ستاره‌ای است که ستاره‌ها متولد می‌شوند و تحول می‌یابند. البته محیطهای میان ستاره‌ای بر انواع مختلفی هستند. مثلاً سحابی‌های گازی، به‌علت تابش ستاره‌های داغ، عمدتاً از هیدروژن یک بار یونیده تشکیل شده‌اند. به‌چنین محیطهایی ناحیه‌های HII نیز گفته می‌شود. گاهی در این محیطها گردوغبار هم دیده می‌شود (سحابی‌های بازتابی).

مشاهدات نشان می‌دهند که محیطهای میان ستاره‌ای معمولاً به‌صورت ابرهای گازی هستند. این ابرها باسرعت متوسط ۱۰ کیلومتر برثانیه درحرکت‌اند. از این‌رو، گاهی باهم برخورد می‌کنند و درنتیجه، به‌هم می‌پیوندند یاتکه‌تکه می‌شوند. مطالعهٔ امواج رادیویی که گازهای محیط میان ستاره‌ای گسیل می‌کنند، یکی ازمنابع غنی اطلاعاتی برای اخترشناسان است. وقتی هیدروژن درمحیطی باچگالی و دمای کم باشد، درطول موج ۲۱/۱۱ سانتی‌متر تابش می‌کند. هیدروژن فراوان‌ترین عنصر درفضای میان ستاره‌ای است. درواقع باآشکارسازی تابش ۲۱/۱۱ سانتی‌متری، می‌توان ناحیه‌ای هیدروژنی را شناسایی کرد. براین اساس اخترشناسان دریافته اند که پراکندگی هیدروژن در قرص کهکشان ما (راه‌کاهکشان) یکنواخت نیست؛ درواقع هیدروژن بیشتر درناحیه مرکزی و چهاربازوی مارپیچی کهکشان، وجود دارد. جرم ابرهای هیدروژن خنثی (ناحیه‌های HI) بین ۰/۱ تا ۱۰۰۰ برابر جرم خورشید است. به‌کمک مشاهدات رادیویی، دمای آنها حدود ۸۰ درجهٔ کلوین تخمین زده می‌شود.

جالب این‌جاست که درمحیط میان ستاره‌ای مولکولها نیز حضور دارند: ابرهای مولکولی. مطالعهٔ این ناحیه‌ها درطول موجهای میلی‌متری صورت می‌گیرد. تاکنون

بیش از ۶۰ نوع مولکول و بنیان شناسایی شده که البته مولکول هیدروژن از همه فراوان‌تر است. چگالی ابرهای مولکولی با دمای کمتر از ۱۰ درجه کلوین، به بیش از ۱۰۰۰۰ ذره بر سانتی متر مکعب می‌رسد. تخمین زده می‌شود که نیمی از جرم محیط میان ستاره‌ای به صورت ابرهای مولکولی باشد. ستاره‌ها عمدتا در ابرهای مولکولی شکل می‌گیرند.

به غیر از ابرهای مولکولی، در محیط میان ستاره‌ای ساختارهای کوچکتری هم وجود دارد: گویچه‌های بک. آنها معمولا در محدوده نور مرئی تابش می‌کنند و اندازه‌شان، با جرمی معادل ۲۰۰ جرم خورشیدی، کمتر از چند سال نوری است. به نظر می‌رسد در برخی از گویچه‌های بک، ستاره‌ها در حال شکل گیری‌اند.

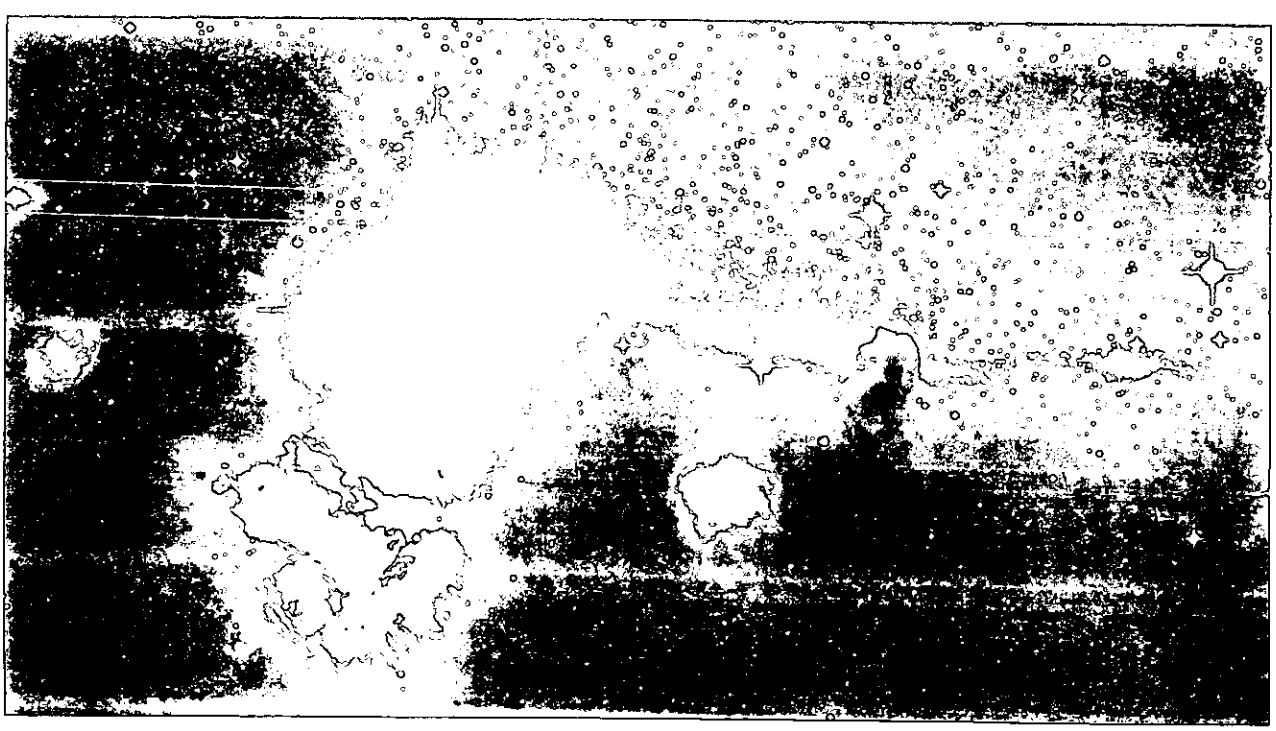
اما به غیر از ناحیه‌های HII، ابرهای مولکولی و گویچه‌ای بک، محیطهایی بسیار رقیق و داغ وجود دارد که دمای آنها بین ۵۰۰۰۰۰ تا یک میلیون کلوین است. اخترشناسان معتقدند این محیطها با چگالی ۳۰۰۰ ذره بر متر مکعب، به دنبال انفجاره‌های ستاره‌ای شکل گرفتند. به این محیطها، حبابهای میان ستاره‌ای نیز می‌گویند. اخترشناسان برای مطالعه محیطهای میان ستاره‌ای با دشواریهای بسیار روبه‌رو هستند؛ زیرا عوامل مختلفی ویژگیها و ساختار این محیطها را تعیین می‌کند. از جمله این عوامل می‌توان به میدان مغناطیسی و تلاطم اشاره کرد. همچنین ستاره‌های پیر به دنبال بادهای ستاره‌ای و یا انفجار، مقادیر زیادی عناصر سنگین وارد محیط میان ستاره‌ای می‌کنند. نسل بعدی ستاره‌ها، در واقع، از همین مواد شکل می‌گیرند. پس برای مطالعه محیط میان ستاره‌ای ناگزیر از درنظر گرفتن عوامل مختلف موثر هستیم.

