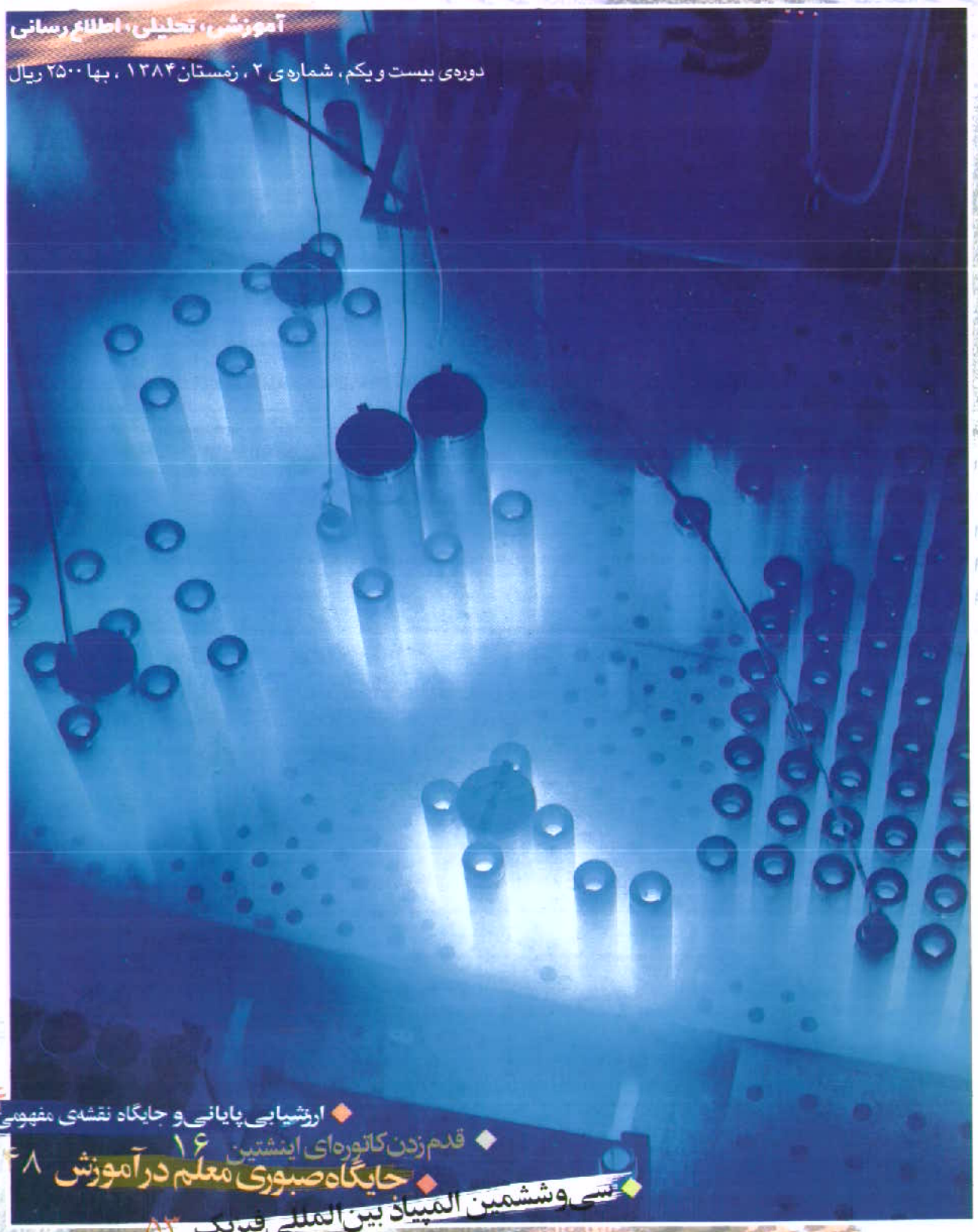
ISSN 1606 - 917X

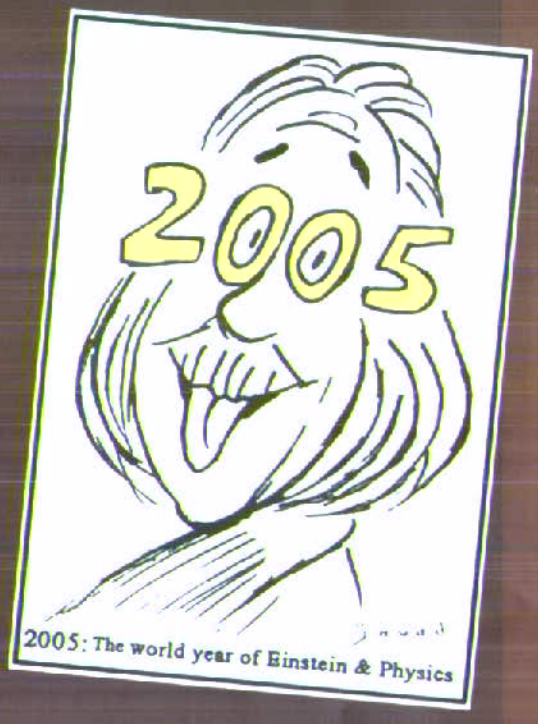
رشد آموزش فیزیک ۷۳

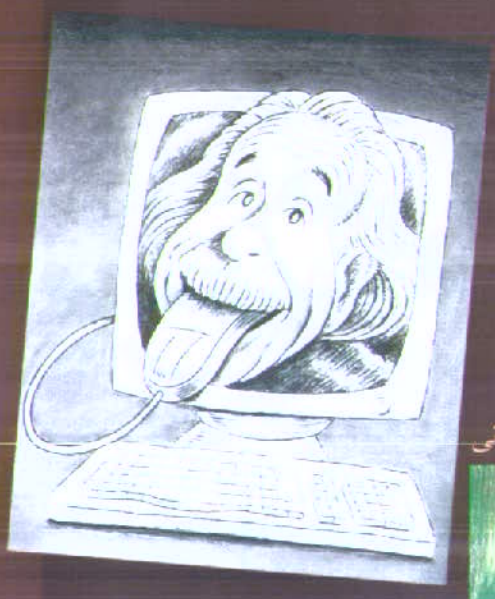
آموزشی، تحلیلی، اطلاع‌رسانی

دوره‌ی بیست و یکم، شماره‌ی ۲، زمستان ۱۳۸۴، بها ۲۵۰۰ ریال



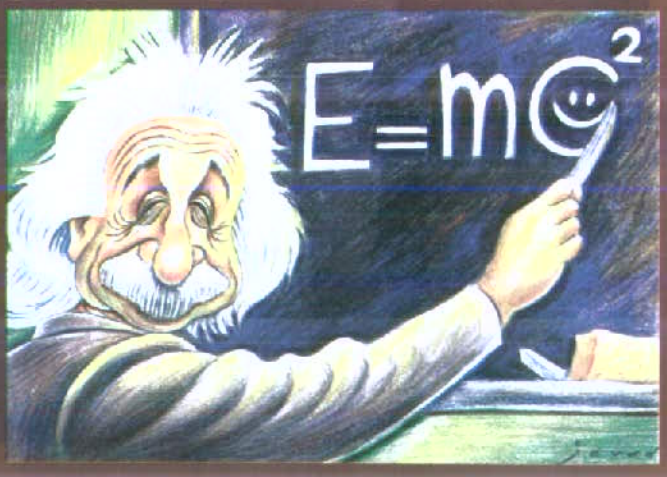
◆ ارزشیابی پایانی و جایگاه نقشه‌ی مفهومی ۴
◆ قدم زدن کانوره‌ای اینشتین ۱۶
◆ جایگاه صبوری معلم در آموزش ۴۸
◆ سی و ششمین المپیاد بین‌المللی فیزیک ۵۳





به مناسبت سال جهانی فیزیک

کاریکاتورها اثر: جواد علیزاده، کاریکاتوریست مشهور ایرانی



رشد آموزش فیزیک ۷۳
آموزشی، تحلیلی، اطلاع رسانی
ISSN : 1606-917X
info@roshdmag.org

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

دوره‌ی بیستم و یکم، شماره‌ی ۲، زمستان ۱۳۸۴

تصویر روی جلد:
نور آبی درخشان در این استخر محل نگهداری میله‌های سوخت مصرف شده راکتور ناشی از اثر چرنکوف است. این تابش را الکترون‌هایی گسیل می‌کنند که با سرعت بیش از سرعت نور در آب در استخر در حرکتند.
برگرفته از کتاب:
Einstein's Mirror, Tony Hey and Patrick Walters, Cambridge Univesity Press 1997

سرمقاله: آموزش معلمان ○ محمدتقی زائری ۲
ارزشیابی پایانی و جایگاه نقشه‌ی مفهومی ○ احمد احمدی ۴
گامی به جلو در محاسبه‌های کوانتومی ○ ۹
ساده‌سازی مفاهیم فیزیک با مثال‌های آشنا ○ حشمت کاکا ۱۰
گزارش مرحله‌ی کشوری جشنواره‌ی روش‌های... ○ فاطمه ابراهیمی بادی ۱۳
قدم زدن کاتوره‌ای اینشتین ○ مارک هاو ۱۶
مقایسه‌ای بین حجم کتاب‌های فیزیک و ○ کبری غلامی ۲۰
ماری کوری: کارآفرین علمی ○ سوریا بودیا ۲۳
یک منبع آلودگی مدرن در اتاق‌های جراحی ○ هالیدی، رزنیک، واکر ۲۹
موهبت بذله گویی ○ محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر ۳۰
آیا آنچه آموزش می‌دهیم، با آنچه... ○ لیلیان سی، مک درموت ۳۲
یخ بستن حوض و جویبار ○ کریج. اف. بورن ۳۷
تاریخچه‌ی مختصر نسبیت ○ استیون هاوکینگ ۴۱
ما و خوانندگان ○ ۴۷
جایگاه صبوری معلم در آموزش ○ جهانگیر ریاضی ۴۸
گوناگون ○ ۵۰
سی و ششمین المپیاد بین‌المللی فیزیک ○ ۵۳

مدیر مسؤول: علیرضا حاجیان زاده
سردبیر: دکتر منیژه رهبر
مدیر داخلی: احمد احمدی
ویراستار: لعبا عروجی
طراح گرافیک: پروانه هادی‌پور
هیأت تحریریه: احمد احمدی، روح الله خلیلی بروجنی منیژه رهبر، سید جعفر مهرداد

شمارگان: ۱۱،۰۰۰ نسخه
چاپ: شرکت افست (سهامی عام)
تلفن امور مشترکین: ۸۸۸۳۹۱۸۶
تلفن دفتر مجله: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱ داخلی: ۲۷۱
نشانی دفتر مجله: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۶۵۸۵

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 باشند، 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 حاشیه‌ی 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 صفحه‌ی 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.

سر مقاله

آموزش معلمان

کاهش نگرانی نوآوری

محمدتقی زائری

آموزش کارکنان یک سازمان، بی‌شک یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل برای بهبود امور و افزایش کارایی آن سازمان است و منجر به بینش و بصیرت عمیق‌تر، دانش بالاتر و توانایی و مهارت بیش‌تر نیروی انسانی می‌شود. پژوهش‌های گوناگون نشان می‌دهند، کارکنان یک سازمان در شرایط عادی، با حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد توانایی خود کار می‌کنند، اما در صورتی که آموزش ببینند و به طور شایسته‌ای انگیزه‌ی لازم در آن‌ها به وجود آید، می‌توانند حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد توانایی‌ها و صلاحیت‌های خود را بروز دهند.

در ارتباط با معلمان نیز پژوهش‌ها نشان می‌دهند، هر قدر آموزش و تحصیلات (قبل، بدو و حین خدمت) معلمان بیش‌تر باشد، روش تدریس بهتری خواهند داشت، تکیه بر حافظه‌پروری در آنان کم‌تر مشاهده می‌شود، از مشارکت دانش‌آموزان در بحث‌ها و کارهای کلاس بیش‌تر استفاده می‌کنند، خلاقیت بیش‌تری از خود نشان می‌دهند، و در تسهیل، تعمیق و تسریع آموزش نقش مؤثرتری ایفا می‌کنند و...

در سایت «دفتر آموزش و ارتقای مهارت‌های حرفه‌ای و تربیت معلم وزارت آموزش و پرورش» با این عبارت روبه‌رو می‌شویم: «روحانی محله‌ای که حوصله و آمادگی تعلیم به کودکان را داشت، بی‌هیچ‌گونه قید و شرط و اجازه‌نامه‌ای، به شغل معلمی و مکتب‌داری می‌پرداخت. هر یک از شاگردان ماهانه‌ی مختصری برای تحصیل می‌پرداختند. این مبلغ برای زندگی بسیار ساده‌ی معلمان کافی نبود، لیکن آن‌ها کار معلمی را با علاقه انجام می‌دادند.»

اما با مراجعه به بخش «آموزش جهانی سازمان ملل» به این عبارت برمی‌خوریم: «این که فردی هرچند علاقه‌مند، اما تربیت نشده یعنی فردی که آموزش‌های لازم برای حرفه‌ی معلمی را ندیده است، در برابر تعدادی دانش‌آموز قرار دهیم و او را معلم بنامیم، کافی نیست. در این خصوص، برای تأمین آموزشی با کیفیت راهی میان‌بر وجود ندارد.»

دوره‌های آموزشی معلمان، در آماده‌سازی و روزآمد کردن دانش و مهارت معلمان نقش مهمی را ایفا می‌کنند و باعث بهبود توانمندی‌های ویژه‌ی معلمان و کادر آموزشی می‌شوند. اهمیت این دوره‌ها برای همه‌ی افراد محرز و مشخص است و می‌توان آن‌ها را، متناسب با حیطه‌ی موردنظر، به صورت‌های گوناگون تقسیم‌بندی کرد:

۱. آموزش قبل از استخدام؛ ۲. آموزش بدو استخدام؛ ۳. آموزش ضمن خدمت (کوتاه مدت، میان‌مدت و بلندمدت).

آموزش قبل از استخدام، برنامه‌هایی را دربرمی‌گیرد که به مدارج عالی تحصیلی می‌انجامند و می‌توانند در سطوح کاردانی،

کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا برگزار شوند. هرچه سطح تحصیلی معلمان بالاتر باشد، تسلط آن‌ها در سازماندهی مطالب با کیفیت بالاتری صورت می‌پذیرد. این گروه از معلمان، با گذراندن واحدهای «مهارت‌های تعلیم و تربیت»، با اصول اساسی تعلیم و تربیت و روش‌های آموزش آشنایی کامل پیدا می‌کنند. بنابراین، هنگام یاددهی، به سهولت یافته‌های خویش را ارائه می‌دهند.

آموزش زمانی می‌تواند به موفقیت بیانجامد که یکی از ارکان اصلی آن یعنی «معلم»، به درستی انتخاب شود. داشتن صرف مدرک تحصیلی کفایت نمی‌کند، بلکه فرد باید متناسب با شغل آینده‌اش و انتظاراتی که از او داریم، آموزش ببیند. معضل بزرگی که هم‌اکنون در حیطه‌ی آموزش با آن روبه‌رو هستیم، استخدام و یا اشتغال افراد غیرمتخصص و بامدرک تحصیلی غیرمرتبط در دریای بی‌کران آموزش، هنگام ورود به عرصه‌ی آموزش است.

در آموزش بدو استخدام، معلمان متناسب با دوره‌ی تحصیلی مورد تدریس، آموزش‌های لازم را می‌گذرانند و با یادآوری مطالب تحصیل شده و نحوه‌ی کاربرد آن‌ها در مرکزهای آموزشی، آشنایی و آمادگی کامل پیدا می‌کنند تا به این عرصه‌ی مهم وارد شوند.

احساس تعلق معلمان به مراکز تربیتی، انگیزه‌ای قوی برای جلب همکاری آنان در محیط‌های آموزشی به شمار می‌رود. در اصل چهل و ششم «کلیات طرح نظام آموزش و پرورش جمهوری اسلامی ایران» آمده است: «در نظام تربیت معلم باید ترتیبی اتخاذ شود که معلمان برای تعلیم و تربیت در همه‌ی مراحل و دوره‌های تحصیلی آموزش و پرورش، حداقل در سطح کارشناسی تربیت شوند و معلمان موجود با استفاده از شیوه‌های آموزش ضمن خدمت، به تدریج بدین سطح ارتقا یابند.»

همچنین در اصل چهل و هشتم آن می‌خوانیم: «کلیه‌ی معلمان باید علاوه بر تعلیم دانش‌آموزان، در تعلیم خود نیز اهتمام داشته باشند. آموزش و پرورش باید امکانات و تسهیلات لازم را برای این کار فراهم سازد. ادامه‌ی شغل معلمی منوط به ارتقای دائمی سطح معلومات است.»

همه‌ی مطالب ارائه شده، بر اهمیت نقش آموزش معلمان تأکید دارد. در کشورهای جهان، آموزش ضمن خدمت معلمان به روش‌های متفاوت انجام می‌شود. برای مثال در کشور انگلیس، معلمان پس از پنج سال تدریس، برای بازآموزی، کسب اطلاعات علمی جدید و آشنایی با شیوه‌های نوین آموزش، به مراکز ضمن خدمت و مراکز آموزشی (تربیت معلم، کالج، دانشگاه و...) بازگردانده می‌شوند.

در اسکاتلند، معلمان باید در کلاس‌های ضمن خدمت شرکت کنند. در آمریکا معلمان برای مدت معینی (برای مثال چهار سال) استخدام می‌شوند و پس از سپری شدن این مدت، در دوره‌های ضمن خدمت شرکت می‌کنند و در صورت قبولی در آزمون‌های برگزار شده، مجدداً به استخدام درمی‌آیند.

بنابراین، تشکیل و شرکت معلمان در کلاس‌های ضمن خدمت می‌تواند پیامدهای زیر را به همراه داشته باشد:

۱. افزایش کارایی؛
۲. آگاهی از نوآوری‌های آموزشی؛
۳. افزایش دانش و مهارت‌های تخصصی؛
۴. افزایش رضایت شغلی؛
۵. بالا رفتن انگیزه و علاقه به کار؛
۶. بالا رفتن اعتماد به نفس، کاهش ترس و نگرانی از برخورد با مسائل و مشکلات؛
۷. پاسخگویی به نیازهای روانی؛
۸. به وجود آمدن جذابیت در محیط‌های آموزشی؛
۹. خودشکوفایی؛
۱۰. افزایش کیفیت آموزش؛
۱۱. خلق آثار اجتماعی مفید و...