سحابی های گازی

سحابی های گازی از بارزترین جنبه‌های حضور ماه در فضای میان ستاره‌ای به شمار می‌روند. در کهکشان خودمان ـ و چند کهکشان همسایه ـ چند صد سحابی شناخته شده است. در راه کاهکشان بیشتر این سحابی‌ها در قرص کهکشانی قرار دارند. اخترشناسان چهار نوع سحابی را می‌شناسند: ناحیه‌های هیدروژن یونیده (ناحیه‌های HII)؛ سحابی های بازتابی؛ سحابی‌های سیاره‌نما و بقایای ابرنو اختران.

ستاره‌های نوع O بسیار داغ و پر جرم‌اند؛ تابشهای فرابنفش این ستاره‌ها، عامل ایجاد ناحیه‌های HII هستند. معمولا ستاره‌ها گروهی متولد می‌شوند. درنتیجه چون

◇ سحابی سراسبی: در این سحابی مشهور بوضوح، تاثیر گرد و غبار بر نور ستاره‌ها دیده می‌شود. ناحیهٔ شبیه سراب، درواقع، ابری تاریک است که عمدتا از گرد و غبار تشکیل شده است.



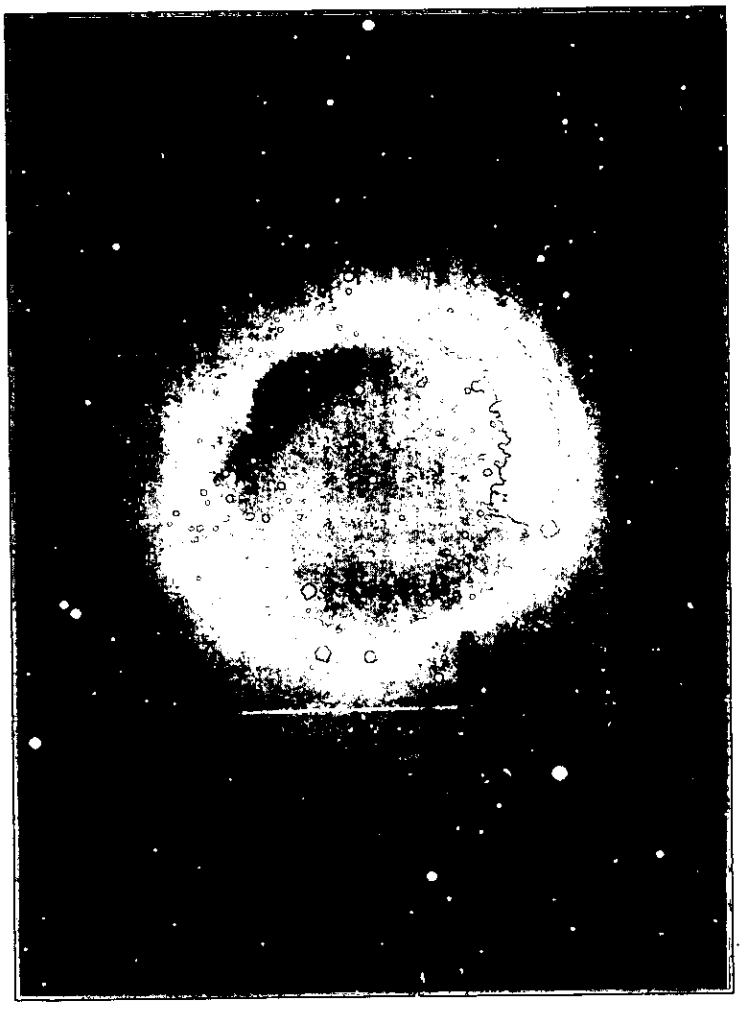
ستاره‌های نوع O تازه متولد شده‌اند، هنوز فرصت نیافتند از یکدیگر دور شوند. شارانرژی تابشی، یک گروه از ستاره‌های O می‌تواند محیط اطراف ستاره‌ها را یونیده کند و دمای آن را به ۱۰۰۰۰ کلوین برساند.

تابش ناحیه‌های HII عمدتاً ناشی از خطوط باز ترکیب هیدروژن و هلیم، و احیاناً خطوط «ممنوع» اکسیژنِ یک یا دو بار یونیده است. وقتی یونی، الکترون جذب می‌کند، تابش می‌کند که به آن تابش بازترکیب می‌گویند. البته از سوی ناحیه‌های HII تابشهای دیگری هم گسیل می‌شود؛ مثل تابشهای رادیویی که به‌دنبال کندشدن حرکت ذرات باردار داخل محیط (پلاسما) ایجاد می‌شوند. همچنین از ناحیه‌های HII، گاهی تابشهای فروسرخ دریافت می‌شود که به‌علت حضور گردوغبار در محیط است.

اما سحابی‌های بازتابی، خاستگاه کاملاً متفاوتی دارند. درچنین محیطهایی گردوغبار میان ستاره‌ای وجود دارد که نور ستاره‌ها را پراکنده می‌کنند. وجه مشخصه سحابی‌های بازتابی، رنگ‌آبی آنهاست. ابعاد ذرات گردوغبار درحدود یک دهم میکرومتر است. نوری که سحابی‌های بازتابی بازمی‌تابانند، اندکی قطبیده است. اخترشناسان بامطالعهٔ قطبش نور سحابی‌های بازتابی، میدان مغناطیسی موجود در این محیطها را بررسی می‌کنند.

ذرات گردوغبار عمدتاً از سیلیکات و گرافیت تشکیل شده‌اند. البته هنوز به‌درستی نحوهٔ شکل‌گیری گردوغبار درمحیط میان ستاره‌ای روشن نیست. ولی این را می‌دانیم که گردوغبار باجرم کمی که درمقایسه بامحیط میان ستاره‌ای دارند، نقشی اساسی درساختار گرمایی محیط ایفا می‌کنند. امروزه مطالعهٔ نحوهٔ پیدایش ذرات و گردوغبار و تأثیر آنها درمحیط میان‌ستاره‌ای، یکی از مباحث جالب اخترشناسی است.

نوع دیگر محیطهای میان ستاره‌ای، سحابی‌های سیاره‌نما هست. برخی از ستاره‌های باجرم متوسط، مثل خورشید، درپایان عمرشان لایه‌های خارجی‌شان را از دست می‌دهند. لایه‌های خارجی ستاره به‌صورت حلقه زیبایی دراطراف قسمت مرکزی ستاره قرار می‌گیرند. درواقع سحابی‌های سیاره‌نما نشان‌دهندهٔ مرحلهٔ پایانی زندگی یک ستاره هستند و اصلاً ربطی به‌سیارات ندارند. علت این نامگذاری این است که از درون تلسکوپ شبیه سیارات به‌نظر می‌رسند.



◆ سحابی سیاره‌نما دمبل
همان‌طور که دیده می‌شود سحابی سیاره‌نما، کاملاً متقارن به‌نظر می‌رسد. امّا همهٔ سحابی‌های سیاره‌نما این‌گونه نیستند. قطر این سحابی با فاصله ۶۶۰ سال نوری، حدود یک سال نوری تخمین زده می‌شود.

بدیهی است که مواد سحابی‌های سیاره‌نما، درنهایت، راهی فضای بین ستاره‌ها می‌شوند. پراکندگی سحابی‌های سیاره‌نما در راه کاهکشان مثل ناحیه‌های HII نیست. آنها عمدتاً درقرص کهکشانی قرار دارند و تعدادشان به‌سمت مرکز کهکشان افزایش می‌یابد. توزیع فضایی سحابی‌های سیاره‌نما در راه کاهکشان مثل ناحیه‌های HII نیست. آنها در قرص کهکشانی قرار دارند و تعدادشان به سمت مرکز کهکشان افزایش می‌یابد. توزیع فضایی سحابی‌های سیاره‌نما مشابه ستاره‌های پیر است.

بقایای ابرنواختران نیز یکی دیگر از ساختارهای تأثیرگذار درمحیط میان ستاره‌ای است. پس‌از انفجار ستاره‌ای، مقادیر عظیمی انرژی آزاد می‌شود که به‌صورت موجی ضربه‌ای درمحیط میان ستاره‌ای گسترش می‌یابد. این امواج ضربه‌ای دمای محیط را تاچند میلیون کلوین افزایش می‌دهند؛ چنین محیطهای داغی در بیشتر طیف الکترومغناطیسی تابش می‌کنند. اما به‌تدریج ابرنواختران سرد می‌شوند و به‌محیط اطرافشان می‌پیوندند. برخی از بقایای پیر، که اندازهٔ بزرگی دارند، دارای ساختارهای رشته‌ای هستند.