اما این آثار فقط زمانی قابل مشاهده هستند که آموزش ضمن خدمت معلمان به صورت واقعی (و نه صوری)، با برنامه‌ریزی صحیح و تأثیرگذار در آینده‌ی آن‌ها، برگزار شود. برای نیل به این هدف لازم است:

۱. مسؤولان حوزه‌ی آموزش با هدف‌ها، برنامه‌ریزی، اجرا و پیامدهای آموزش ضمن خدمت، آشنایی کامل و به آن‌ها اعتقاد و ایمان داشته باشند.

۲. «معاونت‌های آموزشی حوزه‌ی ستادی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی و دفتر آموزش و ارتقای مهارت حرفه‌ای و تربیت معلم وزارت آموزش و پرورش» باید راهکارهای اجرایی صحیح و عملی استفاده از گواهی‌های ضمن خدمت را تدوین کند و بر اجرای آن‌ها نظارت کامل داشته باشد.

۳. از اکتفا کردن به دادن برگه‌های صوری ضمن خدمت پرهیز و بر آموزش‌های واقعی و کارگاهی تأکید شود.

۴. در حین برگزاری دوره‌های ضمن خدمت، به ویژه درس‌های: ریاضی، علوم، زیست‌شناسی، زمین‌شناسی، زبان و عربی سعی شود، از مثال‌های واقعی، اعداد و ارقام واقعی و مثال‌های کاربردی استفاده شود.

۵. آموزش‌هایی با رویکرد مفهومی، خلاق، جذاب، مشارکتی، کارگاهی و... جایگزین آموزش‌های شفاهی حافظه‌پرور شوند.

کاهش نگرانی، رضایت شغلی، نوآوری

نوآوری نیازهای روانی

ارزشیابی پایانی و جایگاه نقشه‌ی مفهومی

ارزشیابی پایانی معمولاً در پایان هر دوره‌ی آموزشی انجام می‌شود و معلم با استفاده از آن، آنچه را دانش‌آموزان طی دوره آموخته‌اند، ارزیابی می‌کند. ارزشیابی پایانی را ارزشیابی «مجموعی» یا «تراکمی» هم می‌گویند؛ زیرا از طریق این ارزشیابی، مجموع آموخته‌های دانش‌آموزان در طول یک دوره‌ی آموزشی اندازه‌گیری می‌شود. هدف ارزشیابی پایانی، سنجش دانش‌آموز به منظور نمره دادن به او، اتخاذ تصمیم در مورد ارتقای او به کلاس بالاتر، رتبه‌بندی، یا اعطای امتیازات معینی چون اجازه‌ی ورود به مدرسه‌ی نمونه، جذب محیط کار و... است. در این نوع ارزشیابی از آزمون‌هایی استفاده می‌شود که وابسته به هنجار یا ملاک هستند.

در امتحانات پایان سال یا ترم، با استفاده از آزمون‌ها، میزان آموخته‌های دانش‌آموز را در مقایسه با همه‌ی هدف‌های آموزشی، ارزیابی می‌کنند و آزمون دارای ملاک است؛ یعنی،

احمد احمدی
AhmadAhmady@gmail. com

دانش‌آموزان براساس انتظارات برنامه‌ی درسی ارزشیابی می‌شوند. آنچه این ارزشیابی را به‌طور خاص از ارزشیابی مستمر متمایز می‌سازد، نحوه‌ی استفاده از نتایج آن است. برخلاف ارزشیابی مستمر، نتایج این ارزشیابی نقشی در مرحله‌ی بعدی آموزش دانش‌آموز ندارد. همان‌طور که قبلاً گفتیم، مسؤولیت تشخیص مشکلات دانش‌آموز در فرایند یاددهی- یادگیری برای رفع آن‌ها، بر عهده‌ی ارزشیابی مستمر است و هدف ارزشیابی مجموعی، تعیین آموخته‌های کلی دانش‌آموزان در پایان دوره‌ی آموزشی و قضاوت درباره‌ی کل برنامه یا طرح آموزشی است که معمولاً هم به صورت نمره‌ی کیفی یا کمّی به دفتر مدرسه و والدین گزارش می‌شود و نقشی در برنامه‌ی آموزشی دانش‌آموزان ندارد. تفاوت اصلی ارزشیابی مستمر با ارزشیابی پایانی، در نوع استفاده‌ی معلم از اطلاعاتی است که جمع‌آوری می‌شود.

توجه داریم که ایده‌ی ارزشیابی مستمر، پویا و رشددهنده، ایده‌ی جدیدی است که در سال‌های اخیر به آن توجه بیش‌تری شده است. اما این ایده را نباید به معنی حذف آزمون‌های پایانی که در مواقعی، پاسخگوی نیازهای خاصی هستند، تعبیر کنیم.

در ارزشیابی پایانی (نیم‌سال اول و آخر سال تحصیلی) نیز، علاوه بر ارزشیابی دانستنی‌های اکتسابی دانش‌آموزان، مهارت‌های «فکر کردن»، «مقایسه کردن»، «تفسیر کردن»، «طراحی تحقیق»، «نتیجه‌گیری»، «آزمایش»، نقشه‌ی مفهومی و... را باید ارزشیابی کرد. حداقل نمره‌ای که به این مهارت‌ها اختصاص داده می‌شود، نباید از ۲۵ درصد نمره‌ی کل آزمون کم‌تر باشد.

پرسش‌های این آزمون باید عمدتاً فکری و فهمیدنی باشند و از پرسش‌هایی که بر حافظه متکی‌اند، کم‌تر استفاده شود؛ یعنی، بهتر است پرسش تفکربرانگیز باشد و دانش‌آموزان را با یک مسأله‌ی جدید درگیر کند. گاهی از طریق مطرح ساختن بعضی شرایط فرضی می‌توان از دانش‌آموزان خواست، به نتیجه‌گیری، تفسیر یافته‌ها، طراحی تحقیق، آزمایش، نقشه‌ی مفهومی و... بپردازند. چنین پرسش‌هایی در واقع مهارت‌های دانش‌آموزان را می‌سنجند.

نمونه‌ی پرسش‌هایی که برای ارزشیابی از این مهارت‌ها طرح می‌شوند، در کتاب درسی دانش‌آموز موجود است. روشن است، اگر در آزمون سؤالاتی درست شبیه سؤالات کتاب درسی داده شود، از نظر ارزشیابی کم‌ارزش و گاهی اوقات به‌طور کامل فاقد ارزش است.

درضمن، معلم توانایی طراحی پرسش‌های تلفیقی را که حداقل دو حیطه از سه حیطه‌ی مهارت‌ها، نگرش‌ها و دانستنی‌ها را شامل می‌شوند، به‌تدریج کسب می‌کنند. دانش‌آموزان برای موفقیت در چنین ارزشیابی‌هایی، باید به‌درستی آموزش ببینند. توصیه می‌شود که معلمان در طراحی پرسش‌های ارزشیابی دقت کنند. طرح این پرسش‌ها به کمک گروه‌های آموزشی با گروه معلمان همکار در یک پایه، بر اعتبار سؤال می‌افزاید. به‌علاوه، در حرکت از سیستم امتحان سنتی به امتحانی متفاوت که حامی هدف‌های برنامه‌ی جدید آموزش علوم باشد، باید بسیار دقیق بود و همه‌ی جوانب را در نظر داشت. بدیهی است این تغییر به تدریج اتفاق می‌افتد. با توجه به هدف‌های آموزش علوم، معلم باید در آموزش بر موارد مهارت و نگرش به اندازه‌ی دانستنی‌ها تأکید کند و بکوشد، در پرسش‌های پایانی نیز دانش‌آموزان را از بعد این آموخته‌ها ارزشیابی کنند.

چگونه آزمون پایانی را طراحی کنیم؟

آزمون مناسب پیشرفت تحصیلی، آزمونی است که به بهترین شکل منعکس‌کننده‌ی تمامی هدف‌های آموزشی و محتوای برنامه‌ی درسی باشد. اما در بسیاری مواقع، تهیه‌ی چنین آزمونی عملاً امکان‌پذیر نیست. بنابراین، به جای گنجاندن تمامی محتوا و هدف‌ها در آزمون، معلم مجبور می‌شود، تعدادی سؤال نمونه انتخاب کند که معرف هدف‌ها و محتوای درس باشد. آزمونی با ویژگی‌های فوق، یک آزمون خوب به‌شمار می‌رود.

معلم قبل از شروع طراحی آزمون، باید دقیقاً مشخص کند که:

الف) کدام بخش از محتوای درس مهم‌تر است و در آینده کاربرد بیش‌تری دارد؟

ب) کدام هدف از بعد مهارت‌ها مهم‌تر است و وقت بیش‌تری صرف پرورش آن شده است؟

پ) سنجش کدام هدف مهارتی یا نگرشی از طریق آزمون کتبی امکانپذیر است؟

معلم با توجه به پاسخ‌های مشخصی که ارائه می‌دهد، سؤال‌های آزمون را در میان بخش‌ها و هدف‌های گوناگون توزیع می‌کند. این آزمون می‌تواند وابسته به هنجار یا ملاک باشد.

زمان انجام آزمون پایانی معمولاً در پایان یک دوره‌ی تحصیلی است. بنابراین، دانش‌آموز در محدوده‌ی وسیعی از مفاهیم و هدف‌ها مورد سنجش قرار می‌گیرد. از این‌رو، لازم است معلم در طراحی پرسش‌ها از جدول مشخصات هر درس استفاده کند تا پرسش‌ها به‌درستی توزیع شوند. در این صورت، آزمون‌ها نمونه‌ی کاملی از اجزای مفاهیم و هدف‌هایی خواهند بود که سنجش آن‌ها امکانپذیر است. هنر معلمی در طراحی پرسش‌های پایانی این است که در بخشی از پرسش‌های مطرح‌شده، به دانش‌آموز فرصت دهد، آنچه را می‌داند یا

می‌تواند انجام دهد، منعکس سازد.

هدف ارزشیابی پایانی صرفاً تعیین نقاط ضعف دانش‌آموز نیست، بلکه شناخت نقاط قوت دانش‌آموز و آگاه کردن او از توانمندی‌هایش می‌تواند، اعتماد به نفس او را در برداشتن گام‌های بعدی بالا ببرد. در ادامه به چند نکته‌ی کلیدی در مورد طرح پرسش‌های پایانی اشاره می‌شود:

صحیح و غلط

◆ از کلمات مطلق «همه»، «هیچ‌کدام»، «هیچ‌گاه»، «همیشه» و... بپرهیزید.

◆ در مورد هر سؤال مطمئن شوید که دقیقاً «درست» است یا «غلط».

◆ حداکثر ده درصد پرسش‌ها را به چنین پرسش‌هایی اختصاص دهید.

◆ در طرح چنین پرسش‌هایی، از دانش‌آموزان بخواهید، پس از تعیین عبارات غلط، پرسش‌ها را تصحیح کنند. این کار، «سطح پرسش» (میزان سنجش پرسش) را افزایش و احتمال تأثیر شانس در پاسخ دادن را کاهش می‌دهد.

جور کردنی

◆ فهرست جورکردنی‌ها را به ۵ تا ۷ پرسش محدود کنید.

◆ در تهیه‌ی فهرست، اصل یکنواختی را رعایت کنید.

◆ دستورالعمل انجام کار واضح باشد.

◆ تعداد پاسخ‌ها بیش‌تر از تعداد پرسش‌ها باشد.

◆ می‌توانید از دانش‌آموز بخواهید، برای موردی که در مجموعه پاسخ‌ها وجود دارد، ولی سؤال مربوط به آن نیست، پرسشی طرح کند و در فهرست پرسش‌ها بگذارد.

چند گزینه‌ای

◆ ایده‌ی اصلی پرسش را در مرکز پرسش قرار دهید.

◆ پاسخ‌های غلط ولی منطقی طرح کنید (از پاسخ‌هایی که نامربوط و بی‌جا هستند، بپرهیزید).

◆ گزینه‌ها از نظر طول عبارت یک اندازه باشند؛ یکی خیلی طولانی و دیگری خیلی کوتاه نباشد.

◆ در بعضی موارد، بیش از یک گزینه‌ی درست در نظر بگیرید.

◆ در بعضی موارد، برای افزایش سطح پرسش می‌توانید، از دانش‌آموز بخواهید، برای گزینه‌ای که انتخاب می‌کند، مثالی ذکر نماید یا مثالی، به نمونه‌ای که انتخاب کرده است، بیفزاید.

تکمیل کردنی

◆ برای هر عبارت ناقص فقط یک پاسخ کوتاه در نظر بگیرید.

◆ از طرح پرسش‌هایی که به حافظه متکی هستند، بپرهیزید.

◆ در چند پرسش به دنبال هم، طول پاسخ‌ها را حدوداً یکسان بگیرید.

◆ از این که در یک سؤال، چند مورد ناقص قرار دهید، بپرهیزید.

◆ می‌توانید از دانش‌آموز بخواهید، متن کوتاهی را بخواند و یک یا دو پرسش تکمیل‌کردنی مربوط به آن را پاسخ دهد. در پایان، خودش نیز پرسشی مشابه «تکمیل کردنی» طراحی کند که پاسخ آن در متن باشد.

تشریحی

◆ در طرح این پرسش‌ها، از به کار بردن عبارت‌هایی مثل «بحث کنید»، بپرهیزید. به جای آن می‌توانید بنویسید: «در مورد... هرچه می‌دانی، بنویس.»

◆ معیارهای ارزشیابی را از قبل تنظیم و بارم‌بندی کنید.

◆ پرسش‌های تشریحی را به سطح یادآوری و حافظه محدود نکنید.

◆ پرسش‌های سطوح بالاتر را هم که در آن‌ها از عبارات «پیش‌بینی کن»، «مقایسه کن»، «نتیجه‌گیری کن»، «شباهت‌ها و تفاوت در الگو»، «تفسیر کن» و «آزمایشی طراحی کن که...» استفاده می‌شود، طرح کنید.

◆ پرسش‌هایی برای ارزشیابی مهارت «درک مفهوم»، «نتیجه‌گیری» و «قضاوت» طراحی کنید. می‌توانید، متنی مرتبط با موضوع درسی را در پرسش‌نامه بگنجانید و از دانش‌آموز بخواهید، پس از خواندن متن به پرسش‌ها پاسخ دهد. پرسش‌ها را به گونه‌ای طرح کنید که پاسخ یک پرسش دقیقاً در متن باشد و پاسخ پرسش دیگر، حاصل درک متن باشد و درنهایت، از دانش‌آموز بخواهید خودش هم پرسشی مرتبط با متن طرح کند.

◆ از نقشه‌ی مفهومی که یک سازمان‌دهنده‌ی تصویری است و در آن، یک متن علمی از طریق نقشه توضیح داده شده است، استفاده کنید.

◆ نقشه‌های مفهومی یا سازمان‌دهنده‌های تصویری در آموزش و سنجش، ایده‌ی جدیدی هستند که به علت اهمیتشان، لازم است آن‌ها را مرور کنیم.

نقشه‌ی مفهومی

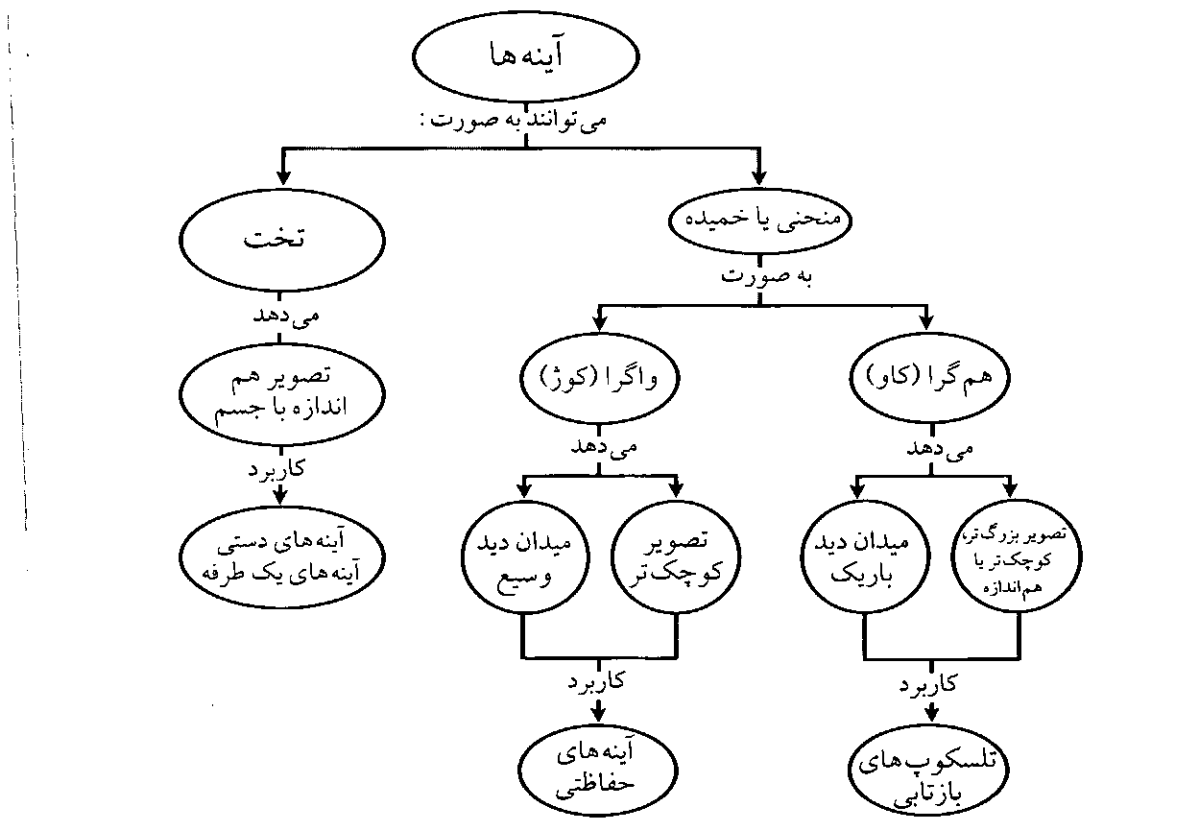
یکی از رویکردهای آموزشی نوین که ریشه در فلسفه‌ی ساخت‌گرایی دارد، استفاده از نقشه‌های مفهومی در مراحل گوناگون آموزش، از طرح و تهیه‌ی محتوا و برنامه درسی گرفته تا مرحله‌ی اجرا و ارزشیابی آن است. براساس نظریه‌ی ساخت‌گرایی، یادگیرندگان شخصاً طرح‌واره‌ها یا نقشه‌های ذهنی خود را می‌سازند. در یادگیری‌های جدید، این طرح‌واره‌ها

بازنگری می‌شوند، گسترش می‌یابند و یا بازسازی می‌شوند. ساخت‌گرایان می‌گویند، دانش قبلی به عنوان چارچوبی برای کسب یادگیری‌های جدید به‌کار می‌رود و اساساً ماهیت تفکر و دانش ما، بر چگونگی یادگیری ما و این که اصلاً چه چیزی را می‌توانیم یاد بگیریم، تأثیر می‌گذارد. نقشه‌های مفهومی نشانگر روش‌های تفکر و درک ما هستند. آن‌ها شاخصی از دیدگاه‌های ما، از آگاهی‌هایمان و روابط بین آن‌ها هستند.