◇ بقایای ابرنواختر ولا: انفجار ستاره‌ای که این سحابی زیبا را به وجود آورده احتمالاً ۱۰۰۰۰۰ پیش رخ داده است. در مرکز این سحابی تپ‌اختری با دورهٔ دورانی ۹۰ میلی‌ثانیه وجود دارد. از این سحابی علاوه بر امواج رادیویی و پرتو ایکس، تابشهای گاما نیز گسیل می‌شود.

بر طبق نظریه مهبانگ، تنها عناصری که در ابتدای خلقت عالم به‌وجود آمدند، هیدروژن و هلیم بودند. عناصر سنگین‌تر به‌دنبال فرایند همجوشی هسته‌ای در داخل ستاره‌ها شکل گرفتند. این عناصر سنگین، مثل اکسیژن یا آهن، در مرحلهٔ تحولی سحابی سیاره‌نما و یا انفجار ستاره‌ای، وارد محیط میان ستاره‌ای می‌شوند. نسل بعدی ستاره‌ها یا سیارات مقادیری از این عناصر سنگین را به‌همراه خواهند داشت. از این رو اغراق نیست اگر بگوییم آهن موجود در بدن ما، زمانی در اعماق یک ستاره بوده است!

ابرهای مولکولی

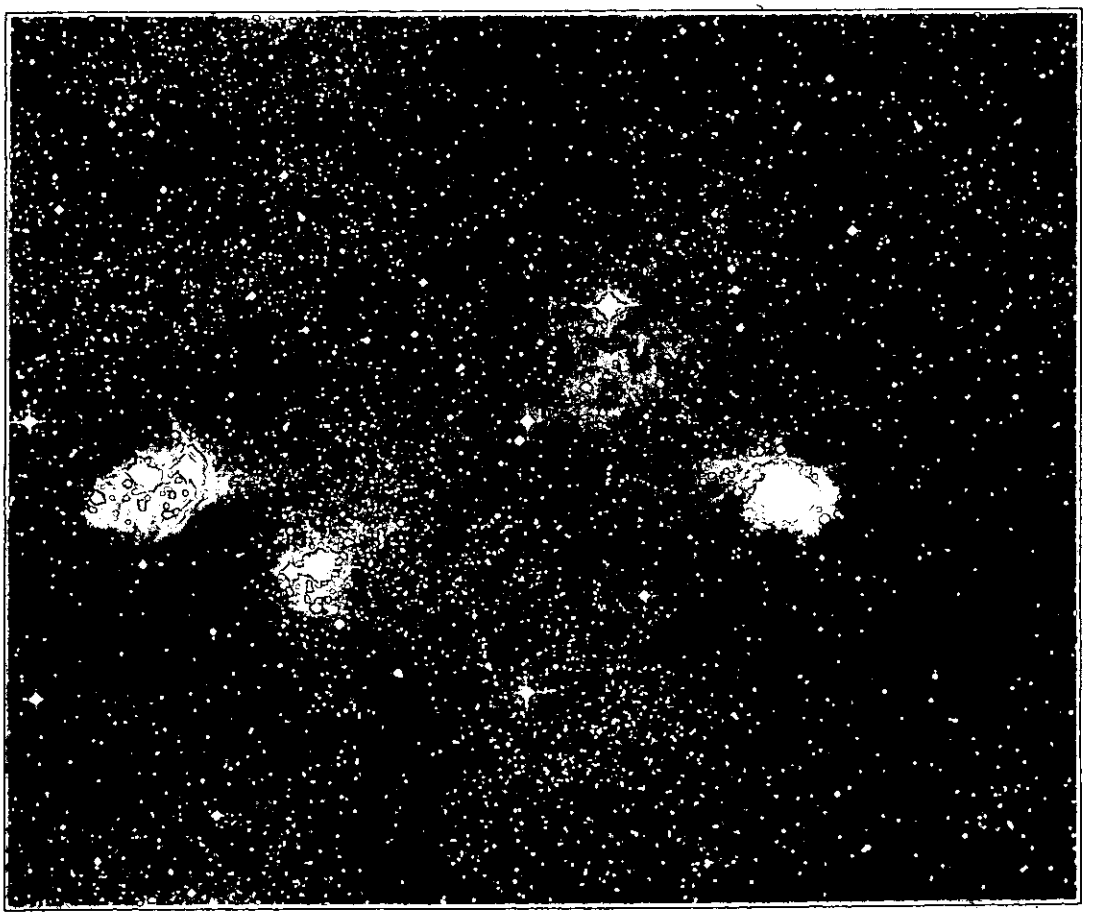
برای نخستین بار در سال ۱۹۳۷، مولکولها در محیط میان ستاره‌ای کشف شدند. در آن سال، آدامز موفق شد خطوط جذبی بنیانهای CN، CH^+، CH را در طیف چند ستاره درخشان آشکار کند. چون این خطوط جنوبی باریک هستند، به‌نظر می‌رسد بنیانها در محیطی با دمای کم قرار دارد. امروزه با استفاده از تجوم رادیویی، انواع مولکولها را شناسایی می‌کنند. در سال ۱۹۶۳ میلادی، بنیان OH در راستای مرکز کهکشانی کشف شد. اما در سال ۱۹۶۸ با به‌کارگیری تکنیکهای مشاهده در طول موجهای سانتی‌متری و میلی‌متری، شیمی میان ستاره‌ای دچار تحولی شگرف شد. تاکنون بیشتر از ۶۰ نوع مولکول در محیط میان ستاره‌ای شناسایی شده‌است. این مولکولها معمولاً به‌صورت ابرهای مولکولی هستند. اخترشناسان تخمین می‌زنند که نیمی از جرم گاز میان ستاره‌ای به‌صورت مولکولی است. البته فراوان‌ترین مولکول، H_2 است. اما متأسفانه آشکارسازی این مولکول چندان ساده نیست. برخلاف H_2، مولکول مونواکسید کربن، CO، را به‌آسانی می‌توان شناسایی کرد. میزان فراوانی این مولکول ۱۰۰۰۰۰ مرتبه کمتر از مولکول هیدروژن است.

مولکولها در محیط میان ستاره‌ای، در سه مجموعه متفاوت دیده می‌شوند: ابرهای تاریک، ابرهای مولکولی و ابرهای مولکولی غول. هریک از این ابرها حاوی مقادیر زیادی گرد و غبار نیز هستند. دمای مرکزی آنها بین ۵ تا ۱۰ کلوین است. اغلب هاله‌ای از هیدروژن اتمی آنها را احاطه کرده است. اخترشناسان با آشکارسازی تابش شدید مولکول CO، ابرهای مولکولی را شناسایی می‌کنند. مطالعات نظری نشان می‌دهد که نسبت فراوانی CO/H_2 باید حدود 8×10^{-6} باشد:

ابرهای مولکولی محل مناسبی برای شکل‌گیری ستاره‌ها هستند. در آنها گروههایی از ستاره‌های جوان نوع O و B دیده می‌شود. همچنین در برخی از ابرهای مولکولی، منابع قوی فروسرخ وجود دارد. این منابع، ستاره‌های درحال شکل‌گیری‌اند. اما بخش بزرگتری از گاز مولکولی به‌صورت ابرهای مولکولی غول هستند که جرم آنها به‌چندصد هزار برابر جرم خورشید می‌رسد. ابرهای مولکولی غول، پرجرم‌ترین اجرام کهکشان هستند. معمولاً شکلی کشیده دارند و ابعاد آنها، گاه، به ۳۰۰ سال نوری می‌رسد. کل جرم ابرهای مولکولی غول، حدود ۵ میلیارد برابر جرم خورشید تخمین زده می‌شود. ابرهای مولکولی غول، عمدتاً در هستهٔ کهکشانی و حلقه‌ای اطراف آن، وجود دارند.