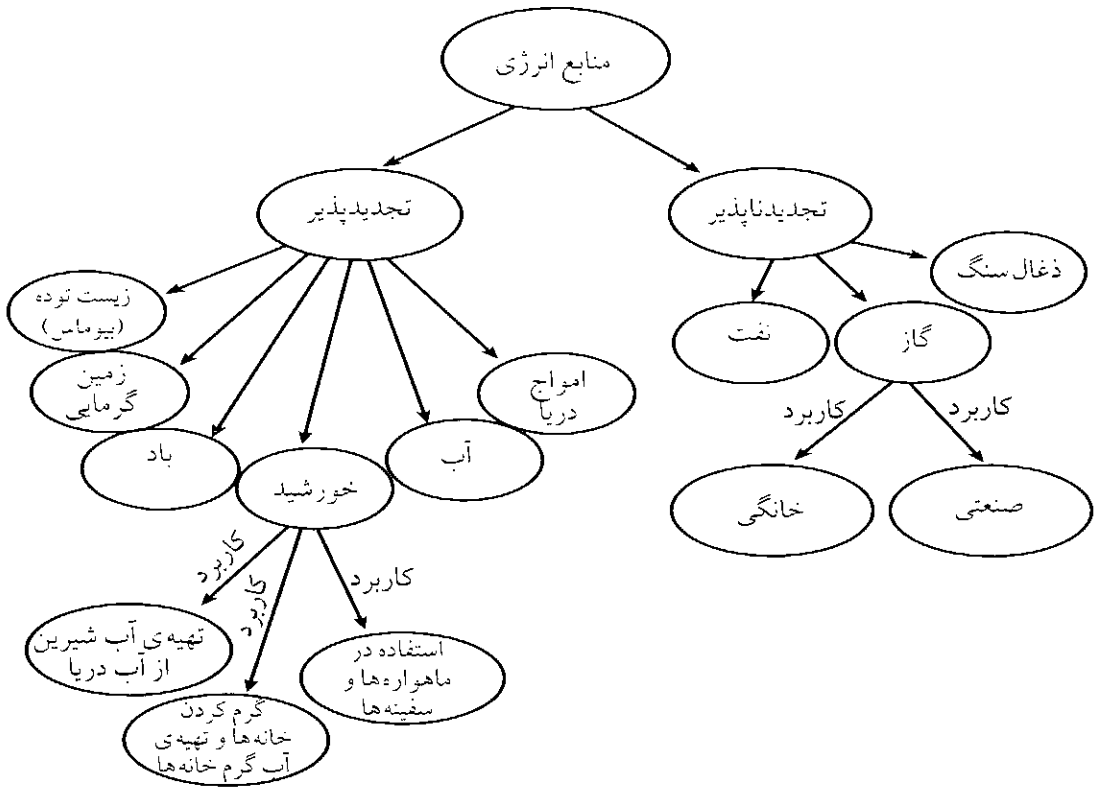
استفاده از نقشه‌ی مفهومی به عنوان یک راهبرد آموزشی، اولین‌بار توسط **نواک**[1] در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ آغاز شد. نقشه‌ی مفهومی برگرفته از مفهوم پیش‌سازمان‌دهنده‌ها در «نظریه‌ی یادگیری معنادار کلامی» **آزوبل**[2] است که در آن بر نقش دانش قبلی فراگیر بر یادگیری‌های معنادار بعدی تأکید زیادی می‌شود. براساس نظریه‌ی آزوبل، مهم‌ترین عامل مؤثر در یادگیری، یادگیری‌های قبلی است. یادگیری معنادار زمانی رخ می‌دهد که شخص آگاهانه دانش جدید را به مطالبی که از قبل می‌دانسته است، ربط دهد. زمانی که یادگیری معنادار رخ می‌دهد، در کل ساختار شناختی تغییراتی به‌وجود می‌آید که باعث می‌شود، هم مفاهیم موجود، و هم ارتباط‌های بین آن‌ها تغییر کنند. نقشه‌های مفهومی معمولاً به‌صورت سلسله‌مراتبی تهیه می‌شوند؛ یعنی مطالب کلی‌تر و جامع‌تر در رأس آن‌ها قرار می‌گیرند و هرچه به پائین نقشه نزدیک شویم، مفاهیم و مطالب جزئی‌تر می‌شوند.

نقشه‌ی مفهومی می‌تواند به عنوان راهبردی آموزشی برای ایجاد یادگیری عمیق‌تر در فراگیران، به‌کار گرفته شود. همچنین، این امکان را فراهم می‌آورد که تجربه و درک گذشته، هنگام تشکیل یک مفهوم جدید، در چارچوبی مفهومی مورد توجه قرار گیرد. نقشه‌های مفهومی در رشته‌های علمی گوناگون به‌عنوان شیوه‌های ارائه‌ی مطالب به‌کار گرفته می‌شوند. آن‌ها راه‌های مناسبی برای سازماندهی اطلاعات مرتبط با یک موضوع یا مسأله هستند. نقشه‌ی مفهومی، هم به معلم و هم به دانش‌آموزان نشان می‌دهد که آن‌ها هنگام کار روی تکالیف یادگیری، باید توجه خود را بر تعدادی ایده‌ی کلیدی متمرکز کنند.

نقشه‌ی مفهومی به زبان بسیار ساده، مجموعه‌ای از منحنی‌های بسته، مانند دایره، مربع، بیضی و... است که با خطوطی جهت‌دار به هم مربوط می‌شوند و در هر کدام، یک اسم یا... می‌آید. این منحنی‌ها روی یک ایده‌ی معین متمرکز شده‌اند و ایده‌ی اصلی یا شاخه‌ی اصلی، به شاخه‌های فرعی (مفاهیم مشخص‌تر) تقسیم می‌شود. از این نقشه‌ها می‌توان در



شکل ۱



شکل ۲

ارزشیابی دانش‌آموزان برای سنجش مفاهیم استفاده کرد. در ادامه، دو نمونه از یک نقشه‌ی مفهومی را مشاهده می‌کنید که به طور کامل تکمیل شده‌اند. (شکل‌های ۱ و ۲)

از نقشه‌ی مفهومی به شیوه‌های زیر می‌توان استفاده کرد:

الف) نقشه‌ی تکمیل نشده‌ای را در اختیار دانش‌آموزان قرار می‌دهیم تا آن‌ها از جعبه‌ی کلماتی که در اختیارشان قرار گرفته است، کلمات مناسب را انتخاب کنند و در جای مناسب قرار دهند.

ب) یک نقشه‌ی مفهومی را که در آن همه‌ی خانه‌ها خالی هستند، به همراه جعبه‌ی کلمات، در اختیار دانش‌آموزان قرار می‌دهیم تا کلمات مناسب را از داخل جعبه انتخاب کنند. بدین ترتیب، نقشه‌ی مفهومی را از قدم اول تکمیل می‌کنند.

پ) در این شیوه، فقط جعبه‌ی کلمات را به دانش‌آموز می‌دهیم و از او می‌خواهیم که یک نقشه‌ی مفهومی بسازد. این شیوه‌ی پرسش، نسبت به دو روش قبل در سطح بالاتری قرار دارد.

ت) در این شیوه، به دانش‌آموز متنی می‌دهیم و از او می‌خواهیم که متن را به دقت مطالعه و نقشه‌ی مفهومی آن را رسم کنند. او باید مفهوم اصلی و مفاهیم فرعی را شناسایی کند و با رسم نقشه و خطوط ارتباطی، مفاهیم اصلی متن را به صورت ساده نشان دهد. البته می‌توان نقشه‌ی مفهومی کاملی را نیز به دانش‌آموزان داد و از آن‌ها خواست، نقشه را به صورت متن درآورند.

زیرنویس:

1. Novak
2. Ausubel

منابع:

۱. احمدی، رضا (۱۳۸۰). «کاربرد روش حل مسأله در آموزش علوم». فصل‌نامه‌ی تعلیم و تربیت. شماره‌ی ۶۵.

۲. رستگار، طاهره (۱۳۸۲). ارزشیابی در خدمت آموزش. مؤسسه فرهنگی منادی.

۳. وزبا، آر. ج.؛ اسپراگ، کی؛ فی‌یل، آر. ال. و فانک، اچ. جیمز. آموزش و ارزشیابی مهارت‌های یادگیری. ترجمه‌ی حسین دانش‌فر و طاهره رستگار (۱۳۷۹).

4. Akinsanya C. and Williams M. (2004). Concept mapping for meaningful learning. Nurse Education Today. v. 24. p. 41-46.

5. Armestrong T. (2000). Multiple Intelligencies in Classroom. 2nd ed. Alexandria. VA: Association for supervision and Curriculm Development.

گامی به جلو در محاسبه‌های کوانتومی*

۱۱ مارس ۲۰۰۴، محققان، بیت‌های کوانتومی پرنده را ایجاد کردند. آن‌ها موفق به دریافت اطلاعات مشترک از یک فوتون و یک اتم شدند. این کار، نقطه‌ی عطف بسیار مهمی در ساخت رایانه‌های کوانتومی است که از لحاظ عملیاتی بسیار سریع‌تر از رایانه‌های متداول هستند.

در رایانه‌ی کوانتومی، به جای استفاده از ترانزیستورها و مدارهای رایانه‌های معمولی، برای پردازش اطلاعات از اتم‌ها و سایر ذرات ریز استفاده می‌شود. بنابه تحقیقی که در مجله‌ی نیچر منتشر شد، هر اتم می‌تواند به عنوان یک بیت حافظه در رایانه عمل کند و جابه‌جایی اطلاعات اتم‌ها از محلی به محل دیگر نیز توسط نور امکان‌پذیر است.

کریس مونرو و همکارانش در «دانشگاه میشیگان» برای ذخیره‌ی اطلاعات، با بهره گرفتن از حالت مغناطیسی اتم، از اتم کادمیم به دام افتاده‌ای در میدان الکتریکی استفاده کردند. در این روش، انرژی توسط لیزر به درون اتم پمپاژ می‌شود و اتم وادار به گسیل فوتونی می‌شود که رونوشتی از اطلاعات اتم را دربردارد و توسط آشکارساز قابل تشخیص است.

به نظر **اوگن پولزیک**، فیزیکدان «دانشگاه آرهوس» دانمارک، بیت‌های متحرک دارای اطلاعات کوانتومی، می‌توانند کیلومترها مسافت را طی کنند. درنتیجه، امکان برقراری ارتباطات کوانتومی از فاصله‌های بسیار دور وجود خواهد داشت.

به عقیده‌ی کریس مونرو، اطلاعات با استفاده از پدیده‌ی درهم‌تنیدگی دو شیئی انتقال می‌یابند. به بیان دیگر، در صورت درهم‌تنیدگی[1]، این دو می‌توانند از نظر فیزیکی در مکان‌های جداگانه‌ای از هم باشند، اما اطلاعات مشترکی در یک زمان داشته باشند.

محققان قبلاً موفق به درهم تنیدن جفت‌هایی از اتم‌ها و جفت‌هایی از الکترون‌ها شده بودند، اما این اولین‌بار است که دانشمندان توانسته‌اند، درهم‌تنیدگی یک تک‌فوتون و یک تک‌الکترون را مشاهده کنند. این پدیده به نظر کریس مونرو احتمالاً در آزمایش‌های دیگری نیز تکرار خواهد شد، اما به هرحال پدیده‌ای غیرقابل انتظار و دور از تصور می‌نمود.

ظاهر شدن بیت‌های شبح‌وار

ذخیره‌ی اطلاعات در رایانه‌ها به صورت سری‌هایی از بیت‌ها با حالت‌های روشن و خاموش صورت می‌گیرد. در اتم کادمیم، در صورتی که میدان‌های مغناطیسی کوچک هسته و الکترون‌های بیرونی در یک جهت قرار بگیرند، روشن و اگر در خلاف جهت باشند، خاموش محسوب می‌شود. به نقل از کریس مونرو، اتم کادمیم در هریک از این حالت‌ها که باشد، می‌تواند هزاران سال در همان حالت بماند.

در دنیای کوانتومی، پدیده‌ها متفاوت هستند. نکته‌ی اصلی در این‌جاست که اتم کادمیم در یک لحظه می‌تواند هم در حالت روشن باشد و هم در حالت خاموش. این ابهام، کارکردی فراتر از گستره‌ی عادی را برای رایانه‌های کوانتومی به‌وجود می‌آورد، زیرا داده‌های عظیمی را به گروهی از اتم‌ها می‌دهد که این اتم‌ها می‌توانند از طریق درهم‌تنیدگی اطلاعاتشان را به اشتراک بگذارند.

درهم‌تنیدگی از جهتی شبیه به شکستن یک سکه به دو تکه است که با مشاهده‌ی هر کدام می‌توان به شکل و مشخصات دیگری پی برد. زیرا دو تکه به صورت مشترک، اطلاعات سکه‌ی کامل را دراختیار دارند. به عبارت دیگر مشاهده‌ی یک تکه، ویژگی‌های تکه‌ی دوم را کاملاً روشن می‌سازد؛ حتی اگر کیلومترها از هم دور باشند.

کریس مونرو در این باره می‌گوید: «اینشتین این موضوع را عملکرد شبح‌وار در فاصله‌های زیاد نامید. درواقع شبیه به ارتباط دو تکه‌ی درهم‌تنیده، توسط سیم‌هایی نامرئی است که ما از آن اطلاعی نداریم، اما برای محاسبه‌های کوانتومی اصلی کلی است.»

گام بعدی مونرو، آزمایش دو سیستم مشابه در کنار هم و درهم‌تنیدن دو فوتون مربوطه است. او امیدوار است، این امر به درهم‌تنیدگی از راه دور دو اتم کادمیم بینجامد که راهگشای بخش اساسی دیگری از رایانه‌های کوانتومی است.

زیرنویس:

1. Entanglement

منبع:

http://www.nature.com

* برگرفته از خبرنامه‌ی نانوتکنولوژی (شماره‌ی ۵۹ـ نیمه‌ی اول اردیبهشت ۸۳)

ساده‌سازی مفاهیم فیزیک با مثال‌های آشنا

حشمت کاکا

اشاره:

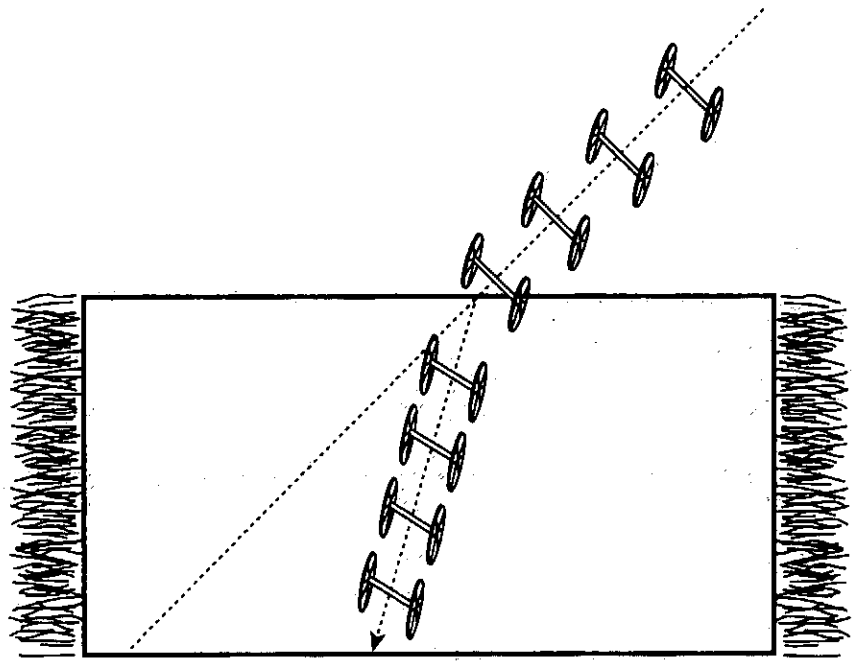
بعضی از دانش‌آموزان قادرند با استفاده از فرمول‌ها، مسأله‌های فیزیک را حل کنند، ولی به دلیل این که مفاهیم فیزیکی مربوطه را درک نکرده‌اند، درون خود احساس خشنودی زیادی نمی‌کنند. در موارد زیادی می‌توان با مثال‌های مناسب، ساده و آشنا که با پدیده‌ی مورد نظر ما مشابهند، مفاهیم پدیده‌ها و کمیت‌های فیزیکی را برای آن‌ها آسان و قابل لمس کرد.

مثال‌هایی را که در این جا می‌آورم، در کلاس‌های خود به کار برده و پاسخ نسبتاً خوبی از سوی دانش‌آموزان دریافت کرده‌ام. البته ممکن است هر مثال، فقط برخی از جنبه‌های هر پدیده را روشن کند و برای روشن شدن همه‌ی ابعاد یک پدیده، به چندین مثال نیاز باشد. باید توجه داشت، گاهی نیز ساده‌سازی بیش از حد، به اصل مسأله صدمه می‌زند.

مثال ۱. شکست نور

هنگامی که نور به طور مایل از یک محیط شفاف به محیط شفاف دیگری وارد می‌شود، مسیر آن تغییر می‌کند. مثالی که در این جا می‌زنیم با این پدیده مطابقت دارد. کف اتاقی را در نظر بگیرید که بخشی از آن فرش شده و بخشی از آن موزاییک است. هنگامی که قرقره‌ای به طور مایل از قسمت موزاییک به قسمت فرش شده می‌رسد، تغییر مسیر می‌دهد (شکل ۱)؛ درست همان گونه که در شکست نور اتفاق می‌افتد. همین طور اگر قرقره به طور عمود به طرف قسمت فرش شده حرکت کند، مسیر آن تغییر نمی‌کند. همین اتفاق برای پرتو نوری که به طور عمود به محیط شفاف جدید می‌رسد نیز می‌افتد.

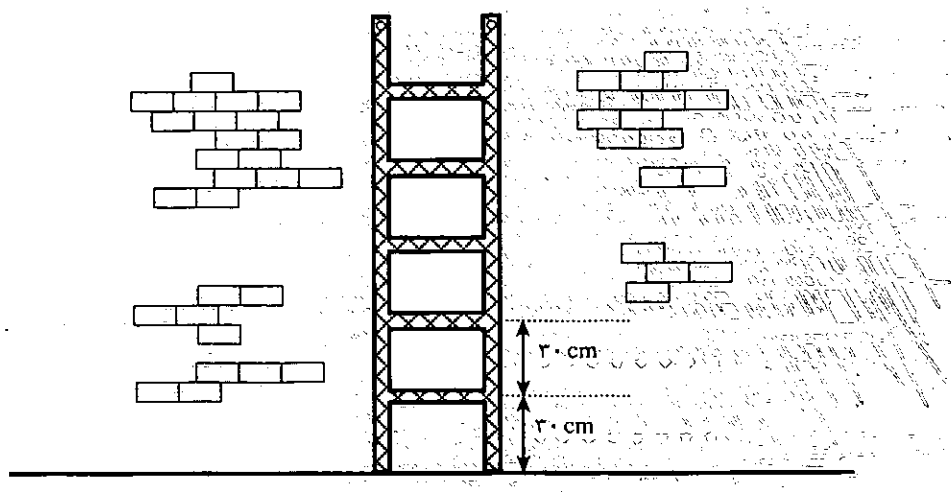
علاوه بر این می‌دانیم که هر چه ضریب شکست یک ماده‌ی شفاف، بیش‌تر باشد، سرعت نور در آن کم‌تر است. دیده می‌شود که قرقره هنگام ورود به قسمت فرش شده، آهسته‌تر حرکت می‌کند، یعنی سرعت آن کاهش می‌یابد. زیرا نسبت محیط فرش شده به محیط موزاییک شده، مانند نسبت محیط شفاف با ضریب شکست بیش‌تر، به محیط با ضریب شکست کم‌تر است.



شکل ۱

□ مثال ۲ . گسسته بودن انرژی

انرژی الکترون در اتم کوانتیده است . یعنی فقط می‌تواند مقادیر معینی داشته باشد . نردبانی را در نظر بگیرید که به دیواری محکم شده و فاصله‌ی **پله‌های** آن از یکدیگر ۳۰ سانتی‌متر باشد (شکل ۲) . بدیهی است که تنها ارتفاع‌های ممکن نسبت به سطح زمین برای پاگذاشتن ۳۰ ، ۶۰ ، ۹۰ ، ۱۲۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر هستند و مثلاً در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر جای پایی وجود ندارد . یعنی اگر پای شخص در ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر باشد ، یا باید مقداری بالاتر برود و به پله‌ای در ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر برسد ، یا مقداری پائین‌تر بیاید و به پله‌ای در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر برگردد ؛ درست همین گونه است الکترون در اتم که نمی‌تواند برای مدت طولانی بین دو تراز مجاز بماند و باید با از دست دادن یا گرفتن انرژی ، به تراز مجاز پائین‌تر یا بالاتر برود .



شکل ۲

ـ مثال ۳ . سمت گیری دو قطبی های مغناطیسی

دو قطبی های مغناطیسی کوچک در مواد پارامغناطیس، سمت گیری کاتوره‌ای و تصادفی دارند و تنها پس از قرار گرفتن در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی، همسو می شوند. همین طور، بلافاصله پس از قطع میدان خارجی، دوباره سمت گیری کاتوره‌ای پیدا می کنند. می توان مواد پارامغناطیس را به پادگانی تشبیه کرد که در آن دو قطبی های مغناطیس کوچک سربازها هستند و میدان مغناطیسی خارجی نقش فرمانده را دارد. البته این سربازها خیلی سربه‌راه و نظم‌پذیر نیستند و در غیاب فرمانده، هر کدام آزادانه در جهتی حرکت می کنند. تنها هنگام حضور فرمانده‌ای قدرتمند، همگی آن‌ها همسو می شوند، اما بلافاصله پس از رفتن فرمانده، دوباره جهت گیری آن‌ها کاتوره‌ای می شود و به همان وضعیتی برمی گردند که قبل از حضور فرمانده داشتند. نظیر همین مثال را برای فرّومغناطیس ها نیز می توان زد.

□ مثال ۴ . مواد رسانا و نارسانای الکتریسیته

اگر بارهای الکتریکی اتم‌های یک ماده با گرفتن انرژی کمی از یک عامل خارجی، از اتم خود جدا و درون ماده جابه‌جا شوند، می گوییم آن ماده رسانای الکتریسیته است. اما اگر انرژی بسیار زیادی برای این کار لازم باشد، ماده را نارسانا می نامیم. به جای یک قطعه از ماده، کوچه‌ای را در نظر بگیرید که خانه‌های دو طرف آن و بچه هایی که در خانه‌ها هستند، نقش اتم‌ها و الکترون های درون آن‌ها را دارند.

عامل تأمین کننده‌ی انرژی (منبع ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی)؛ در این جا فروشنده‌ی دوره‌گردی است که جار می‌زند و برای فروش اجناس خود به بچه‌ها، تبلیغ می کند. در خانه هایی که پدر قدرتمند و سخت گیری حضور دارد، بچه‌ها نه می توانند تحرک زیادی داشته باشند و نه مجاز به خروج از خانه و راه افتادن به دنبال فروشنده‌ی دوره‌گرد (و ایجاد جریان) هستند. این وضعیت درست مانند ماده‌ی نارساناست. اما در خانه هایی که اولیا خیلی سخت‌گیر نیستند، از هر خانه یک یا چند بچه به راحتی خارج می شود و به دنبال فروشنده راه می افتد و جریانی به وجود می آید. این وضعیت مانند جسم رساناست.

□ مثال ۵ . محتمل‌ترین مکان برای حضور الکترون

این مثال را از یکی از استادانم[۲] نقل می کنم: هنگام غروب که گله‌ی گاوها از چراگاه به سوی خانه برمی گردند، درصد زیادی از گاوها از وسط جاده عبور می کنند؛ یعنی احتمال حضور آن‌ها در وسط جاده بیش‌تر است. احتمال آن که گاوها از کناره‌های جاده بگذرند، صفر نیست. ولی خیلی کم است؛ به این معنی که تعداد کمی از گاوها نیز ممکن است از لبه های جاده بگذرند. گاوها را می توان به الکترون در اتم و خط وسط جاده را مدار حرکت الکترون به دور هسته تشبیه کرد. از دیدگاه نظریه‌ی کوانتومی و نظریه‌ی اوربیتالی، احتمال حضور الکترون به دور هسته، در یک ناحیه بیش‌تر است (اوربیتال)، اما احتمال حضور آن در جاهای دیگر مخالف صفر، ولی بسیار کم است.

ـ مثال ۶ . یونیده شدن اتم

مطابق نظریه‌ی بور، انرژی الکترون در تراز اول اتم هیدروژن ۱۳/۶ - الکترون ولت است؛ یعنی باید ۱۳/۶ الکترون ولت انرژی به آن داده شود تا از اتم جدا شود؛ یعنی اتم یونیده شود. اگر کم‌تر از این مقدار انرژی بگیرد، از قید اتم جدا نمی شود.

می توانیم این وضعیت را به شخصی تشبیه کنیم که در ته چاهی به عمق ۱۳/۶ متر گرفتار شده است (چاه پتانسیل). اگر شخص را به وسیله‌ی یک طناب، به اندازه‌ی ۱۳/۶ متر بالا بکشیم، به لبه‌ی چاه می رسد و از آن خارج می شود. بدیهی است که اگر کم‌تر از این مقدار آن را بالا بکشیم، نمی تواند از قید چاه رهایی یابد.

در برخی منابع، مثال هایی از این قبیل برای تفهیم ترکیب مقاومت‌ها به صورت موازی یا متوالی، رابطه‌ی مقاومت رسانا با سطح مقطع و... زده شده است که در آن‌ها، الکترون‌ها و مقاومت سر راهشان به تعدادی دونده و پل هایی که در مسیر مسابقه قرار دارند، تشبیه شده است [۲ و ۱].

هر معلم علاقه‌مندی می تواند، مثال های مناسبی از این دست را بیابد و در کار خود استفاده کند.

زیرنویس:

۱. بخش های انتخاب شده از این مقاله، با توجه به ماهیت تجربی آن بدون دخل و تصرف هیأت تحریریه آورده شده است.

۲. دکتر مجتبی جعفرپور، عضو هیأت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز.

مراجع:

۱. پورقاضی، اعظم؛ شیوایی، سید مهدی؛ عزیزی، حسن؛ محمودزاده، غلامعلی. فیزیک ۱ و آزمایشگاه. شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران، تهران، ۱۳۸۱.

۲. وارن، پیتر. الکتریسیته به زبان ساده. ترجمه‌ی محمدحسین باجور. شرکت به‌نشر، آستان قدس رضوی، ۱۳۷۲.

گزارش مرحله ی کشوری

جشنواره ی روش های فعال تدریس فیزیک

مرحله کشوری

کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه

با معلمان فیزیک ایران، تیرماه ۸۴ در زنجان

«قدرت بی کران تغییر، همیشه در مغزها، دست ها و قلب های معلمانی بوده و هست که در مدرسه ها کار می کنند»

کلارک

فاطمه ابراهیمی بادی

از ۱۹ تا ۲۲ تیرماه امسال، شهر زنجان میزبان یکی از مهم‌ترین جشنواره‌ها، یعنی دومین جشنواره‌ی روش‌های فعال تدریس فیزیک (مرحله‌ی کشوری) بود. چند سالی است که به همت «دفتر آموزش‌های نظری و پیش‌دانشگاهی» وزارت آموزش و پرورش، این جشنواره برگزار می‌شود و تاکنون، استان‌های تهران و زنجان میزبان آن بوده‌اند.

جشنواره خیلی ساده شروع شد. ابتدا فقط یک فکر بود: چه‌قدر خوب خواهد بود اگر همکاران دبیر بتوانند، فعالیت‌هایی را معرفی کنند که در زمینه‌ی ایجاد انگیزه در دانش‌آموزان برای تدریس موفق در کلاس فیزیک مناسب هستند. در آن زمان، هیچ چیز مشخص نبود. آیا این تجربه‌ی جدید می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد و آیا این ایده درست است؟ اجرای آن در چند سال اخیر نشان داده که این ایده درست بوده است.

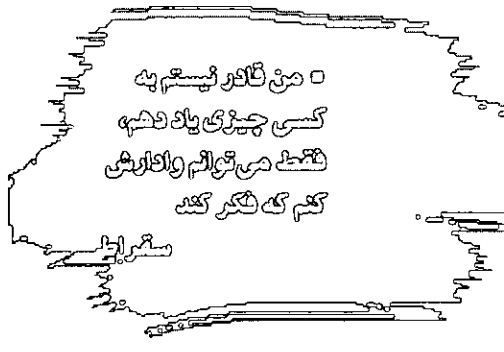
در حالی که برای شرکت در دومین مرحله‌ی کشوری جشنواره‌ی روش‌های فعال تدریس فیزیک، عازم زنجان بودم، از خود می‌پرسیدم، نحوه‌ی تدریس همکاران امسال چگونه خواهد بود؟ وارد زنجان شدم و طبق اطلاعاتی که از مکان اجرا و اسکان داشتم، به محل پذیرش، یعنی «باشگاه فرهنگیان زنجان» رفتم.

در باشگاه فرهنگیان زنجان، همکاران به تدریج از استان‌های گوناگون می‌آمدند و بازار سلام و علیک و احوال‌پرسی به راه بود. از همدیگر می‌پرسیدند: امسال در تدریس چه روشی ارائه می‌کنید؟ آن‌هایی که تجربه‌ی قبلی نداشتند، از آن‌ها که تجربه داشتند، می‌پرسیدند: شما چه روشی داشتید که دوره‌ی قبل رتبه آوردید؟ و دوستان با تجربه‌تر، با چه شور و شوقی جواب می‌دادند. برخی هم می‌گفتند: روز اجرا خواهید دید، چه روشی داریم. چون می‌خواهیم برای شما غیرمنتظره بوده و تازگی داشته باشد.

• **پیام یونسکو به مناسبت سال جهانی فیزیک (۲۰۰۵ میلادی):**
Physics enlightens The world»
فیزیک دنیا را روشن می‌کند»

یک‌شنبه ۱۹ تیرماه، روز افتتاحیه‌ی جشنواره بود. ساعت ۲۱:۳۰ جلسه‌ی توجیهی جشنواره شروع شد که ضمن خیرمقدم‌گویی به معلمان برگزیده‌ی کشور و حاضران، روند اجرایی جشنواره توسط مدیر اجرایی جشنواره توضیح داده شد. وی درباره‌ی این‌که چرا زنجان به عنوان میزبان انتخاب شده است، اظهار داشت، سه سال است که «دبیرخانه‌ی راهبری درس فیزیک»، در آموزش و پرورش زنجان مستقر شده است و بحث هدایت علمی و آموزشی فیزیک را بر عهده دارد. به همین دلیل، زنجان به عنوان برگزارکننده‌ی جشنواره‌ی روش‌های نوین تدریس انتخاب شده است. او افزود: در پایان جشنواره پنج نفر بر مبنای امتیازات داده شده، به عنوان نفرات برگزیده انتخاب می‌شوند و پنج نفر دیگر که امتیازی کسب نکرده‌اند، ولی ویژگی‌های خاصی داشته‌اند، به عنوان نفرات برتر معرفی می‌شوند.

در خصوص برنامه‌ی تدریس دبیران حاضر در جشنواره نیز گفته شد که هر دبیر ۳۰ دقیقه فرصت دارد، تدریس خود را ارائه دهد و در این مدت باید بتواند، هم روش تدریس و هم محتوای علمی را ارائه دهد. پنج داور مسؤول امتیازبندی هستند و ترکیب داوران عبارت است از: یک داور متخصص روش‌های فعال تدریس، یک داور روان‌شناسی، یک داور متخصص فناوری آموزشی، دو داور متخصص درس فیزیک.



همان شب در ادامه‌ی جلسه‌ی توجیهی، مسابقه‌ای نیز برای دبیران ترتیب داده شد و آن‌ها با پاسخ به سؤالات، در این مسابقه شرکت کردند.

روز دوشنبه ۲۰ تیرماه، از ساعت ۸ صبح ارائه‌ی تدریس دبیران برگزیده طبق برنامه‌ی تنظیمی و جدول زمانبندی شروع شد و تا حدود ساعت ۱۹ ادامه یافت. جالب بود، همکاران شرکت‌کننده که اجرای آن‌ها روز دوشنبه نبود، با علاقه‌ی قابل توجهی برای مشاهده‌ی اجرای تدریس‌ها در جلسه حضور می‌یافتند و به نقاط قوت و ضعف تدریس‌ها توجه می‌کردند. برگزاری این‌گونه جشنواره‌ها، هرچند گام کوچکی است، ولی می‌تواند بسیارمؤثر باشد. جای خوشحالی است که ضرورت برگزاری آن‌ها به خوبی درک شده است.

جشنواره‌ی الگوهای برتر تدریس طی دو مرحله با حضور دبیران علاقه‌مند کشور برگزار می‌شود. مرحله‌ی اول در سطح شهرستان‌ها، مناطق و نواحی، مرحله‌ی دوم در سطح استان‌ها و سپس مرحله‌ی نهایی در سطح کشور، با حضور دبیران منتخب استان‌ها برگزار می‌شود. در طول برگزاری این جشنواره در «کانون سهروردی زنجان»، برگزیدگان استان‌ها، روش تدریس خود را که در استانشان به عنوان بهترین روش تدریس برگزیده شده بود، در محیطی شبیه کلاس واقعی ارائه می‌دادند. کل محتوای کتاب به ۲۹ قسمت (به تعداد استان‌های شرکت‌کننده در جشنواره) تقسیم شده بود. در پایان جشنواره، تمام کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه توسط منتخبان کشور تدریس شد و مجموعه‌ی باارزشی از تجربه‌های استان‌های گوناگون کشور در قالب فیلم و طرح درس گردآوری شد که قرار است پس از تدوین، به صورت نرم‌افزار و کتاب برای استفاده‌ی دبیران علاقه‌مند در سطح مدرسه‌های متوسطه کشور توزیع شود.

«سازمان آموزش و پرورش استان زنجان»، به عنوان میزبان این جشنواره، در راستای اجرای مطلوب جشنواره نهایت تلاش خود را مبذول داشت و از آن‌جا که قریب چهار روز میزبانی عزیزان همکار را داشت، با برپایی برنامه‌های جنبی تفریحی و سیاحتی، کوشید خستگی سفر و فعالیت‌های جشنواره را برطرف کند که از آن جمله بود، اجرای موسیقی، و بازدید از موزه و مکان‌های سیاحتی، مثل گنبد سلطانیّه، غار کتله خوران و...

به نظر من، این‌گونه گردهمایی‌ها، چون علاوه بر کار علمی، کسب تجربه هم هستند و همچنین در آن‌ها با دبیران زیادی آشنا می‌شویم، دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای هستند. یکی از مشکلات فرهنگی ما این است که معمولاً در انجام کارهای گروهی ضعیف هستیم و مقوله‌ی آموزش و پرورش نیز از این دایره مستثنا نیست. نکته‌ی قابل توجه در اجرای جشنواره این بود که تدریس‌های ارائه شده به روش فعال، به صورت گروهی بودند و این نکته بسیار نویدبخش است. دانش‌آموز از همین حالا یاد می‌گیرد که چگونه همراه با چند نفر کار کند. همه‌ی دانش‌آموزان هم می‌دانند که هیچ یک از اعضای گروه نمی‌تواند موفق شود، مگر این‌که تمام اعضا موفق شوند. آنچه که مهم است، گروهی کار کردن آن‌هاست؛ حال چندان مهم نیست که حتماً کار علمی کنند. یاد می‌گیرند چگونه نظرات یکدیگر را تحمل کنند، کار را تقسیم کنند و

• مهم‌ترین پیام حرفه‌ای برای معلم این است: معلم باید بتواند به نسل حاضر یاد بدهد که چگونه یاد بگیرد

در ارائه و انجام آن با هم بکوشند.