مشاهده‌ها نشان می‌دهد که ابرهای مولکولی غول دارای ساختاری ناهمگن هستند؛ و قسمتهای مختلف آنها با سرعتهای متفاوتی حرکت می‌کنند. به‌علاوه در هریک از ابرهای مولکولی غول، ساختارهای کوچکتر نیز دیده می‌شود. هنوز هم به‌درستی روشن نیست که ابرهای مولکولی غول چگونه شکل گرفتند. در این که ابرهای مولکولی، نقشی اساسی در کهکشان دارند، شکی نیست. ولی درباره ماهیت و ساختار آنها سؤالات بی‌پاسخ بسیاری وجود دارد.

به‌هرحال از زمانی که اخترشناسان به‌حضور محیط میان ستاره‌ای پی بردند ۶۰ سالی می‌گذرد. برای شناخت این محیطها تا پیش از دههٔ ۱۹۷۰ میلادی، کار نظری چندانی انجام نشد. این موضوع به‌ویژه ناشی از فقدان داده‌های رصدی بود. اما امروزه با سیل عظیم اطلاعات رصدی در این زمینه مواجه هستیم. دریافته‌ایم که این محیطها دارای ساختارها و ویژگیهای جالب و شگفت‌انگیزند. بعلاوه انواع مختلف پدیده‌های فیزیکی در آنها رخ می‌دهد. بدین ترتیب تصویری که امروزه از محیطهای میان ستاره‌ای داریم نسبتاً پیچیده است. این پیچیدگی عمدتاً ناشی از فرایندهای مختلفی است که به‌طور همزمان در این محیطها رخ می‌دهند. در نتیجه، بیشتر این محیطها دارای ساختارهایی آشوبی هستند که متأثر از جبهه‌های ضربه‌ای، تلاطم، نیروهای گرانشی و الکترومغناطیسی و... هستند. امروزه اخترشناسان سعی دارند با در نظر گرفتن این عوامل به‌دیدگاهی جامع‌تر نسبت به‌محیط میان ستاره‌ای دست یابند. طبیعی است که در این راستا پرسشهای بی‌پاسخ بسیاری وجود داشته باشد؛ و مثل بقیه شاخه‌های فیزیک می‌گوییم هنوز خیلی چیزهاست که باید یاد بگیریم!



◆ سحابی های NGC 6559 و IC 1274-5: این ناحیه در راستای مرکز کهکشان و در فاصله ۴۵۰۰ سال نوری قرار دارد؛ و عمدتاً از هیدروژن (یونیده، اتمی و مولکولی) و گرد و غبار تشکیل شده است. درخشندگی قرمز-نارنجی نشاندهندهٔ تابش $H\alpha$ هیدروژن است.

علم گام به گام پیش می‌رود.

سفر سیصد ساله

بهمن روستایی
دانشجوی کارشناسی
دانشکدهٔ فیزیک

«هر دو جرمی در عالم یکدیگر را متناسب با عکس مجذور فاصله‌اشان و حاصلضرب جرمهایشان جذب می‌کنند.»

این صورتی از «قانون گرانش عمومی نیوتون» است که با استفاده از آن و به کمک قوانین سه‌گانه او در مکانیک، بسیاری از پدیده‌های طبیعی مثل حرکت سیارات منظومهٔ خورشیدی و یا شکل سیارات با دقت بالایی توجیه می‌شود. اما این نظریه نه به سادگی پدید آمد و نه به سادگی ثابت شد.

قدرت یک نظریهٔ علمی را پیشگویی پدیده‌های طبیعی مشخص می‌کند و این خصوصیتی بود که نظریهٔ گرانش نیوتون تا حد زیادی در خود داشت. برای اینکه ببینیم چگونه، چنین نظریه‌ای تکامل پیدا کرد باید به عقب برگردیم:

در قرن شانزدهم میلادی، یعنی تقریباً چهارصد سال پیش، وقتی «تیکو براهه» جوان علاقه‌مند به اخترشناسی در دانمارک می‌زیست، هیچ نظریهٔ گرانشی و تصویر درستی از منظومه خورشیدی و ستارگان وجود نداشت. تیکو، کتابهای «المحسطی» اثر «بطلمیوس» و «دربارهٔ گردش افلاک آسمانی» اثر «کوپرنیک» را مطالعه کرد و به زودی دریافت، جدولهایی که در این کتابها از مواضع سیاره‌ها در آسمان موجود است، دقت کافی ندارند. تیکو در جوانی از راه اروپای شمالی به مسافرت پرداخت و با بسیاری از اخترشناسان دیگر آشنا شد و کتابهایی برای خود گردآورد. ارزش تیکو آن‌قدر بود که فردریک دوم، شاه دانمارک، برای اینکه دانشمند جوان را در دانمارک نگهدارد، جزیره‌ای کوچک را تماماً در اختیار او گذاشت و درآمد چندین مزرعه را نیز برای او در نظر گرفت. تیکو پس از چند سال، در این جزیره «اورانیبورگ» (قلعهٔ آسمانها) را ساخت. این مجتمع، شامل چهار رصدخانهٔ بزرگ، یک کتابخانه، یک آزمایشگاه، چند فروشگاه و محلی برای زندگی کارکنان و دانشجویان و رصدکنندگان می‌شد.

شهرت تیکو براهه به خاطر مشاهدات دقیقش از محل ستارگان، خورشید، ماه و سیاره‌هاست، توجه داشته باشید که در آن زمان چیزی به اسم تلسکوپ وجود نداشت. تیکو براهه مدت تقریباً بیست سال در اورانیبورگ کار کرد

و داده‌های بسیاری از محل اجرام آسمانی را ثبت کرد. او ۴ سال بعد، قبل از اینکه بتواند از این داده‌ها استفاده کند فوت کرد و تمام یادداشتهایش در مورد حرکت مریخ در اختیار دستیار اندیشمند و توانای او، «یوهان کپلر» قرار گرفت. کپلر، در مدت یک سال و نیم، ۷۰ بار آزمایش انجام داد و بسیاری از نتیجه‌هایی که به دست آورد نومیدکننده بود. اما او نومید نشد، کپلر با وجود تهیدستی، بیماری و بدبختیهای شخصی، پس از مدت هفده سال، موفق به کشف سه قانون تجربی معروفی شد که امروزه به نام او شهرت دارند. بهتر است از زبان خودش در کتاب «هماهنگی جهان» که در ۱۶۱۹ میلادی به چاپ رسید، بشنویم:

«... پس از آنکه با تلاش خستگی‌ناپذیر در مدتی دراز، با استفاده از مشاهده‌های تیکو براهه، رابطهٔ درست را پیدا کردم... آن رابطه، همچون طوفان، تاریکیهای ذهن مرا کنار زد و چنان سازگاری کاملی میان تلاشهای هفده سالهٔ من در بررسی مشاهده‌های براهه و مطالعات کنونی من برقرار شد، که در آغاز، گویی خواب می‌دیدم...»

پس تا اینجا تقریباً ۳۷ سال تلاش انسانها را بر روی یکی از پدیده‌های طبیعت دیدیم. این تلاش که نتیجه‌اش سه قانون است که در سه خط نوشته می‌شود و در سه دقیقه در تمام کلاسهای درس بیان می‌شود!

پس ازمرگ کپلر در ۱۶۳۰ میلادی حدود نیم قرن دگرگونیهای زیادی در ساختار مطالعات علمی در اروپا، به وجود آمد، در ایتالیا، فرانسه و انگلستان، علم پیشگان به همکاری و تشکیل انجمنهای علمی می‌پرداختند، این وقایع تقریباً بین ۱۶۴۲ تا ۱۶۸۷ میلادی رخ دادند، یعنی حدود ۳۰۰ سال پیش!