منظور این است که علوم را باید از راه مشاهده آموخت و دانش‌آموز خود باید تجربه کند. آیا ما دانش‌آموزان را پرورش می‌دهیم تا بر اساس آگاهی قضاوت کنند، یا بر اساس تعصب و کوته‌فکری؟ آیا به چراهای آن‌ها پاسخ می‌دهیم؟ ما می‌خواهیم دانش‌آموزان پرسشگر شوند و به عقاید هم احترام بگذارند. مسؤولیت‌پذیر باشند و بتوانند تصمیم بگیرند. بنابراین، باید مهارت‌ها و توان آن‌ها را ارتقا دهیم. باید حواس دانش‌آموزان را تقویت کنیم تا خوب ببینند، خوب گوش بدهند و خوب لمس کنند.

روز دوشنبه ۲۰ تیرماه، ساعت ۱۰ : ۱۹ آخرین تدریس آن روز تمام شد و ساعت ۲۱، برنامه‌ی گفت‌وگویی با حضور استاد گرانمایه، جناب آقای پروفسور ثبوتی برگزار شد. ایشان پس از صحبت‌هایی در مورد سرگذشت علم فیزیک گفتند: «اگر مسأله‌ای در عقل ما نمی‌گنجد، به خاطر این است که تجربه‌ی آن را نداریم.»

به هر حال، محیط کاملاً علمی بود و شوق برانگیز، و بحث و گفت‌وگوی علمی، سؤال و اظهارنظر بین همکاران بازارگرمی داشت. در ساعات خارج از اجرا و در پایان تدریس‌ها، هیچ یک از همکاران را نمی‌شد تنها و بی‌کار گیر آورد! همه سخت سرگرم بحث درباره‌ی یک مطلب علمی و مواردی از این دست بودند.

روز سه‌شنبه ۲۱ تیرماه نیز فرا رسید. هرچه به روز اختتامیه جشنواره نزدیک می‌شدیم، هیجان‌ها بیش‌تر می‌شد. سؤال این بود: کدام تدریس‌ها از کدام استان‌ها جزو تدریس‌های برگزیده خواهند بود؟ همکاران یکی پس از دیگری طبق برنامه‌ی تنظیم شده، تدریس خود را ارائه می‌دادند. روز سه‌شنبه هم با تمام جذابیت‌ها و تجربیاتی که برای همه‌ی ما داشت، سپری شد. در ساعت ۱۸ : ۳۰ آخرین تدریس آن روز و آخرین تدریس جشنواره‌ی دوم کشوری روش‌های تدریس فعال فیزیک سال ۸۴ به پایان رسید و ساعت ۲۰ شب، در «مجتمع تفریحی ایل داغی»، از همکاران شرکت‌کننده پذیرایی شد. سعی می‌کردیم با توجه به معیارها حدس بزنیم، چه تدریس‌هایی برنده‌ی جایزه‌ی تدریس برگزیده خواهند شد. اما باید در هر حال تا روز آخر جشنواره، یعنی چهارشنبه ۲۲ تیرماه و مراسم اختتامیه صبر می‌کردیم.

■ ۵ نفر برگزیده عبارتند از:
۱ـ داود انصاری، گیلان
۲ـ خانم فاطمه رجبی، قزوین
۳ـ آقای ناصر محمدی‌پور، کردستان
۴ـ فریبا ملکی، زنجان
۵ـ زینب میرزایی، سمنان

عاقبت روز چهارشنبه ۲۲ تیرماه فرا رسید. ساعت ۸ : ۳۰ صبح، سالن اجتماعات کانون سهروردی، سالنی که روزهای قبل محل ارائه‌ی تدریس‌های فعال همکاران بود. حالا آماده‌ی پذیرایی و حضور همه‌ی همکاران شده بود. در نگاه تمام شرکت‌کنندگان شادابی موج می‌زد. همه منتظر اعلام نتایج بودند. رأس ساعت ۸ : ۳۰، بعد از تلاوت قرآن کریم و اجرای سرود، آقای دادخواه، رئیس سازمان آموزش و پرورش استان زنجان، در جمع همکاران صحبت کردند و پس از سخنان ایشان، ساعت ۹ صبح آقای نویدادهم، معاون وزیر و رئیس سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی سخنانی ایراد کردند.

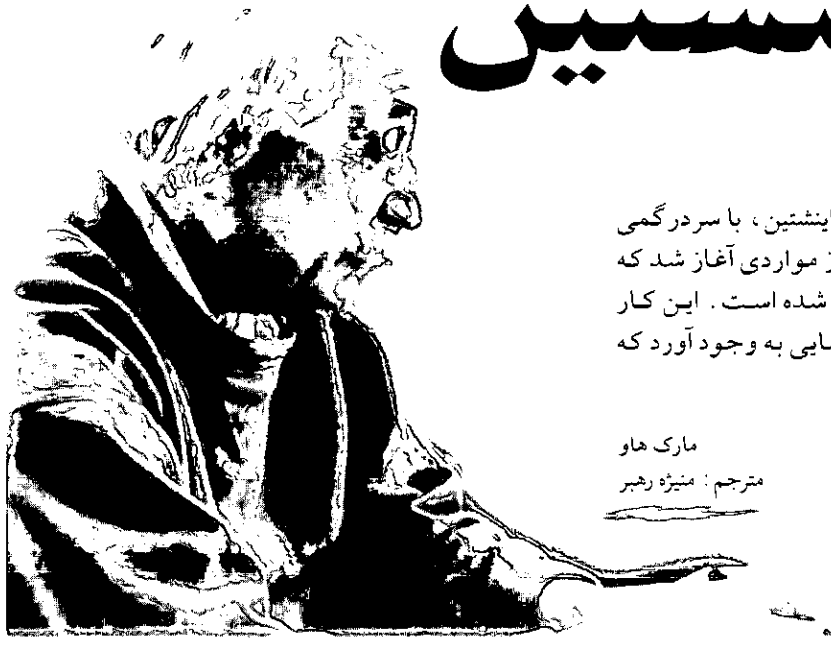
■ ۵ نفر ویژه
۱ـ زهرا علی‌اکبری، یزد
۲ـ ناصر بصیری، اصفهان
۳ـ خانم ملیحه جعفری، مرکزی
۴ـ طیبه مصری، سیستان و بلوچستان
۵ـ افسانه کرمی‌پور، فارس

در تمام لحظاتی که سخنرانی‌ها ارائه می‌شدند، و حتی هنگام اجرای موسیقی سنتی، همه منتظر قرائت گزارش هیأت داوران بودند. در بخشی از این گزارش چنین آمده بود: «هیأت داوران براین باور است که تمام تدریس‌های ارائه شده در جشنواره از رشد کیفی خوبی برخوردار بوده‌اند.» بعد از گزارش داوری، نماهنگی پخش شد و لحظه‌ی اهدای جوایز فرا رسید. با خواندن نام همکاران برگزیده و برتر، جوایز آن‌ها اهدا شد.

سرانجام مراسم اختتامیه در ساعت ۱۲ پایان یافت و عملاً جشنواره‌ی روش‌های فعال تدریس سال ۸۴ به کارش خاتمه داد و باز لحظات سخت خداحافظی فرا رسید. بازار عکس یادگاری گرم گرم بود! همه، هم خوشحال بودیم و هم ناراحت؛ ناراحت از این که جشنواره‌ی امسال تمام شد و خوشحال از این که امسال توانستیم دراین جمع باشیم و با همکاران جدیدی آشنا شویم. چه‌قدر دلم می‌خواهد که موفقیت همه‌ی همکاران را در جشنواره‌های بعدی و در سال‌های آینده ببینم.

بعدازظهر همان روز زنجان را ترک کردم، در حالی که به «همکاران برگزیده‌ی فیزیک در زنجان» فکر می‌کردم و فکر می‌کردم: جشنواره‌ی بعدی روش‌های فعال تدریس فیزیک در کدام استان و در چه سالی برگزار می‌شود؟

قدم زدن کاتوره‌ای اینشتین



اشاره:

داستان حرکت براونی، پیش از اینشتین، با سردرگمی تجربی و مباحثه‌ی فلسفی در یکی از مواردی آغاز شد که نقش اینشتین در آن کم‌تر شناخته شده است. این کار شالوده‌ای نظری برای اندازه‌گیری‌هایی به وجود آورد که واقعیت اتم‌ها را نمایان ساخت.

مارک هاو

مترجم: منیژه رهبر

بیش‌تر ما احتمالاً مطالبی را درباره‌ی حرکت براونی در دبیرستان شنیده‌ایم. در آن‌جا به ما یاد داده‌اند که دانه‌های گرده‌ی موجود در آب، به واسطه‌ی برخورد با میلیون‌ها مولکول نامرئی، به صورت کاتوره‌ای حرکت می‌کنند. اما چند نفر از ما می‌دانیم که کار اینشتین درباره‌ی حرکت براونی بود که به ژان پرن[1] و دیگران، امکان اثبات واقعیت مولکول‌ها و اتم‌ها را داد؟

تحلیل اینشتین در تعدادی از نشریه‌ها، از جمله رساله‌ی دکترای خود او، ارائه شد که با مقاله‌ای در «آنالن در فیزیک»[2] در سال ۱۹۰۵ آغاز شد. نظریه‌ی اینشتین نشان داد چگونه حرکت براونی این امکان را فراهم می‌سازد که تجربه‌گران، وجود مولکول‌ها را اثبات کنند؛ گرچه به اندازه‌ای کوچک هستند که امکان مشاهده‌ی مستقیم آن‌ها وجود ندارد.

حرکت براونی یکی از سه دستاورد اینشتین در سال ۱۹۰۵ بود. دستاوردهای دیگر او نسبیت خاص و ایده‌ی کوانتوم‌های نور بودند. از این سه کار بزرگ، تحلیل اینشتین از حرکت براونی از همه ناشناخته‌تر است. اما این بخش از میراث علمی اینشتین، کلید انقلابی بود که اهمیت آن لااقل به همان اندازه‌ی نسبیت و فیزیک کوانتومی است. پس از یک قرن، هنوز حرکت براونی در علم جدید، از فیزیک گرفته تا زیست‌شناسی و تا آخرین شگفتی‌های نانوفناوری، دارای اهمیت بی‌اندازه است. در واقع، این موضوع از آمار ارجاع به این کار نمایان می‌شود که نشان می‌دهد، به مقاله‌های اینشتین درباره‌ی حرکت براونی، ارجاعی بسیار بیش‌تر از نسبیت خاص یا اثر فوتوالکتریک صورت گرفته است.

داستان حرکت براونی تقریباً دو سده را دربرمی‌گیرد. ریشه‌های نامحتمل آن در موجی علمی بود که در آغاز سال‌های ۱۸۰۰، اروپای غربی را درنوردید و شروع آن، به صورتی شگفت‌انگیز، مربوط به کار یک گیاه‌شناس بود، نه یک فیزیکدان.

گیاه‌شناسی براون

در اوایل قرن نوزدهم، اروپایی‌ها دلباخته‌ی گیاه‌شناسی بودند. در بریتانیا، اکتشاف‌های انجام شده در گوشه و کنار

امپراتوری در حال رشد، به ویژه در استرالیا یا «هلند نو» که در آن زمان به این نام مشهور بود، به این علاقه دامن می‌زد. یکی از نخستین کسانی که توجه گیاه‌شناسانه‌ی خود را به هلند نو معطوف کرد، **رابرت براون**[۳] بود، که در تپه‌های اسکاتلند بزرگ، و به گیاه‌شناسی علاقه‌مند شده بود.

براون پس از به‌دست آوردن مدرکی در پزشکی از دانشگاه ادینبرا و گذراندن دوره‌ی کوتاهی در ارتش که بیش‌تر آن را صرف جمع کردن نمونه‌ها در ایرلند کرده بود، در سال ۱۸۰۱ پستی را به عنوان «گیاه‌شناس کشتی» در مأموریت به استرالیا به‌دست آورد. با پذیرفتن خطر حمله از جانب ناوگان ناپلئون، براون چهار سال را صرف اکتشاف در استرالیا و سواحل تاسمانی کرد. سپس با هزاران نمونه‌ی جدید به لندن بازگشت، و شهرت خود را به عنوان یکی از پیشگامان گیاه‌شناسی در اروپا تثبیت کرد.

اما براون به چیزی بیش از گردآوری و فهرست‌بندی گونه‌های متفاوت علاقه‌مند بود؛ او یکی از پیشگامان پژوهش علمی در گیاه‌شناسی بود. در واقع، امتیاز اولین توصیف علمی هسته‌ی سلول به او داده شده است. **چارلز داروین**[۴] قبل از عزیمت به «بیگل»[۵] در سال ۱۸۳۱، برای راهنمایی به براون مراجعه کرد. در واقع، موج گیاه‌شناسی که در آن براون نقش مؤثری داشت، شالوده‌های ضروری نظریه‌ی تکامل داروین را به وجود آورد. البته براون، به واسطه‌ی حرکت براونی، در بین فیزیکدانان شهرت بیش‌تری دارد.

براون در تابستان ۱۸۲۷، کار مشاهده‌ی میکروسکوپی ذرات معلق آزاده شده از بسته‌های گرده‌ای را آغاز کرد که از نوعی پامچال مشهور به «**کلارکیا پوشلا**»[۶] گرفته شده بودند. براون از مشاهده‌ی آنچه که دید شگفت‌زده شد. دانه‌های ریز معلق در آب در حرکت مداوم بودند و رقص خستگی‌ناپذیر و آشوبناکی را به نمایش می‌گذاشتند. به نظر می‌رسید که این حرکت هرگز کُند یا متوقف نمی‌شود. علاوه بر این، براون ثابت کرد که عوامل خارجی چون نور یا دما باعث این حرکت نمی‌شدند. او ایده‌ی نخستین خود را که دانه‌ها دارای نوعی حیات هستند، با بررسی دانه‌های مواد معدنی به سرعت کنار گذاشت. بنابراین، براون نشان داده بود که این رقص بی‌وقفه هرچه بود مربوط به زیست‌شناسی نمی‌شد، بلکه مربوط به فیزیک بود.

کنجکاوی و پارادوکس: حرکت براونی و نظریه‌ی جنبشی

برای چند دهه، کسی اصلاً متوجه اهمیت مشاهده‌های براون نشد. چند دانشمند گاهی به این پدیده رجوع می‌کردند، ولی این کار صرفاً ناشی از کنجکاوی بود و این ناشی از بدشانسی براون بود، چون حرکت براونی روشی را برای آشتی دادن پارادوکس موجود بین دو موضوع مهم فیزیک آن زمان، یعنی «ترمودینامیک» و «نظریه‌ی جنبشی گازها» را در اختیار می‌گذاشت.

قانون‌های ترمودینامیک یکی از بهترین دستاوردهای فیزیک در میانه‌ی قرن نوزدهم بودند. به کمک آن‌ها، شناخت گسترده‌ی وسیعی از رفتارهای مادی، بدون توجه به نظریه‌های ماده، صرفاً با بهره‌گیری از مفاهیم انرژی و آنتروپی امکانپذیر می‌شد. اما بسیاری از دانشمندان از این تصویر ساده خشنود نبودند. آن‌ها نه فقط یک گزاره، بلکه توضیح قانون‌ها را جست‌وجو می‌کردند.

مهم‌ترین این دانشمندان **جیمز کلارک ماکسول**[۷] و **لودویک بولتزمن**[۸] بودند. آن‌ها در قرن هجدهم این ایده را درباره‌ی ماده به وجود آوردند که حجمی از گاز از تعداد زیادی ذره‌ی ریز تشکیل شده است. آن‌ها نشان دادند، بسیاری از نتیجه‌های تجربی ترمودینامیک را می‌توان با محاسبه‌ی رفتار میانگین یا آماری مجموعه‌ای از ذرات، در آنچه به نظریه‌ی جنبشی معروف شد، توجیه کرد.

اما نظریه‌ی ماکسول و بولتزمن پارادوکس بین ترمودینامیک و مکانیک نیوتونی را بیش‌تر نمایان ساخت. کلید نظریه‌ی جنبشی این فکر بود که حرکت تک‌تک ذرات، از مکانیک نیوتونی کاملاً برگشت‌پذیر پیروی می‌کند. به عبارت دیگر، هیچ جهت برتری برای زمان وجود ندارد. اما قانون دوم ترمودینامیک آشکارا ضرورت برگشت‌ناپذیری بسیاری از فرایندها را ایجاب می‌کرد، یا، چنان‌که **تام استاپارد**[۹] در سال ۱۹۹۳ در نمایش‌نامه‌ی «**آرکادیای**»[۱۰] خود بیان کرد، با صرفاً هم زدن در جهت مخالف نمی‌توانید مربا را از شیربرنج «جدا کنید». بنابراین، اگر ماده از ذراتی تشکیل شده است که از معادله‌های نیوتونی کاملاً برگشت‌پذیر پیروی می‌کنند، این برگشت‌ناپذیری از کجا آمده است؟

این نقض قانون دوم در مقیاس تک‌ذره در نظریه‌ی جنبشی، کاملاً برای ماکسول نمایان بود، اما او متوجه رابطه‌ی ظریف آن با حرکت براونی نشد که می‌توانست امکان بررسی تجربی این پارادوکس را در اختیار بگذارد. یک سرنخ، این واقعیت بود که حرکت براونی نیز ظاهراً قانون دوم را نقض می‌کرد، چون رقص ذرات براونی نیز همواره به صورت خستگی‌ناپذیر ادامه داشت و هرگز کُند نمی‌شد. بنابراین، می‌شد از چنین ذره‌ای کار دائم به‌دست آورد. اما قانون دوم ترمودینامیک این تبدیل کامل گرما به کار را ممنوع می‌ساخت، زیرا با توجه به این قانون، هنگام انجام کار همواره مقداری انرژی به صورت گرما تلف می‌شود. و اگر مقداری انرژی به صورت برگشت‌ناپذیر تلف شود، چگونه حرکت براونی می‌تواند همواره تداوم داشته باشد؟

تا اواخر قرن نوزدهم طول کشید تا دانشمندانی چون **لویی ژرژگری** مطرح کردند که حرکت براونی می‌تواند «آزمایشگاهی

طبیعی» فراهم سازد که در آن، بتوان روش آشتی دادن نظریه‌ی جنبشی و ترمودینامیک را مستقیما آزمود. به عبارت دیگر، آن‌ها تصمیم گرفتند، مسأله را برعکس کنند و حرکت براونی را برای حل پارادوکس بزرگ قانون دوم به کار گیرند.