در انجمنهایی که به آن اشاره شد، کسانی که به انجام آزمایشهای علمی می‌پرداختند، با یکدیگر اطلاعات مبادله می‌کردند. در این انجمنها بر سر اندیشه‌های جدید گفتگو می‌شد، علیه مخالفانِ فعالیتهای جدید تجربی بحث می‌شد و رساله‌های فنی انتشار می‌یافت و هر انجمن، برای یافتن پایگاه در میان مردم تلاش می‌کرد و نتیجهٔ بررسیهای خود را در مجله‌های علمی آن زمان که خواهان بسیار داشتند به چاپ می‌رساند. بدین ترتیب از راه این انجمنها، فعالیتهای علمی همه گیری، قدرت و ارزش جهانی پیدا کرد.

پس با این اوضاع و احوال، بعید هم نبود که امثال «ایزاک نیوتون» پا به دنیای علم بگذارند. اما باید به این نکته توجه کنیم که در علم نیز مانند دیگر رشته‌ها، افراد بسیاری هستند که نقشهای مفیدی دارند، ساختمان علم نه تنها بر نوابغ شناخته شده مثل نیوتون، اینشتین و... استوار است، بلکه بر بسیاری از دانشمندان ناشناستر نیز استوار است، لُرد رادرفورد یکی از پایه‌گذاران نظریهٔ جدید اتمی می‌گوید:

«این در طبیعت اشیا نیست که کسی به تنهایی به کشف بزرگ و ناگهانی نایل شود، ***علم، گام به گام پیش می‌رود*** و کارایی هر کس به کار پیشینیان او وابسته است... دانشمندان بر اندیشه‌های یک تن تکیه نمی‌کنند، بلکه از ترکیب هوشمندیهای هزاران تن بهره می‌گیرند...»

ایزاک، روستازاده‌ای آرام بود و همچون گالیله به ساختن ابزارهای مکانیکی عشق می‌ورزید، او در بیست سالگی با کمک مالی یکی از عموهایش به کالج ترینیتی دانشگاه کمریج رفت و در ریاضیات نام‌نویسی کرد، او در کارش موفق بود، اما پس از شیوع طاعون در انگلستان، کالج تعطیل شد و نیوتون مجبور شد به روستای خود که رولستورپ نام داشت بازگردد، او تا آن هنگام که بیست و چهار سال داشت به کشفهای جالب توجهی دست یافته بود، از جمله در این کشفها روشن کردن مفاهیم قوانین اول و دوم حرکت و قانون گرانش بود، ولی تا سالها بعد این کشفها را منتشر نکرد. بهتر است در مورد نظریهٔ گرانش از زبان خودش بشنویم:

«من دربارهٔ گسترش داشتن نیروی جاذبه زمین تا مدار ماه به اندیشه پرداختم، و... از قاعدهٔ کپلر (قانون سوم، قانون دوره‌های گردش)... به این نتیجه رسیدم که نیروهایی که سیاره‌ها را در مدارهایشان نگاه می‌دارند باید با عکس مجذورهای فاصله‌های آنها از مراکز گردش آنها متناسب باشند: و از آنجا نیروی لازم برای نگاهداشتن ماه را در مدار آن به دور زمین با نیروی جاذبه در سطح زمین مقایسه کردم، و نتیجه تقریباً خوب بود. همهٔ اینها در دو سال طاعونی ۱۶۶۵ و ۱۶۶۶ روی داد، زیرا در آن روزها، در سن ۲۱ یا ۲۲ سالگی، در آغاز کارهای خود بودم، و به ریاضیات و فلسفه بیش از هر زمان دیگری تا آن هنگام می‌اندیشیدم.»

نیوتون، ۲۱ سال بعد، با اصرار هالی، اخترشناس معروف که از دوستان صمیمی‌اش بود، کتاب «اصول ریاضی فلسفهٔ طبیعت» را در مدت کمتر از ۲ سال برای چاپ آماده کرد. هالی برای تشویق او خود، مسؤولیت هزینه‌های چاپ را بر عهده گرفت. نیوتون در این کتاب تمام قوانین اساسی علمی را که امروزه به مکانیک نیوتونی معروف است و همچنین قانون گرانش را که در ابتدای این مقاله، به آن اشاره شد و هر سه قانون کپلر را می‌توان از آن استخراج کرد، توضیح می‌دهد. به اعتقاد نیوتون، نیرویی که باعث افتادن سیب به طرف زمین می‌شود، از جنس همان نیرویی است که ماه را به دور زمین نگه‌می‌دارد. این تحلیل بزرگ نیوتون بود که شجاعانه قانونهای نیرو و حرکت را با قانونهای نجومی حرکت در هم آمیخت: گرانش یک نیروی جهانی است.

و به این ترتیب گرانش نیوتونی، خلق شد، اما این یک قرن تلاش تنها در توجیه مشاهدات صرف شده بود و تازه باید گفت که نظریهٔ گرانشی نیوتون در ابتدای راه است.

می‌توان گفت ادموند هالی اولین کسی بود که از گرانش نیوتون برای پیش‌بینی رویدادی طبیعی استفاده کرد: در سالهای ۱۵۳۱، ۱۶۰۷ و ۱۶۸۲ دنباله‌دارهایی در آسمان دیده شده بودند. هالی با توجه به مختصات گزارش شدهٔ آنها در آسمان و با استفاده از قوانین نیوتون حدس زد که این سه دنباله‌دار در واقع باید یک دنباله‌دار باشند. او پیش‌بینی کرد که دورهٔ گردش این دنباله‌دار حدود ۷۰ ساله باشد و بدین ترتیب حدس زد که باید در ۱۹۸۶ دنباله‌داری که امروزه به نام خود او معروف است در آسمان ظاهر شود. هالی در آن سال زنده نبود تا موفقیت خود را به چشم ببیند. دنباله‌دار هالی در سالهای ۱۸۳۳ و ۱۹۰۹ و ۱۹۸۵ هم دیده شد.

پیروزی دیگری که نصیب گرانش نیوتونی شد، بسیار بزرگتر و بهتر بود: حرکت هر سیاره در منظومهٔ خورشیدی نه تنها به خاطر گرانش جرم بسیار بزرگی به نام خورشید است بلکه از جرمهای دیگر این منظومه هم تأثیری بسیار کمتر از خورشید می‌پذیرد و در نتیجه با استفاده از تقریبهای ریاضی در قانونهای نیوتونی که به روشهای اختلالی معروف است، می‌توان حرکت سیارات منظومهٔ خورشیدی را با دقت بسیاری، یعنی با به حساب آوردن گرانش خورشید و دیگر سیارات توجیه کرد.

تا سال ۱۸۴۶ دورترین عضو شناخته شدهٔ منظومهٔ خورشیدی اورانوس بود. اما مواضع رصد شدهٔ این سیاره با آنچه روشهای اختلالی پیش‌بینی می‌کرد تفاوت داشت، این تفاوت از خطای وسایل اندازه‌گیری هم بیشتر بود. اما اگر سیاره‌ای دیگر ورای اورانوس به دور خورشید در حال گردش باشد، آن وقت می‌توان گفت اختلالات آن در حرکت اورانوس محاسبه نشده است. با این فرض ج. ک. آدامز[1] (۹۲-۱۸۱۹) و ژ. لوریه[2] (۷۷-۱۸۱۱) مستقلاً وجود سیاره‌ای دیگر را در منظومهٔ خورشیدی پیش‌بینی کردند، و به این ترتیب نپتون در ۱۸۴۶ کشف شد.