با این همه، در این آزمایشگاه طبیعی مسأله‌ای وجود داشت: معلوم نبود که چه کمیت‌هایی را باید اندازه‌گیری کرد. در اینجا بود که چند سال بعد، در آغاز قرن بیستم، یک کارمند جوان اداره‌ی ثبت اختراعات به نام آلبرت اینشتین، وارد میدان شد.

اتم‌ها: فلسفه، شباهت یا واقعیت

اینشتین دانشمندی نبود که صرفاً مسأله‌ای را از روی کنجکاوی بیهوده حل کند. این موضوع هم در حرکت براونی صدق می‌کند و هم در نسبیت. او انگیزه‌ی دیگری در یافتن نظریه‌ای برای حرکت براونی داشت، اما برای شناخت آن باید ابتدا جر و بحثی را در نظر بگیریم که ناشی از نظریه‌ی جنبشی بود.

لودویک بولتزمن موفق شده بود با تفسیر آماری، راهی برای خروج از پارادوکس برگشت‌ناپذیری بیابد. او گفت، هر مولکول رفتاری کاملاً مطابق با مکانیک برگشت‌پذیری دارد، اما وقتی مجموعه‌ی بزرگی از ذرات را درنظر می‌گیرید، آمار مستلزم برگشت‌ناپذیری است و به صورت اجتناب‌ناپذیری به قانون دوم می‌انجامد. «مکانیک آماری» بولتزمن به رغم موفقیت خود، با انتقاد رو به رو شد. چرا باید پایه‌های محکم قانون‌های ترمودینامیک را که نتیجه‌ی یک قرن تأئید تجربی دقیق است، با دنیای ناپایدار آمار و شانس عوض کرد؟

این کار مانند بازگشت به آشوب قرون وسطا، پیش از **گالیله** و نیوتون، به نظر می‌رسید و برای متقاعد کردن مردم به کنار گذاشتن این جزمیت مشکل به دست آمده، به دلیل قانع‌کننده‌ای نیاز بود. در واقع، به دلیل سر راستی نیاز بود که بولتزمن آن را فیزیکی و واقعی به حساب می‌آورد؛ این دلیل که ذرات نظریه‌ی جنبشی در واقع وجود داشتند.

امروز وجود اتم‌ها را مسلم فرض می‌کنیم، اما حتی در قرن بیستم نیز همه‌ی افراد این توصیف «ناپیوسته»ی ماده را نمی‌پذیرفتند. حتی بولتزمن و ماکسول نیز به حاشیه‌نشینی تمایل داشتند. بولتزمن نظریه‌ی جنبشی را یک تشبیه ریاضی به‌حساب می‌آورد، و ماکسول هرگز انتظار نداشت که این سازوکار نمایشی ـ تصویرهایی که به او کمک می‌کردند تا نظریه‌های ریاضی را به وجود آورد ـ حقیقتی درنظر گرفته شود.

افراد به اصطلاح انرژیایی، چون **ارنست ماخ**[11] و **ویلهلم اسوالد**[12]، حتی گامی فراتر نهادند. آن‌ها اصرار داشتند که انرژی جنبشی چیزی بیش از یک تصویر مناسب نیست که نباید آن را واقعی درنظر گرفت. درواقع دومی تأکید داشت که تا پیدا شدن دلیلی سر راست بر وجود اتم‌ها نباید چنین کرد. احتیاط اسوالد تا اندازه‌ای موجه بود. برای اعتبار علم خطرناک بود که نظریه‌ی کاملی برای ماده را بر مبنای موجودی فرضی بنا کند که هرگز مشاهده نشده بود؛ به‌ویژه هنگامی که علم در معرض حمله‌ی فلسفی استریدنت[13] از جانب روشنفکرانی بود که از تقلیل‌گرایی غیرانسانی مشهود علم متأسف بودند.

اما اینشتین دیدگاهی متفاوت داشت. او یکی از افراد نسل جدید فیزیکدانانی بود که با رژیم ماکسول و نظریه‌ی جنبشی رشد کرده بودند، و درنتیجه دلیلی برای تردید در مورد واقعیت اتم‌ها نمی‌دیدند. در واقع، اینشتین با تحلیل حرکت براونی در راه به دست آوردن معیاری کمّی از اندازه‌ی اتم گام نهاد، به طوری که حتی محتاط‌ترین شکاکان در واقعیت آن، متقاعد شوند.

در آغاز سال عظیم ۱۹۰۵، اینشتین هنوز فیزیکدانی ناشناخته بود که با گمنامی در اداره‌ی ثبت اختراعات برن کار می‌کرد. اما در این سال گام نظری تعیین‌کننده‌ای را به سوی اثبات این موضوع برداشت که مایع‌ها در واقع از اتم‌ها ساخته شده‌اند. او از تلفیق ترمودینامیک مایع‌ها با مکانیک آماری، اولین نظریه‌ی آزمون‌پذیر برای حرکت براونی و اولین امکان نگرش مستقیم به درون اتم را به دست آورد.

پیش‌بینی‌های کمّی: اینشتین و حرکت براونی

اینشتین، در جست‌وجوی واقعیت دقیق اتم‌ها، باید می‌پذیرفت که تک‌تک اتم‌ها را نمی‌توان دید. همه برآورد می‌کردند که آن‌ها بسیار کوچک و بسیار سریع هستند. اما اینشتین متوجه شد که اگر پیش‌بینی‌های مکانیک آماری درست باشند، هر ذره‌ی غوطه‌ور در «حمامی» از اتم‌ها، باید اصولاً رفتار یک اتم بسیار بزرگ را داشته باشد؛ زیرا با اتم‌های موجود در حمام در تعادل ترمودینامیکی است. افزون بر این، قضیه‌ی همپاری انرژی، رابطه‌ی انرژی جنبشی ذره با دمای آن را دقیقاً پیش‌بینی می‌کرد: انرژی جنبشی میانگین به ازای هر درجه‌ی آزادی ۲/ K_BT می‌شود که K_B ثابت بولتزمن و T دمای حمام است.

اینشتین متوجه شد که ذره‌ای به قطر مثلاً ۱μm که به اندازه‌ی کافی بزرگ است تا به کمک میکروسکوپ مشاهده شود، «ذره‌بینی» را به جهان اتم در اختیار ما می‌گذارد. این ذره مانند اتمی است که می‌توانید مشاهده کنید، و با مقایسه‌ی مستقیم رفتار آن، با آنچه از نظریه‌ی جنبشی انتظار می‌رود، یک بار برای همیشه تصمیم بگیرید که آیا ایده‌های بولتزمن با واقعیت سازگارند یا خیر.

اینشتین پیش‌بینی می‌کرد که این ذره‌ی براونی، درست مانند مولکول موجود در محلول، طبق معادله‌ی ساده‌ی $D = \sqrt{(K_BTt/6\pi\eta R)}$ پخش می‌شود، که در آن، D جابه‌جایی (عملاً ریشه‌ی میانگین مربعی جابه‌جایی) ذره، T دما،

η چسبندگی مایع، R اندازه‌ی ذره و t زمان است. این معادله ایجاب می‌کرد که ذره‌های بزرگ کُندتر از مولکول‌های پخش شوند، که این امر مشاهده‌ی آن‌ها را راحت‌تر می‌سازد. علاوه بر آن، بر خلاف ذره‌ی پرتابی چون توپ بیلیارد، جابه‌جایی یک ذره‌ی براونی با زمان به صورت خطی افزایش نمی‌یابد، بلکه با ریشه‌ی دوم زمان متناسب است.

پیش از آن، کوشش‌هایی در جهت اندازه‌گیری سرعت ذره‌های براونی انجام گرفته بود، اما نتیجه‌های حاصل بی‌معنی بودند: هرچه زمان اندازه‌گیری کوتاه‌تر بود، سرعت ظاهری بالاتری به دست می‌آمد. این موضوع نشان می‌داد که اندازه‌گیری سرعت در فاصله‌ی زمانی بسیار کوتاه (بی‌نهایت کوچک)، سرعتی را به دست می‌دهد که به بی‌نهایت میل می‌کند. اما اگر حرف اینشتین درست بود، معما توجیه می‌شد؛ زیرا نمی‌توان سرعت ذره‌ی براونی را صرفاً از تقسیم مسافت بر زمان به دست آورد. آزمایشگران کمیت نادرستی را اندازه می‌گرفتند! به واسطه‌ی تحلیل پیشگامانه‌ی اینشتین، گام ریاضی کنار گذاشته شد، و وقت آن بود که کسی دست به آزمایش جدی بزند.

مردی که ثابت کرد اتم‌ها واقعی هستند

ژان پرن[12]، شیمی فیزیکدانی که در سوربن در پاریس کار می‌کرد، مانند اینشتین جزو اتم باوران بود. و این مطالعات میکروسکوپی پرن از حرکت براونی بود که نظریه‌ی اینشتین را تأئید و مهر قبول بر واقعیت ناپیوسته و سرشت اتمی ماده زد.

مطالعات پرن در سال ۱۹۰۸، هنگامی آغاز شد که او و تیم پژوهشی‌اش مجموعه‌ی تمام عیاری از آزمایش‌ها را شروع کردند. متأسفانه، بسیاری از اعضای گروه پرن چند سال بعد جان خود را در جنگ جهانی اول از دست دادند. نخستین وظیفه‌ی این گروه به دست آوردن مجموعه‌ای از ذرات براونی معلق بود که تا حد امکان از ذره‌هایی با اندازه‌ی یکسان تشکیل شده باشند. آهنگ پخش به اندازه‌ی ذره بستگی داشت، و ذره‌ها باید به اندازه‌ای بودند که بتوان آن‌ها را به دقت اندازه‌گیری کرد. این برای ذره‌های به قطر یک هزارم میلی‌متر کار آسانی نبود. با شروع کار از چند کیلوگرم «عصاره‌ی ریوند» معلق ـ عصاره‌ی صمغی که هنگام حل شدن در آب ذره‌های کروی تشکیل می‌دهد ـ تیم پرن سرانجام موفق شد که چند گرم ذره‌های قابل استفاده تولید کند.

پرن با استفاده از یک میکروسکوپ نشان داد که این ذرات هنگام پراکنده شدن در آب تحت تأثیر گرانی، جوّی را تشکیل می‌دهند؛ زیرا تراکم ذرات بر حسب ارتفاع، مانند مولکول‌های گاز موجود در جوّ زمین، به صورت نمایی کاهش می‌یافت. این موضوع نشان می‌داد که ذره‌های براونی، همان‌طور که اینشتین پیش‌بینی کرده بود، مانند مولکول‌های گاز از قضیه‌ی همپاری انرژی بولتزمن پیروی می‌کردند.

کار گروه پرن با اندازه‌گیری پخش ذرات ادامه یافت و قانون ریشه‌ی دوم زمان و رهیافت نظریه‌ی جنبشی اینشتین را تأئید کرد. در آزمایش‌های بیش‌تری که پنج سال پس از آن انجام شد، پرن گنجینه‌ای از اندازه‌گیری‌ها را به وجود آورد که قابل رقابت نبود. به زودی، حتی اسوالد ـ شکاک اعظم ـ پذیرفت که نظریه‌ی اینشتین، همراه با آزمایش‌های پرن، موضوع را ثابت می‌کند. به صورت رسمی پذیرفته شد که اتم‌ها واقعی هستند.

آینده‌ای پر افت و خیز

علم در آن دهه‌های اول قرن بیستم به سرعت گسترش می‌یافت. انقلاب آماری مسلح به تأئید تجربی پرن در مورد مکانیک آماری، در تمام رشته‌ها توسعه می‌یافت، بدون این که چیزی آن را متوقف سازد. علاوه بر این، اینشتین و پرن به صورت ناخودآگاه راه را برای پذیرش مکانیک کوانتومی فی نفسه احتمالاتی هموار ساخته بودند.

شگفت این‌که خود اینشتین هرگز تفسیر آماری مکانیک کوانتومی را نپذیرفت. آمار در مایع متشکل از اتم‌ها خوب بود، زیرا می‌دانستید که در حال شمارش اتم‌های فیزیکی واقعی هستید. اما منظور از آمار یک تک الکترون چه بود؟ چه چیزی ورای الکترون «نهفته بود» که باعث می‌شد، رفتاری آماری داشته باشد؟ این پرسشی بود که «مکملیّت» نیلزبور شما را صرفاً از پرسیدن آن منع می‌کرد، و اینشتین هرگز از این موضوع خشنود نبود.

انقلاب کوانتومی در نیمه‌ی اول قرن بیستم به اندازه‌ای توجه‌ها را به خود معطوف داشته بود که موفقیت مکانیک آماری کلاسیک را پنهان ساخت. فقط در دهه‌های اخیر بود که اهمیت کار کلاسیک اینشتین و پرن آشکارتر شد. با هم‌پوشان شدن فزاینده‌ی فیزیک و زیست‌شناسی، نانوفناوری، و آمار پدیده‌های پیچیده، اکنون می‌توانیم ببینیم چگونه شناخت افت و خیزهای براونی، برای هر چیز از کار سلول گرفته تا جریان ترافیک، و از مدل‌های بوم‌شناسی تا نظریه‌ی بازی‌ها و بازار بورس، حیاتی است.

اینشتین آن‌قدر زنده نماند تا متوجه اهمیت واقعی حرکت براونی شود. در سال‌های بعد، او که غرق در جست‌وجوی «نظریه‌ی همه چیز» از طریق نظریه‌ی نسبیت عام خود بود، کار در زمینه‌ی حرکت براونی را با عنوان بی‌اهمیت بودن کنار گذاشت. او همان‌قدر فیلسوف بود که فیزیکدان، و از دید او، استلزام‌های حرکت براونی در مقایسه با نسبیت ناچیز بود.

اما اگر امروز زنده بود، شاید عقیده‌ی خود را عوض می‌کرد. از زمان اولین مشاهده‌های رابرت براون از «کلارکیا پولشلا»[15] در ۱۸۰ سال پیش، دانشمندان رشته‌های گوناگون متوجه شده‌اند که افت و خیزهای کاتوره‌ای در بسیاری از پدیده‌های ـ اگر نه

همه‌ی آن‌ها ـ اطراف ما اهمیتی بنیادی دارد. بدون این افت و خیزها، هیچ رفتار فازی، هیچ تاخوردگی پروتئین‌ها، هیچ عملکرد غشأ سلول، و هیچ گونه تکامل انواع وجود نخواهد داشت. و به تازگی از کارهای انجام شده در زمینه‌ی سیستم‌های پیچیده‌ای چون موتورهای مولکولی و غشأهای سلولی، حتی متوجه ظرافتی بسیار عمیق‌تر شده‌ایم.

در این سیستم‌های زیستی کارآمد، باید شرایطی متضاد برقرار باشد. آن‌ها باید در مقابل محیطی پیچیده و دارای افت و خیز مداوم به اندازه‌ی کافی مقاوم باشند، و در عین حال باید بتوانند، با بهره گیری از این افت و خیزها، کارهای زیستی پیچیده‌ای چون انتقال مولکول‌های حیاتی به داخل سلول‌ها و به خارج از آن‌ها را انجام دهند. تقریباً، دو قرن پس از براون، این توازن در قلب طبیعت به تدریج روشن‌تر می‌شود؛ توازن شگفت‌انگیزی بین عملکرد و افت و خیز، بین قاعده‌های فیزیکی محکم و اثرهای ظریف کاتوره‌ای وجود دارد.

نقش اینشتین در ابهام‌زدایی از حرکت براونی در همین انقلاب بنیادی بود. در توسعه‌ی اولین نظریه‌ی آزمون‌پذیر که مکانیک آماری را ـ با «اتم‌های» نامرئی و مقایسه‌های مکانیکی ـ به واقعیت قابل مشاهده مربوط می‌ساخت، اینشتین نقشی راهگشا داشت. از طریق او بود که مشاهده‌های سردرگم کننده‌ای که طی سالیان دراز انجام شده بودند، به نتیجه‌های محکم پرن تبدیل شدند، و از این نتیجه‌ها، دیدگاه جهانی اثبات شده‌ای به وجود آمد که آمار در مرکز آن قرار داشت.

از چشم‌اندازی دوردست‌تر ما، بدیهی است که مقاله‌های سال ۱۹۰۵ درباره‌ی حرکت براونی همان قدر در علم مؤثر بودند که نسبیت یا کوانتوم‌های نور، فقط حرکت براونی انقلابی کندتر و ظریف‌تر بود: نه یورشی مستقیم، بلکه بیش‌تر قدم زدنی کاتوره‌ای در آینده‌ای پهناور و پیش‌بینی نشده.

منبع:

Physics World, January 2005

زیرنویس:

1. Jean Perrin
2. Annalen der physik
3. Robert Brown
4. Charles Darwin
5. Beagle
6. Clarkia Pulchella
7. James Clark Maxwell
8. Ludwig Boltzmann
9. Tom Stopparol
10. Arcadia
11. Ernst Mach
12. Wilhelm Ostwald
13. Strident
14. Jean Perrin
15. Clarkia Pulchella

پژوهشی

حجم مقایسه‌ای بین کتاب‌های فیزیک و شیمی پیش دانشگاهی*

کبری غلامی

این موضوع که حجم کتاب فیزیک در دوره‌ی پیش دانشگاهی با زمان تدریس آن متناسب نیست، همواره از سوی دبیران اعلام شده است که برنامه‌ریزان و مؤلفان محترم هیچ‌گاه پاسخ قانع کننده‌ای به آن نداده‌اند. همین موضوع موجب شد که نگاهی کنجکاوانه‌تر به سایر کتاب‌های این دوره‌ی تحصیلی، به خصوص درس‌های علوم پایه بیندازم و ببینم، آیا این موضوع در مورد این درس‌ها هم صادق است یا خیر.

در این راستا، کتاب‌های فیزیک، شیمی و ریاضی پیش دانشگاهی را فقط به طور کمی ارزیابی کردم که نتیجه‌ی آن در جدول ۱ آمده است.