با خواندن نتایجی که در بالا به آنها اشاره شد، هر کسی نظریهٔ گرانش نیوتونی را قطعی می‌پندارد، در واقع دست کم تا ۱۸۵۰ میلادی که این نظریه تقریباً به تمام سؤالهای ما دربارهٔ منظومهٔ خورشیدی پاسخ داده بود، همگان همین عقیده را داشتند، ولی یکبار دیگر روح پرتحرک و هیجان‌انگیز فیزیک که از طبیعت اطراف ما زاده شده خود را نشان داد:

سه سال قبل از اینکه نپتون کشف شود، ژ. لوریه از روی داده‌های حاصل از رصد سیارهٔ تیر، محاسباتی انجام داده بود. او که بعد از کشف نپتون، شهرت بسیاری داشت، در مقام مدیر رصدخانهٔ پاریس، نتایج دقیق محاسباتش را در ۱۸۵۹، ده سال پس از کشف نپتون، منتشر کرد. نتایج محاسبه‌های وی نشان می‌داد که مدار بیضی شکل تیر ثابت نیست و نقطهٔ حضیض آن (یعنی نزدیکترین نقطهٔ آن به خورشید) در هر قرن ۵۷۴ ثانیهٔ قوسی به دور خورشید حرکت می‌کند. در نگاه اول به نظر می‌آمد که این تغییر در مدار، به خاطر اختلالات سایر سیارات منظومهٔ خورشیدی باشد. لوریه با این فرض و با استفاده از قانونهای نیوتون برای حرکت حضیض تیر، مقداری در حدود ۵۳۶ ثانیهٔ قوس، در قرن به دست آورد که ۳۸ ثانیه در قرن کمتر از مقدار رصدی بود.

خیلی زود همگان به فکر حل این مشکل افتادند. یکی از راه‌حل‌ها که برای معمای اورانوس کارگر افتاد، وجود جرمی بین سیارهٔ تیر و خورشید بود. این جرم می‌توانست به صورت متمرکز، یعنی سیاره و یا به صورت غیرمتمرکز

یعنی کمربندی از سیارک یا گردو غبار باشد. اطمینان به نظریهٔ گرانش آنقدر بود که تقریباً همه پذیرفتند بزودی باید یک سیارهٔ جدید به خانوادهٔ منظومهٔ خورشیدی اضافه شود و اسم آن را هم ولکان[3] گذاشتند. اما تمام رصدها، با شکست مواجه شد و کم‌کم همه پذیرفتند که اشتباه کرده‌اند.

راه‌حل دیگر تغییر رابطهٔ گرانش بود. س. نیوکام[4] (۱۹۰۹ـ۱۸۳۵) محاسبات لوریه را یک بار دیگر تکرار کرد و به این نتیجه رسید که مقدار صحیح‌تر آهنگ حرکت حضیض تیر "۴۳ در قرن، با مقادیر پیش‌بینی شده تفاوت دارد.

در قانون نیوتون، برای پیدا کردن مقدار نیروی بین دو جرم، فاصلهٔ آنها را باید به توان دو رساند، نیوکام پیشنهاد کرد این توان به $2+1/574\times10^{-7}$ تغییر کند، اما مشاهده‌های دقیق مدار ماه به دور زمین نشان داد که این نظریه، در توجیه حرکت ماه بسیار ضعیف‌تر عمل می‌کند، لذا بعد از مدتی کنار گذاشته شد.

به هر حال از ۱۸۵۹ تا اوایل قرن بیستم، تمام تلاشها، برای نجات نظریهٔ نیوتونی با شکست مواجه شد. ۵۶ سال بعد در نوامبر ۱۹۱۵، آلبرت اینشتین که روی نظریهٔ نسبیت عام خود کار می‌کرد، توانست با استفاده از نظریهٔ جدیدش، آهنگ حرکت حضیض تیر را دقیقاً برابر با گزارش‌های رصدی به دست آورد. او بعدها دربارهٔ خود نوشت: «برای چند روز، با هیجانی مسرت‌بخش، از خود بی‌خود بودم!»

پیشرفت تنها یک شاخه از علم بدون پیشرفت قسمتهای دیگر آن، تقریباً ناممکن است. شاید به همین دلیل ۵۶ سال طول کشید تا نظریهٔ نسبیت عام خلق شد، زیرا این نظریه از ریاضیات پیچیده‌تری نسبت به نظریهٔ گرانش نیوتونی استفاده می‌کند. از دیدگاه نظریهٔ نسبیت عام، گرانش در ساختار فضا تأثیر می‌گذارد، اما در منظومهٔ خورشیدی این تأثیرها بسیار کوچک‌اند، بنابراین می‌توان در معادلات نسبیت عام از تقریبهای متوالی استفاده کرد. در تقریب اول، معادله‌های نیوتونی به دست می‌آیند، ولی در تقریبهای بعدی، مقادیری مثل "۵۷۴ قوس در قرن برای حرکت حضیض تیر ظاهر می‌شود که در معادله‌های نیوتونی خبری از آنها نیست.

در آغاز دههٔ ۱۹۶۰ میلادی، در رصدها تغییرات کیفی بسیاری پدید آمد. بهره‌گیری از امکاناتی مثل رادار و مأموریت‌های فضایی باعث شد تا از مدار و جرم سیارات منظومهٔ خورشیدی اطلاعات دقیق‌تری به دست آید و دانشمندان این اطلاعات را با استفاده از کامپیوترهای پرسرعت تحلیل می‌کردند، آنها وقتی می‌دیدند افرادی مثل لوریه و نیوکام چنین محاسبه‌های پرحجمی را فقط با دست انجام می‌دادند، شگفت‌زده می‌شدند، این به ما درس خستگی‌ناپذیری و اهمیت به علم و اعتماد به طبیعت را می‌دهد.

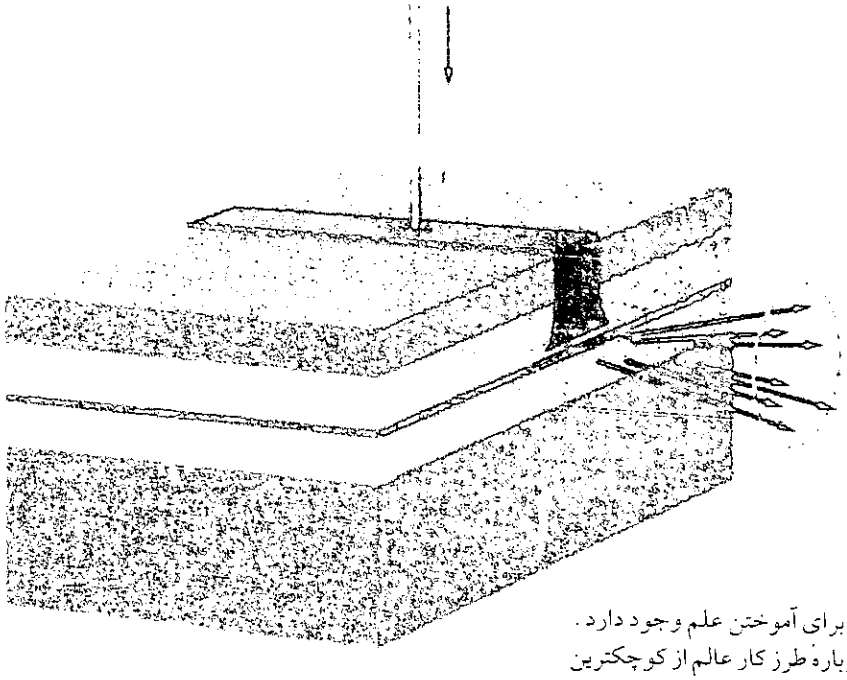
اکنون سفر سیصد سالهٔ ما به پایان می‌رسد، سفری که بسیار پرشتاب بود، اما نشان داد که چگونه انسانها با مشارکت هم ساختمان علم را می‌سازند. خاصیت این ساختمان این است که اجزای جدید آن بر روی اجزای قدیمی‌اش استوارند، امروزه هیچ کس صحبت از «غلط بودن» نظریهٔ گرانش نمی‌کند بلکه همه از کاربرد آن «در شرایط بخصوص» حرف می‌زنند. این جریانها تقریباً در تمام شاخه‌های علم فیزیک تکرار شده و می‌شوند.

مراجع

۱ـ هولتون / راذرفورد/ واتسون، طرح فیزیک هاروارد، جلد دوم، ترجمهٔ: احمد خواجه‌نصیر طوسی/ هوشنگ شریف‌زاده.

2. M. Will, Clifford, Was Einstein right?, 1986, New York.

1. John Cauch Adams
2. Joseph Leverrier
3. Vulcan
4. Siman Newcomb



کشف علم

آرتور شاولو

جایزهٔ نوبل سال ۱۹۸۱ به آرتور شاولو به خاطر سهم وی در توسعهٔ طیف‌نگاری لیزری اهدا شده است.

دلیلهای خوب زیادی برای آموختن علم وجود دارد. علم نکته‌های فراوانی را دربارهٔ طرز کار عالم از کوچکترین سلول زیست شناختی یا حتی تک‌اتم گرفته تا کهکشانهای دوردست که بسیار گسترده‌اند بیان می‌کند. علم حتی این امکان را می‌دهد که آینده را پیشگویی کنیم اگر فضاپیمایی امروز پرتاب شود با اطمینان می‌توان پیشگویی کرد که هفت سال بعد در روز معینی از نزدیکی سیاره مشتری خواهد گذشت. و دقیقاً در همان زمانی که انتظارش را داریم در آنجا خواهد بود. با دانستن و درک علم نه تنها می‌توان گفت که چیزها چگونه کار می‌کنند بلکه می‌توان تعیین کرد اگر این چیزها را به راه‌های مختلف کنار هم بگذارید چگونه می‌توان آنها را به کار انداخت. این پایه و اساس مهندسی و به طور فزاینده پایه و اساس اختراع محسوب می‌شوند.

اما یکی از لذتهای بزرگ علم این است که با علم می‌توان چیزهای جدیدی را کشف کرد و بر مجموعه دانستنیها افزود. علم بر خلاف هنر، تجمعی است. یعنی هر دانستنی کوچک جدیدی را می‌توان به دانستنیهای قبلی افزود و آنها را با هم به کار برد. برای آنکه به دانستنیهای علمی چیزهای باارزشی بیفزاییم لازم نیست که اینشتین یا نیوتون باشیم بلکه کافی است پایهٔ محکمی در اصول یکی از شاخه‌های علم و ریاضی داشته باشیم در ابتداء لازم نیست این زمینه خیلی تخصصی باشد، زیرا در طول سالهای کار ما خیلی چیزها تغییر می‌کنند، و نمی‌توان همیشه پیشگویی کرد که چه چیزهایی مفید هستند. البته باید هرازگاهی کاوش عمیقی در یک زمینهٔ تخصصی انجام دهید. هم‌چنین بد نیست موضوع مورد علاقهٔ خود را گاهگاهی تغییر بدهید تا به دیدگاههای تازه‌ای دست یابید.

هرگز نمی‌توان همه‌چیز را دربارهٔ حتی در زمینهٔ محدودی از علوم دانست، و البته نیازی هم بدان نیست. آنچه *برای کشف چیز جدیدی لازم دارید تشخیص چیزی است که شناخته شده نیست*. یعنی چیزی که غالباً می‌توان با خواندن چند مقالهٔ جدید در آن زمینه، برای پی بردن به گافها یافت.

البته هرکسی دوست دارد که کشفهایش مهم باشند. اغلب انجام کار مهم سخت‌تر از انجام کار پیش پا افتاده نیست. اما یک کشف مهم چیست؟ کشفی مهم است که برای افراد دیگر مفید باشد و امکانات جدیدی را به روی آنها بگشاید. در بعضی موارد یافتن مسأله‌ای که ارزش بررسی داشته باشد یکی از سخت‌ترین جنبه‌های پژوهش علمی است. شما واقعاً نمی‌توانید از قبل بدانید که تحقیقتان ممکن است پرده از روی چه چیزی بردارد و حتی شما نمی‌توانید همه نیازهای انسانها را در زمینه‌های مختلف علم و تکنولوژی بدانید و حتی فراتر از آن، شما هرگز نمی‌توانید بگویید که چگونه، شخصی در آینده ممکن است آنچه که انجام داده‌اید گرفته و به آن بیفزاید تا یک چیز اساسی را تولید کنید. از این رو ثمربخش‌تر است که به جای اینکه منتظر الهامی تکان‌دهنده باشیم توجه‌مان را به کشف چیزی جدید، حتی اگر ظاهراً مهم نباشد، معطوف کنیم.

برای انتخاب خوب مسائلی که می‌خواهیم روی آنها کار کنیم لازم است که از نظر علمی خوش سلیقه شویم. شاید بهترین راه این باشد با شخصی که سابقهٔ کشفهای علمی‌اش خوب است همکاری یا زیرنظر او کار کنیم. به همین دلیل است که تحصیلات تکمیلی در علوم در درجه اول یک کارآموزی[1] است که در آن دانشجو زیرنظر یک استاد راهنما تحقیق می‌کند. اگر این امکان را دارید، سعی

کنید با بهترین محققی که می‌توان یافت کار کنید.

اغلب با گسترش مسائل کلاسیک، که سالیان دراز ثمربخش بوده‌اند، می‌توان به پرسشهای علمی خوب دست یافت. در فیزیک یکی از این موارد، جستجوی ابررساناهای[2] بالاست. مورد دیگر جستجوی راه‌هایی جهت تولید امواج الکترومغناطیسی با طول موج کوتاه‌تر است. که از امواج رادیویی به ریزموجها (میکروویوها[3]) و سپس به لیزر[4] انجامیده است. این زمینه‌های کلاسیک گاهی برای مدتی راکد می‌مانند و در انتظار رهیافت تازه‌ای هستند اما معمولاً امکان انگیزش بهتر در آنها وجود دارد.

هنگامی که در تحقیق نتیجه‌هایی به دست می‌آورید، بررسی هرچه بهتر آنها اهمیت دارد تا از تازه و درست بودن آنها اطمینان حاصل کنید. اگرچه قطعیت مطلق[5] دست نیافتنی است اما شما به عنوان کسی که علم پیشه است مسؤولیت دارید که مراقب صحت نتیجه‌های پژوهش خود باشید و برای کشفهای محققان پیش از خود که زمینه را برای شما فراهم کرده‌اند به اندازهٔ کافی اعتبار قائل شوید. در این مرحله یافته‌های خود را به اطلاع جهانیان یا حداقل به آن دسته که به کار شما علاقه‌مندانند، برسانید. مهم‌ترین کاری که می‌توان انجام داد نوشتن مقاله‌هایی برای چاپ در نشریه‌های علمی است. مقاله‌های ارسالی به یک مجله حداقل به یک، و اغلب به چند، داور داده می‌شود که در نوشتهٔ شما غالباً مواردی را برای انتقاد کردن می‌یابند. این انتقادها می‌توانند مفید باشند، زیرا داوران منتخب تا اندازه‌ای در زمینهٔ پژوهش شما تخصص دارند، اما گاهی ممکن است نتوانند مطلبی را که می‌خواهید روشن کنید بفهمند. به همین دلیل، و به خاطر جلب نظر خوانندگان بعد از چاپ اثر شما، لازم است یاد بگیرید که واضح بنویسید. یکی از نیازهای شما تسلط[6] منطقی بر زبان است. اما مهم‌تر از آن باید آنچه را که می‌خواهید بیان کنید در ذهن خود شما روشن باشد.

پژوهش علمی، می‌تواند به یافتن واقعیتهای جدید دربارهٔ طرز رفتار اشیاء در طبیعت یا قانونهای جدیدی که حاکم بر رفتار آنها است بینجامد. اما می‌توان تحقیق را به سمت یافتن راه‌های جدید گذاشتن اشیاء در کنار هم کشانید که به شکل جدیدی عمل کنند و ابزار مفیدی برای علم یا تکنولوژی فراهم آورند. یک مثال خوب در این مورد لیزر است. از روزگار باستان بشر آرزو داشت که وسیله‌ای بسازد که بتواند باریکه‌های قوی نور تولید کند تا این باریکه‌ها را روی فاصله‌های دور بیندازند. معمولاً می‌خواستند که از این باریکه‌ها به عنوان اسلحه‌ای استفاده کند که دشمن را یک آن خاکستر کند. مثلاً مهاجمان مریخی[7]، در کتاب *جنگ دنیاها*[8] نوشتهٔ اچ. جی. ولز[9]، مسلح به شمشیرهای حرارتی بودند. در مجموعهٔ کارتونی[10] سالهای ۱۹۳۰، باک راجرز[11] دارای هفت‌تیر متلاشی کننده بود. اما هیچ‌کس نمی‌دانست که چگونه این وسیله را بسازد تا آنکه سرانجام اصول علمی طرز تولید نور مشخص و درک شد.