این که هر درسی جایگاه خود را دارد و محتوای آن را متخصصان آن درس باید تعیین کنند، کاملاً صحیح است، ولی تعادل بین حجم و محتوای کتاب با زمان تدریس آن، موضوعی است که باید در همه‌ی درس‌ها در نظر گرفته شود. مسلم است که کتاب درسی می‌تواند حجیم باشد، ولی محتوا نداشته باشد. پس با پربار بودن کتاب، زمان بیش‌تری برای تدریس مفهومی و دقیق آن لازم است.

در ادامه، دو کتاب فیزیک و شیمی را در این دوره به طور دقیق‌تر بررسی کردم و در نتیجه، مقایسه‌ای بین این دو کتاب انجام دادم که حاصل آن در جدول ۲ ارائه شده است.

آمار به دست آمده نشان می‌دهد که تقریباً حجم کتاب فیزیک ۲/۵ برابر شیمی، ولی زمان تدریس آن ۰/۴ یا $\frac{۲}{۵}$ زمان تدریس شیمی است. در حالی که برای حل تمرین‌ها وقت کافی لازم است و هر مثال حل شده، خود آموزش یک نکته‌ی درسی است. با توجه به این که در طول یک دوره‌ی درسی واحد درسی و زمان تدریس در رشته‌ی ریاضی برای هر دو کتاب یکسان و در رشته‌ی تجربی برای کتاب فیزیک کم‌تر است، و تفاوت چشمگیری بین ضریب آن‌ها در کنکور سراسری وجود ندارد، این عدم تناسب در زمان تدریس دو کتاب با حجم آن‌ها چگونه توجیه می‌شود؟

ضمن تشکر مجدد از مؤلفان و برنامه‌ریزان محترم کتاب‌های درسی و مسؤولان محترم آموزش و پرورش تقاضا دارم، این مقاله تحقیقی را مطالعه کنند و چنانچه توضیحی منطقی درباره‌ی متناسب بودن حجم این دو کتاب با زمان تدریس آن‌ها در مقایسه با یکدیگر دارند، اعلام فرمایند. همچنین، به این دو پرسش پاسخ دهند:

۱. به نظر شما برنامه‌ریزان محترم آموزشی، کدامیک صحیح‌تر برنامه‌ریزی شده است؟

۲. آیا یکی از دلایل پائین بودن نمرات فیزیک دانش‌آموزان در کنکور و دبیرستان در مقایسه با شیمی همین موضوع نیست؟

زیرنویس:

* این مقاله بدون هیچ‌گونه دخل و تصرفی توسط هیأت تحریریه، آورده شده است. قضاوت در مورد آن را به طور کامل به عهده‌ی خوانندگان مجله می‌گذاریم.

جدول ۱. تعداد صفحات و زمان تدریس کتاب‌های علوم پایه‌ی دوره‌ی پیش‌دانشگاهی

نام درس (دوره‌ی پیش‌دانشگاهی)	تعداد صفحه‌ها[1]	زمان تدریس در سال به دقیقه[2]	زمان تدریس برای هر صفحه‌ی کتاب به دقیقه
فیزیک تجربی	۲۰۴	۳۵۱۰	۱۷/۲۰
ریاضی عمومی	۱۹۱	۳۵۱۰	۱۸/۳۸
فیزیک ریاضی	۲۳۶	۴۶۸۰	۱۹/۸۰
دیفرانسیل	۲۳۰	۴۶۸۰	۲۰/۳۴
ریاضی گسسته	۱۰۵	۲۳۴۰	۲۲/۲۸
جبر خطی و هندسه‌ی تحلیلی	۱۵۱	۲۳۴۰	۲۲/۲۸
شیمی	۱۰۶	۴۶۸۰	۵۰/۸۶

۱. در این قسمت، صفحاتی که جزو ارزشیابی نیستند، محاسبه نشده‌اند.
۲. برای هر جلسه‌ی درسی ۴۵ دقیقه و هر ترم ۱۳ هفته منظور شده است.

جدول ۲ . مقایسه‌ی دو کتاب فیزیک و شیمی دوره‌ی پیش‌دانشگاهی از نظر حجم مطالب و زمان تدریس

عنوان	فیزیک تجربی	فیزیک ریاضی	شیمی هر دو رشته
خودآزمایی و تمرین متن	۳۹	۵۴	۲۷
مشاهده کنید و فعالیت	۳۴	۵۱	۶
بیش‌تر بدانید و مطالعه‌ی آزاد	۸	۱۲	۲۸
همچون دانشمندان	—	—	۷
نمونه‌ی حل شده و مثال	۵۶	۶۳	۱۷
تمرین آخر بخش	۱۰۲	۱۲۰	—
فکر کنید و پرسش متن	۱۱	۲۳	۲۷
تعداد فصل‌های کتاب	۸	۸	۴
تعداد صفحه‌های کتاب	۲۶۶	۲۷۷	۱۰۶
جلسات تدریس در هر هفته	۳	۴	۴
تعداد واحد درسی	۱/۵	۲	۲
تعداد جلسه‌های تدریس دو کتاب در دو ترم	۷۸	۱۰۴	۱۰۴
زمان تدریس در سال به دقیقه	۳۵۱۰	۴۶۸۰	۴۶۸۰
زمان تدریس برای هر صفحه‌ی کتاب به دقیقه	۱۷/۲۰	۱۹/۸۰	۵۰/۸۶
تعداد صفحه‌های کتاب با حذف قسمت‌هایی که جزو ارزشیابی نیستند	۲۰۴	۲۳۶	۹۲

ماری کوری
کارآفرین علمی

سورایا بودیا
مترجم: صمد غلامی

شکل ۱. ماری‌کوری، در انستیتو رادیم، در سال ۱۹۲۰. او تنها یک دانشمند نبود. چندین ابداع و اکتشاف صنعتی داشت و نقشی مهم و کلیدی در کشف رادیم در صنعت فرانسه ایفا می‌کرد.

ماری کوری را به خاطر کارهایش با مواد پرتوزا می‌شناسیم و این روزها مثل صدسال قبل که رادیم را کشف کرد، مورد توجه است. اما کارهایش در مورد صنعت کم‌تر مورد استفاده قرار گرفته و شناخته شده‌اند.

در دسامبر ۱۸۹۸، **پی‌یر کوری، ماری کوری و گوستاوبمون**، مقاله‌ای در مجله‌ی فرهنگستان علوم فرانسه منتشر کردند که عنوان آن «درباره‌ی ماده‌ی جدیدی شدیداً پرتوزا»[1] بود. در این مقاله آن‌ها اعلام کردند که عنصر جدیدی را با ویژگی‌های بسیار جالب و مبهوت کننده، به نام «رادیم»، کشف کرده‌اند. اما برای یکی از محققان، یعنی ماری کوری، مقاله‌ی منتشر شده بیش از یک نتیجه‌ی تحقیقاتی بود. این نشان می‌داد که یک زن هم در دنیای علمی جهان که تا آن روز قلمروی مردان بود، می‌تواند موفق شود.

در سال ۱۸۹۱، پس از مهاجرت از لهستان به پاریس، ماری‌کوری اولین زنی بود که درجه‌ی دکترای تخصصی فیزیک را به‌دست آورد؛ همچنین، اولین زنی که جایزه‌ی نوبل گرفت و اولین زنی که در سوربن درس داد. به‌علاوه، او به کشف قلمروی علمی جدیدی کمک کرد: مطالعه و بررسی مواد پرتوزا.

به راستی هرگاه به جهان علم وزنان فکر می‌کنیم، ماری‌کوری را به طور ناخودآگاه به یاد می‌آوریم. او به زنی الگو و نمونه‌ای برای دیگر زنان تبدیل شد. کسی که به رغم مشکلات بسیار موفق شد تا خود را به دنیای علم و دانش معرفی کند. در آزمایشگاه او همیشه به روی زنان مشتاق باز بود و آن‌ها را تشویق می‌کرد، مدارج علمی را بپیمایند. اما او به ندرت راجع به

دیدگاه‌های خود درباره‌ی حقوق زنان صحبت می‌کرد و اغلب از شرکت در مناظرات عمومی که هیچ ربطی به علم نداشتند، اجتناب می‌کرد. بسیار مسخره به نظر می‌آید که چنین زنی که یکی از بزرگ‌ترین آزمایشگاه‌های علمی جهان را در انستیتوی رادیم پاریس بنا نهاد، در سال ۱۹۴۳ در سن ۶۶ سالگی، بدون داشتن حق رأی، از دنیا برود.

گرچه شرح زندگی ماری کوری را به خوبی می‌دانیم و اسناد و مدارک معتبری درباره‌ی آن داریم، اما یک جنبه‌ی زندگی او کم‌تر شناخته شده است: فعالیت و کار او در صنعت. این محدوده و زمینه‌ای است که من این‌جا به آن می‌پردازم. به هر حال، بسیاری از دانشمندان امروزه در ارتباط با صنعت کار می‌کنند.

کشف رادیم

در سال ۱۸۹۶، فیزیکدان فرانسوی، **هنری بکرل** پی برد که نمک‌های متفاوت رادیم به شدت پرتوهایی را از خود گسیل می‌کنند. در دسامبر ۱۸۹۷، کوری به تدریج به این پرتوهای عجیب علاقه‌مند شد. اما حوزه‌ی تحقیق او با پژوهش‌های بکرل متفاوت بود. در حالی‌که بکرل تنها پرتوهای حاصل از اورانیم را مطالعه کرده بود، کوری یک گام به جلوتر برداشت. او شروع به مطالعه‌ی عناصر متفاوت کرد. ترکیب‌های شیمیایی و معدنی را هم بررسی کرد تا بفهمد، چه چیزهای دیگری، جز همان پرتوهایی که بکرل کشف کرده بود، از خود گسیل می‌کنند.

کوری با کار کردن در EPCI[1] پاریس برای پاسخ به این پرسش، وسائل آزمایشگاهی پیشرفته و گران‌قیمتی را که همسرش پی‌یر و برادر همسرش، ژاک ابداع کرده بودند، به‌کار برد. او نمونه‌ای از «پیچ بلاند»[2] (نوعی سنگ معدن) را در مرکز اتاق یونش گذاشت که شامل دو صفحه‌ی موازی در یک جعبه بود. دو صفحه، پتانسیل الکتریکی متفاوتی داشتند. پرتوهای گسیل شده از پیچ بلاند، اتم‌ها را یونیده کردند و میدان الکتریکی بین صفحات، الکترون‌ها را به سمت صفحه‌ی دارای بار مثبت، و یون‌های مثبت را به سمت صفحه‌ی دارای بار منفی کشاندند. این امر جریانی تولید کرد که متناسب با شدت پرتوزایی بود و می‌شد آن را در جهت خلاف تولید شده توسط یک بلور کوارتز پیزوالکتریک تحت فشار فرستاد. فشار لازم برای توازن جریان، معیاری از شدت پرتوزایی حاصل از پیچ‌بلاند بود.

با این وسایل، کوری دریافت که چند نوع سنگ معدن اورانیم ـ به خصوص پیچ‌بلاند ـ خیلی بیش‌تر از خود اورانیم فعال هستند. او نتیجه گرفت پیچ‌بلاند حاوی ماده‌ی ناشناخته‌ی بسیار فعالی است. در آوریل ۱۸۹۸ کوری ـ که اکنون همسرش پی‌یر به او پیوسته بود ـ یک سلسله عملیات شیمیایی را آغاز کرد تا کشف کند، آن ماده‌ی ناشناخته چیست. هدف آنان این بود که عناصر متفاوت پیچ‌بلاند را به لحاظ شیمیایی جدا کنند و آن‌گاه فعالیت هر کدام از اجزا را با اتاقک یونش خود اندازه بگیرند.

با دنبال کردن روش آزمون و خطا، آن‌ها چند راه‌حل را آزمایش کردند و از مهارت‌های عملی و دانش شیمیایی یک تکنسین آزمایشگاه در شیمی معدنی در EPCI، یعنی **گوستاوبمون** استفاده کردند.

در ژوئیه‌ی ۱۸۹۸، آن‌ها اعلام کردند که بالاخره یک عنصر جدید را تجزیه و جدا کرده‌اند ـ آن را «پولونیم» نامیدند ـ که صدها برابر بیش از اورانیم فعال، پرتوزاست. در ماه دسامبر، آن‌ها عنصر دیگری را که هنوز فعال‌تر بود، جدا کردند و آن را «رادیم» نامیدند. این اکتشافات همچنین نشان داد که، پرتوزایی ـ اسمی که ماری اختراع کرده بود ـ با اورانیم یکی نیست؛ بلکه در حقیقت یک ویژگی کاملاً جدید ماده است. اما مقدار این عناصر در پیچ‌بلاند به اندازه‌ای کم بود که کوری‌ها نتیجه گرفتند، مجبورند مقدار زیادی از یک معدن را در اختیار داشته باشند. بنابراین، کوری‌ها مقدار چندین تن پیچ‌بلاند از معادن «سنت یواخیمشتال» در بوهم (که در آن موقع جزو لهستان بود) تهیه و آزمایش‌های نیمه صنعتی خود را با همکاری انجمن مرکزی تولیدات شیمیایی که یک شرکت پاریسی بود، شروع کردند. این شرکت، وسایل آزمایشگاهی ساخت پی‌یر، از قبیل بلور کوارتز پیزوالکتریک و الکترومتر او را به بازار عرضه می‌کرد.

آندره دبیرن که یکی از دانشجویان پی‌یر در EPCI بود و سپس دستیار آزمایشگاه دانشکده‌ی علوم در دانشگاه پاریس شد، یک سلسله فناوری‌های آزمایشگاهی استاندارد را برای جداسازی رادیم به صورت فرایندهای صنعتی ارائه کرد.

در سال ۱۹۰۲، کوری موفق شد ۹۰ میلی‌گرم رادیم کلرید از مقداری زیادی سنگ معدن، با استفاده از این فناوری و روش‌ها به‌دست آورد. این مقدار ماده برای او کافی بود تا جرم اتمی رادیم را ۱± ۲۲۵ برآورد کند؛ کاری که جایزه‌ی نوبل شیمی در ۱۹۱۱ را برای او به ارمغان آورد.

کوری تنها کسی است که جایزه‌ی نوبل را در رشته‌های متفاوت به‌دست آورده است. او جایزه‌ی نوبل فیزیک ۱۹۰۳ را به‌طور مشترک با شوهرش و هنری بکرل برای کشف پرتوزایی طبیعی به خود اختصاص داد. این افتخار دوجانبه، بازتاب سرشت میان رشته‌ای کار کوری است که در آن شیمی و فیزیک از ابتدا در هم تنیده بودند. شیمی، تجزیه‌ی فرایند و جریان‌هایی را به‌وجود آورد که او و پی‌یر، برای جدا کردن پولونیم و رادیم از پیچ‌بلاند، ابداع کردند. در حالی که عملیات شیمیایی به نوبه‌ی خود با اندازه‌گیری پرتوزایی همراه بودند؛ یعنی یک جریان فیزیکی.

شکل ۲. این عکس ماری و پی‌یر را در حال اندازه‌گیری پرتوزایی در مدرسه‌ی فیزیک و شیمی صنعتی در پاریس نشان می‌دهد؛ جایی که آن‌ها رادیم و پولونیم را حدود صدسال پیش کشف کردند. بسیاری از همکاران آن‌ها کارشان به پرتوزایی در صنعت ختم شد.

علم و صنعت پرتوزایی

کوری‌ها کوشیدند، ارتباط خود با صنعت را در سال‌های بعد گسترش دهند و کارهای نیمه صنعتی آن‌ها در معادن اورانیم به تأسیس صنعت رادیم در فرانسه کمک کرد. ماری بیش‌تر و بیش‌تر آزمایش کرد و می‌کوشید تا مقدار بیش‌تری رادیم باارزش را از پیچ‌بلاند به‌دست آورد. این یک تجارت پرهزینه بود. او و همسرش تکیه‌ی زیادی به پول جوایز نوبل که دریافت کرده بودند، داشتند و با کمک این پول‌ها، پیچ‌بلاند را به پاریس می‌آوردند و آن را همچنین صرف هزینه‌های آزمایشگاهی و حقوق خدمه می‌کردند.

در سال ۱۹۰۴، کوری‌ها و تیم تحقیقاتی آن‌ها در دانشکده‌ی علوم، شروع به همکاری با یک شیمیدان صنعتی به نام **آرمه‌دولیزل** کردند که مدتی به عنوان مشاور با کوری‌ها کار می‌کرد. دولیزل تصمیم گرفت، یک کارخانه‌ی رادیم، در نوژن ـ سور ـ مارن، در غرب پاریس بسازد. او تشخیص داد، بازاری برای رادیم در میان پزشکانی وجود دارد که می‌خواهند سرطان و بیماری‌های پوستی را معالجه کنند. دولیزل سپس یکی از بزرگ‌ترین حامیان درمان و معالجه با رادیم در فرانسه شد.

دولیزل، علاوه بر دریافت مشاوره‌ی فنی از کوری‌ها، به آن‌ها می‌گفت که چگونه با پیچ‌بلاند کار کنند. دو همکار نزدیک او، **فردریک اودوپن**، یک شیمیدان از شرکت محصولات شیمیایی و **ژاک‌دان**، دستیار پی‌یر در آزمایشگاه بودند. دان کمک کرد تا دولیزل کارخانه را بنا نهد و سردبیر مجله‌ی رادیم جدیدی شد که با کمک مالی دولیزل چاپ می‌شد. دیگر همکاران کوری‌ها هم در کارخانه دولیزل استخدام شدند؛ از قبیل: **ژرژ گابریل روبیلارد** و **پل رازت**.

کوری‌ها ترتیبی دادند تا کارخانه، چندین تن پیچ‌بلاند را تصفیه کند و حدود ۴۰۰ میلی گرم (۰/۴ گرم!) نمک‌های رادیم را در این فرایند به دست آوردند. با استفاده از این مواد، ماری جرم اتمی رادیم را در سال ۱۹۰۷ دوباره اندازه گرفت. این‌بار مقدار آن ۰/۵±۲۲۶/۰ بود که به اندازه‌گیری قابل قبول امروزی ۲۲۶/۰ نزدیک است. در سال بعد، او از دولیزل خواست که مکانی را در کارخانه‌اش به او اختصاص دهد و آزمایش‌های شیمیایی آزمایشگاه کوری تحت سرپرستی **آندره دبرین**، شاگرد قدیمی پی‌یر کوری، در آن‌جا ادامه یافت. برای ماری کوری، کارهایی که در کارخانه انجام می‌داد، ادامه و تکمیل کننده‌ی کارهای او در آزمایشگاه بود و به او کمک می‌کرد تحقیقاتش را به مرحله‌ی عمل درآورد. همکاری با صنعت او را قادر ساخت، نه تنها رادیم، بلکه دیگر عناصر پرتوزا، از قبیل پولونیم و اکتینیم را گردآوری کند. در واقع، کوری‌ها به زودی صاحب یکی از بزرگ‌ترین تأسیسات مواد پرتوزا در دنیا شدند. برای دانشمندان دیگر بر خلاف آن‌ها، به‌دست آوردن مواد پرتوزا یک اشتغال دائمی بود و بسیاری از آن‌ها از کمبود این عناصر نادر در رنج بودند. این امر حتی برای **ارنست رادفورد** هم حقیقت داشت که فیزیک را تنها از جنبه‌های فیزیکی پرتوزایی مطالعه می‌کرد.