در سال ۱۹۵۷ که چارلز تاونز[12] و من شروع به مطالعهٔ احتمال استفاده از اتمها یا مولکولها برای تولید نور کنترل شدهٔ همدوس کوهرنت[13] کردیم در حدود سی سال بود که اصول مکانیک کوانتومی[14] پابرجا شده بودند. معلوم شده بود که اغلب نوری را اتمهای برانگیخته به طور خودبه‌خود گسیل می‌کنند انرژیی است که به طور لحظه‌ای در آنها ذخیره شده است. هم‌چنین، از زمانی که آلبرت اینشتین به طور نظری در سال ۱۹۱۷ پیش‌بینی کرد، معلوم شده بود که اتمهای برانگیخته را می‌توان به گونه‌ای القاء کرد یا واداشت تا انرژی ذخیره شده خود را به صورت یک موج نوری با همان رنگی که به طور خودبه‌خود گسیل می‌کنند از دست بدهد. اگرچه اینشتین علاقه زیادی به اختراعات داشت (او در ادارهٔ ثبت اختراعات[15] سویس به عنوان مأمور کار کرده بود)، اما لیزر را اختراع نکرد. با این همه اگر او در این‌باره فکر می‌کرد ممکن بود در رویارویی با این واقعیت دلسرد شود که گسیل القائی در هر دما، هرچقدر که این دما بالا باشد، بسیار کمتر از جذب معمولی است. اما در سال ۱۹۵۷ ما می‌دانستیم که گاهی ممکن است تعادل گرمایی[16] را پشت سر بگذاریم و تعداد زیادی اتم را فقط در یک حالت برانگیخته داشته باشیم. این امکان با اختراع میزر (MASER[17]ـ تقویت ریزموجی با گسیل القائی تابش) توسط تاونز چند سال پیش از آن به وجود آمده بود. این میزر، با القاء گسیل امواج از مولکولهای برانگیختهٔ آمونیاک ریزموجهایی با طول موج در حدود یک سانتی‌متر تولید می‌کرد. برخی از ریزموجهای گسیل شده در یک جعبهٔ فلزی که به عنوان حفرهٔ مشدد[18] به کار می‌رفت ذخیره می‌شوند تا مولکولهای برانگیخته را به محض رسیدن القاء کنند. بدین ترتیب گسیلهای حاصل از مولکولها برای تولید یک موج همدوس مانا همزمان می‌شدند.

در حدود صد سالی بود که می‌دانستند نور مانند امواج رادیویی، از جنس امواج الکترومغناطیسی[19] است. البته با طول موجی بیش از ده هزار بار کوتاه‌تر برای تولید این موجهای ریز، استفاده از همان جعبهٔ فلزی مشددی که برای

امواج رادیویی استفاده می شد عملا امکان نداشت از این رو ما به سراغ اختراع ساختاری رهنمون شدیم که از دو آینه کوچک تشکیل شده بود. این آینه‌ها در دو انتهای یک ستون باریک و بلند از اتمهای برانگیخته در مقابل هم قرار داشتند این ساختار برای موجهای نوری که در طول محور ستون بین دو آینه به جلو و عقب منتشر می شوند مشدد خوبی بود. اگر یکی از آینه‌ها نیمه شفاف[24] باشد، بخشی از این امواج از این آینه گذشته و باریکه خروجی بسیار جهتداری[25] را تشکیل می دهند. این ساختاری است که اکنون اساساً برای همه لیزرها به‌کار می‌رود. هدف ما یافتن وسیله‌ای نبود که باریکه نور تولید کند، اما این وسیله نتیجه طبیعی جستجوی یک مشدد مناسب بود.

ما متوجه شدیم که مواد مختلفی برای استفاده در لیزر وجود دارند، همین طور راه‌های مختلفی برای برانگیختن این مواد. مادهٔ برگزیده شده، طول موج یا رنگ نور تولید شده در لیزر را تعیین می کند. همین عوامل بر توان خروجی تأثیر می گذارد. باریکه خروجی برخی لیزرها به سختی قابل آشکارسازی هستند در حالی که برخی از آنها برای سوراخ کردن، برش یا جوش دادن به اندازه کافی توانمند هستند. خوشبختانه مجبور نبودیم لیزر را برای کاربرد ویژه‌ای اختراع کنیم بلکه فقط می خواستیم نشان دهیم که می توان لیزرهایی ساخت که کار کنند. چنانکه معلوم شد، اولین لیزرها با توان نسبتا زیادی را در مدت کوتاه، کمتر از یک هزارم ثانیه تولید می کردند و یا باریکه‌های پیوسته و ضعیف تولید می کردند. بلافاصله بعضی افراد لیزر را راه‌حلی نامیده‌اند که در جستجوی مسئله بود. در واقع لیزر کاربردهای بالقوه‌ای داشت که سازندگان لیزرهای اولیه از آنها بی خبر بودند. به عنوان مثال، یکی از کاربردهای اولیه لیزر در جراحی شبکیه چشم بود تا از جدا شدن شبکیه[26] که به کوری می انجامد جلوگیری کند. چشم‌پزشکان[27] برای این منظور از چشمه‌های پرنور مانند خورشید و لامپهای قوس الکتریکی زنون استفاده می کردند، اما نه تاونز و نه من هرگز چیزی از شبکیه جدا شده نشنیده بودیم. لیزرهای یاقوت به سرعت به کار افتادند تا در الماس سوراخهایی برای سیم‌کشی[28] به وجود آورند. اما لیزرهای اولیه ابتدائی نمی توانستند بیشتر کارهایی که انسان برای پرتوهای نور که در خیال خود پرورانده بود انجام دهند، از جمله رؤیای باستانی پرتوهای مرگ‌باری بود که هر چیزی را نابود می کردند، که حتی اکنون نیز دور از دسترس است. پیش از آنکه لیزرها بتوانند به مرحله کاربردهای گسترده کنونی برسند لازم بود که اختراعات و اکتشافات و پیشرفتهای فنی خیلی بیشتری صورت گیرد. برخی از این مطالب ممکن است برای دانش‌آموز دبیرستان یا مراکز پیش دانشگاهی دور از ذهن به نظر برسند. اما، چنان که سیلوانوس تامسون[29] در کتاب کوچک شگفت‌انگیز خود، حسابان ساده،[30] خاطرنشان کرده است «***آنچه را که یک احمق می تواند انجام دهد احمق دیگر هم می تواند.***» تاکنون، بیشتر کشفهای علمی را نه نابغه‌های بزرگ بلکه انسانهای فانی معمولی انجام داده‌اند که از علم چنان لذتی می برند که احساس می کنند باید در این زمینه کاری انجام دهند.

مترجم: محمد علی سعادت بخت

1. apprenticeship
2. higher temperature superconductors
3. microwave
4. LASER (Light Amplification of Stimulated Emission of Radation)

(تقویت نوری گسیل القائی تابش)

5. absolute certainty
6. command
7. Martian invaders
8. The War of the Worlds
9. H.G. Wells
10. Comic strip
11. Buck Rogers
12. Charles Townes
13. coherent
14. quantum mechanics
15. patent office
16. thermal equilibrium
17. MASER (Microwave Amplification of Stimulated Emission of Radiation)
18. cavity resonator
19. electromagnetic waves
20. partly transparent
21. highly directional output beam
22. retinal detachment
23. opthalmologists
24. wire-drawing dyes
25. Sylvanus Thomson
26. Calculus Made Easy

تداخل نور رنگهای زیبایی را در این مجموعه حبابها تولید کرده است.