مشکل این بود که بسیاری از عناصر پرتوزا به صورت تجارتی در دسترس نبود، چون کارخانه‌های تولیدی آن‌ها تا مدت‌ها محصول خود را پیش‌فروش کرده بودند. موادی هم که در بازار یافت می‌شدند، به قدری گران و ناخالص بودند که به درد

مطالعات آزمایشگاهی نمی‌خوردند. راهبرد کوری‌ها برای به‌دست آوردن مواد پرتوزا بسیار منطقی و مؤثر بود.

در این حال، کشف مقادیر زیادی اورانیم در پرتغال در سال ۱۹۱۰، باعث گسترش همکاری نزدیک همکاران آزمایشگاهی کوری‌ها در فرانسه برای تولید رادیم شد. در سال ۱۹۰۷، فردی به نام **دین** تصمیم گرفت، کارخانه‌ی خصوصی خود را در «ژیف‌سور-ایوت» در جنوب پاریس بسازد که شامل یک کارگاه برای ساخت لوازمی برای اندازه‌گیری پرتوزایی بود. او در سال ۱۹۱۱، همکاری خود را با کارخانه دولیزل قطع کرد و تصمیم گرفت کارخانه‌ی خود را بزرگ کند و دفتر خود را به آزمایشگاه مواد پرتوزا تبدیل کند. در سال بعد، او و برادرش **گاستون**ـ که او هم قبلاً در آزمایشگاه کوری کار می‌کرد ـ انجمن صنعتی رادیم را در ژیف ـ سور ـ ایوت بنا نهادند. در همین حال، **آلبرت لابورد**، همکار سابق دیگر کوری‌ها، مسؤول اندازه‌گیری و خالص‌سازی مواد پرتوزا در جزیره‌ی سنت‌ـ دنی در شمال پاریس، در «شرکت سهامی عملیات شیمیایی» شد. مؤسس این کارخانه، **هانری دوروچیلد**، از خانواده‌ی روچیلد بود. ماری کوری هم در آن‌جا یک آزمایشگاه داشت. در همین زمان، او و **آندره دبیرن** درگیر با شرکتی فرانسوی برزیلی بودند که اولین کارخانه را برای ساخت و تولید عناصر پرتوزا غیر از رادیم در فرانسه تأسیس و شروع به تولید مزوـتوریم کردند.

مهم‌ترین دلیل همکاری همکاران آزمایشگاهی کوری‌ها با صنایع ساخت مواد پرتوزا در فرانسه این بود که پست‌ها و مکان‌های تحقیقی بسیار کمی در فرانسه در آن دوران وجود داشتند؛ به خصوص برای مواد پرتوزا. اگرچه به کوری‌ها در سال ۴ یا ۵ بودجه‌ی تحقیقاتی داده می‌شد ـ آن‌ها حمایت **اندروکارنگی** را که یک نیکوکار خیّر بود، داشتند ـ اما یک سوم کارکنان آزمایشگاهی آنان کارگر آزاد بودند که هرگز حقوقی دریافت نمی‌کردند. به علاوه، EPCI که مدرسه‌ای برای مهندسان صنایع بود، بسیاری از محققان جوان کوری‌ها را تأمین می‌کرد. بنابراین، طبیعی بود که آن‌ها برای کار جذب صنایع رادیم شوند. کوری و بسیاری از تولید کنندگان رادیم، در تماس مستقیم با یک جنبه‌ی دیگر از توسعه‌ی صنایع عناصر پرتوزا بودند. روش‌های استحصال و خالص‌سازی پیچ‌بلاند باید پیشرفت می‌کرد و آن‌ها شروع به تحقیق درباره‌ی این موضوع کردند که: آیا اوتونیت و کارنوتیت که دو سنگ معدن اورانیم‌دار بودند، می‌توانند منبع رادیم باشند؟ این کار راحتی نبود. باید آزمایش‌های زیادی انجام می‌گرفت تا مواد آزمایشگاهی مناسب برای جداسازی مواد پرتوزا یافته می‌شد و بهترین روش‌ها را باید برای این مواد معدنی می‌یافتند.

کوری‌ها همچنین با صنایع خارجی، مانند معادن سنت‌ـ یواخیمشتال در اتریش ـ مجارستان، کارخانه‌های پیتسبورگ در ایالات متحده و اتحادیه‌ی معادن کاتانگای علیا در کنگوی بلژیک ارتباط داشتند. ارتباط با این صنایع به نوبه‌ی خود تحقیقات کوری‌ها را تحت تأثیر قرار داد. آزمایشگاه ماری که همیشه به اشتباه یک مرکز تحقیقاتی صرفاً علمی شناخته می‌شد، در حقیقت بسیاری از مشکلات صنعت را حل می‌کرد. برای مثال، کوری یک سلسله عملیات استاندارد برای فرایندهای شیمیایی انجام داد که از معادن رادیواکتیو نقشه‌ی جغرافیایی تهیه می‌کرد و وسایل قابل حمل و نقل برای اندازه‌گیری پرتوزا را طراحی می‌کرد.

توسعه‌ی کاربردهای پرتوزایی

سال‌های ۱۹۱۰ تا ۱۹۱۴ شاهد گسترش بیش‌تر صنعت رادیم و رشد روبه افزایش کاربردهای پزشکی و دارویی رادیم بود. این پیشرفت‌ها کوری‌ها را تشویق کرد تا همکاری بیش‌تر و نزدیک‌تری با صنایع داشته باشند. آزمایشگاه ماری به زودی با تمام جنبه‌های پرتوزایی در فرانسه درگیر شد و همه‌ی فعالیت‌هایش بر آن متمرکز شد. اندازه‌گیری صحیح و دقیق پرتوزایی بسیار مهم بود و محققان در آزمایشگاه او تقریباً تمام وسایل آزمایشگاهی علمی مربوط را طراحی کرده بودند تا بتوانند پرتوزایی را اندازه بگیرند. سنجه‌شناسی، دیگر برای ماری غریبه نبود. قبلاً در دوره‌ی کاری خود مجموعه‌ای متشکل از الکترومتر، اتاقک یونش و یک ترازوی کوارتزپیزوالکتریکی برای اندازه‌گیری پرتوزایی به کار برده بود. این وسیله در صنعت نیز به کار می‌رفت؛ مخصوصاً در کارخانه‌ی دولیزل. اگر چه به زودی وسیله‌ی دیگری، یعنی «الکتروسکوپ» جای آن را گرفت که هم ارزان‌تر، و هم کارکردن با آن آسان‌تر بود.

پی‌یر که در سال ۱۹۰۰ اولین الکتروسکوپ را برای اندازه‌گیری پرتوزایی کامل کرده بود، نمونه‌ای قابل حمل‌ونقل ساخت که هم صنعتگران و هم معدنچیان آن را به طور گسترده به کار می‌بردند. در واقع، آن‌ها اغلب برای حل مشکلات خود به آزمایشگاه کوری‌ها مراجعه می‌کردند. برای مثال، هنگامی که مهندسان معدن دریافتند، ورقه‌ای که در الکتروسکوپ برای آشکارسازی بار به کار می‌رفت، برای اندازه‌گیری دقیق بسیار شکننده است، **بلاریلارد**، یکی از محققان آزمایشگاه کوری، الکتروسکوپ جدیدی ساخت که در آن یک سوزن جایگزین ورقه شده بود.

کوری همچنین نقش عمده‌ای در تثبیت یکاهای کلی و استانداردهای اندازه‌گیری برای جمعیت روبه‌رشد مردمی داشت که عناصر پرتوزا را به کار می‌بردند. این جمعیت شامل محققان، صنعتگران و پزشکانی می‌شد که رادیم را به کار می‌بردند. در سپتامبر ۱۹۱۰، او به بروکسل مسافرت کرد تا در یک کنفرانس پرتوشناسی و الکتریسته شرکت کند که در آن، محققان مشهور و تراز اول در میزگردی درباره‌ی مشکلات مربوطه، بحث و گفت‌وگو می‌کردند. طبق پیشنهاد او، این مجمع یکای کوری را

به عنوان استاندارد اندازه‌گیری فعالیت پرتوزایی برگزید. «کوری» مقدار گسیل (رادون) در تعادل پرتوزا با ۱ گرم رادیم است. این مجمع از او دعوت کرد، استاندارد رادیم فلزی را هم ابداع کند.

در سال بعد، کوری سرویس اندازه‌گیری تجارتی را به‌وجود آورد که دوباره به میزان رادیم موجود در محصولات تجارتی گواهینامه می‌داد. خیلی زود آزمایشگاه او نهادی ملی برای اندازه‌گیری پرتوزایی شد که تقریباً تمام صنعتگران، فیزیولوژیست‌ها و استخراج‌کنندگان معدن، محصولات خود را برای آزمایش به آن‌جا می‌فرستادند. سرویس اندازه‌گیری جایگاه مهمی در شبکه‌ی رسمی بین‌المللی یافت، چون تمام استانداردهای ثانویه در کشورهای دیگر در آزمایشگاه او اندازه‌گیری و تأئید می‌شدند.

باز هم نگرش و روش کوری‌ها نسبت به خدمات، در تضاد شدید با فیزیکدانان دیگر، از قبیل رادرفورد قرار گرفت، زیرا رادفورد نمی‌خواست که آزمایشگاهش درگیر چنین فعالیت‌هایی شود. اما در تصور کوری نمی‌گنجید که خدمات اندازه‌گیری را به کسی در خارج از آزمایشگاهش واگذار کند. او در نامه‌ای به رئیس دانشگاه پاریس در ماه مه ۱۹۱۳، ایجاد این خدمات را توجیه کرد و گفت: «فکر می‌کنم که باید نهاد خدمات عمومی سازماندهی شود. نمی‌توانم آن را نادیده بگیرم و این نهاد نمی‌تواند بدون این‌که من و آزمایشگاهم در آن شرکت داشته باشیم، به‌درستی به وجود آید... تنها یک آزمایشگاه که در آن، تحقیقات مربوط به هم انجام می‌شود، قادر خواهد بود هر مشکلی را که ممکن است پیش آید، حل کند.»

البته اندازه‌گیری عناصر پرتوزا احتیاج به معلومات خاصی داشت که به‌دست آوردن آن مشکل بود. گرچه بعضی کشورها سرویس‌های اندازه‌گیری ملی تأسیس کردند (از قبیل اداره‌ی ملی استانداردها در آمریکا و یا آزمایشگاه فیزیک ملی در بریتانیا)، تنها اندازه‌گیری‌های کوری و راه‌حل‌های او بود که پاسخگوی تمام جنبه‌های پرتوزایی در فرانسه، از قبیل تحقیقات، صنعت و سنجه شناسی بود.

تأسیس یک مرکز چند رشته‌ای

در سال ۱۹۱۴، درست پس از جنگ جهانی اول، آزمایشگاه کوری از دانشکده‌ی علوم به انستیتوی تازه تأسیس رادیم انتقال یافت. این انستیتو را که دو آزمایشگاه داشت، دانشگاه پاریس با همکاری انستیتو پاستور ساخته بود. یکی از این آزمایشگاه‌ها، که کوری رهبری آن را به عهده داشت، به مطالعات شیمی و فیزیک پرتوزایی اختصاص داشت، در حالی که آزمایشگاه دیگر به رهبری **کلودیوس ریگرد**، روی جنبه‌های زیست‌شناختی و پزشکی پرتوزایی کار می‌کرد.

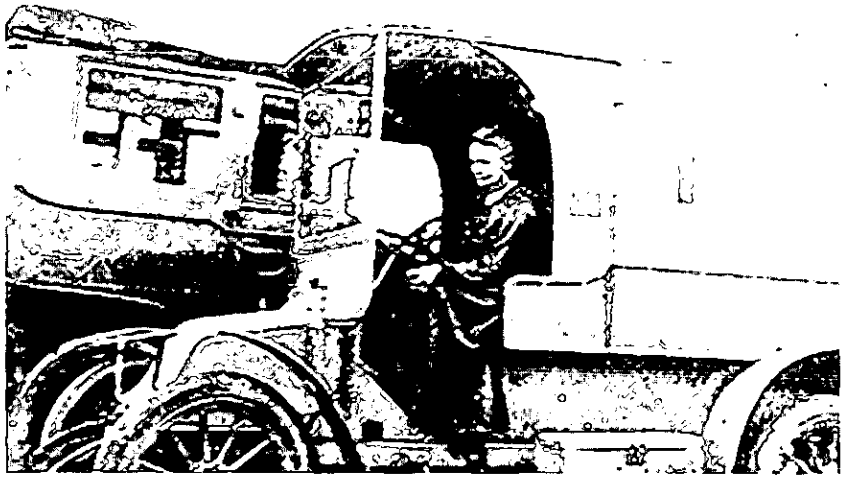
تفاوت آزمایشگاه کوری با آزمایشگاه دیگر در آن بود که گستره‌ی فعالیت وسیع تری داشت. در حقیقت، این جا شبکه‌ی وسیعی از سنجه شناسی، وسایل و سیاست‌ها درهم تنیده بود.

ماری کوری شدیداً باور داشت که پرتوزایی باید کاملاً در فرانسه توسعه یابد؛ زیرا فرانسه کشوری بود که این پدیده در آن کشف شده بود و این امر را حیاتی می‌دانست که یک انستیتو تحقیقاتی برای پرتوزایی و کاربردهای آن بنا نهاده شود. او می‌دانست که این آزمایشگاه باید چه‌نوع آزمایشگاهی باشد. یک مرکز چند منظوره که در فیزیک، شیمی، علوم کاربردی، سنجه شناسی و پزشکی تحقیق کند. همان طور که در سال ۱۹۱۲ درباره‌ی انستیتوی رادیم (که در آن زمان در حال ساخته شدن بود) نوشت: «رئیس این مؤسسه نه تنها مجبور است که تحقیقات صرفاً علمی را رهبری کند، بلکه باید با ارتباط با صنایع، سهمی نیز در پیشرفت عناصر پرتوزا در فرانسه داشته باشد. رئیس باید به‌طور مستمر یک کارخانه کوچک متعلق به مؤسسه را اداره کند. او باید با رهنمودهای فنی به پیشرفت کاربردهای زیست شناختی و پزشکی کمک کند.»

در طول جنگ جهانی اول، همه‌ی کارهای رسمی در آزمایشگاه کوری به حالت تعلیق درآمد، چون بسیاری از کارمندان او به جنگ فراخوانده شدند. اما ماری کارهایش را با ترتیب دادن سخنرانی درباره‌ی پرتوشناسی برای پرستاران ادامه داد. همچنین او ماشین‌های نظامی را به مواد پرتوشناختی مجهز کرد تا به زخمی‌ها کمک کند. در سال ۱۹۱۶، سرویسی در نزدیکی جبهه به وجود آورد تا لوله‌های پر از رادون را برای سلامتی کارمندان ارتش و برای معالجه‌ی سربازان مجروح فراهم آورد.

پس از پایان جنگ در سال ۱۹۱۸، کوری دوباره به سراغ مشکلات تشکیلاتی آزمایشگاه خود برگشت و شروع به صحبت درباره‌ی مشکلات مالی کرد که انستیتوی رادیم با آن مواجه بود. او می‌خواست یک مرکز جهانی بنا نهد تا پرتوزایی و کاربردهای آن را مطالعه کند و کوشش‌های او برای تأسیس این انستیتو که قبل از جنگ آغاز شده بود، شدت گرفت. کوری به انستیتو رادیم به عنوان بخشی از یک انستیتوی بزرگ‌تر نگاه می‌کرد که در آن، فیزیکدان‌ها، شیمیدان‌ها، زیست‌شناسان، پزشکان و صنعتگران با هم کار می‌کردند. او به این مرکز به عنوان یک مرکز ملی برای معالجه با رادیم نگاه می‌کرد که شامل یک آزمایشگاه زیست شناسی تجربی بود که به مطالعه‌ی بیماران سرطانی که با رادیم معالجه می‌شدند، می‌پرداخت، و یک آزمایشگاه فیزیک با کارمندان مجرب و کارآزموده که می‌توانستند، لوله‌های رادون را آماده کنند و پرتوزایی را اندازه بگیرند. یک آزمایشگاه رادیم درمانی و یک زمین بزرگ برای ساختن عناصر پرتوزا، جزئی از نقشه‌ی او بود.

خوشبختانه **کلودیوس ریگرد** که آزمایشگاهش در انستیتوی رادیم مختص مطالعه‌ی سرطان بود، در دغدغه‌های کوری شریک بود. آن‌ها کوشش مشترکی را برای تأمین پشتوانه‌ی مالی اضافی آغاز کردند که بالاخره به تشکیل «بنیاد کوری» در سال ۱۹۲۰ انجامید. هدف این بنیاد، توسعه‌ی انستیتوی رادیم و



شکل ۳. در سال ۱۹۱۶، ماری کوری سرویسی برای این که لوله‌های پر شده از گاز رادون و مواد دیگر پرتوشناختی را به سازمان بهداشت ارتش فرانسه انتقال دهد، راه‌اندازی کرد. از لوله‌ها در معالجه‌ی سربازان مجروح استفاده می‌شد. در این عکس، ماری در سال ۱۹۱۷، در حال راندن یکی از این ماشین‌های نظامی تجهیز شده مشاهده می‌شود.

تأمین منابع کافی برای آن و اطمینان از این مطلب بود که کاربردهای رادیم به درستی انجام گرفته است. بسیاری از همکاران کوری در صنعت رادیم به او کمک کردند که این مرکز را تأسیس کند؛ از قبیل هنری دوروچیلد که بنیاد را مجهز به اولین وسایل کرد، و آرمه دولیزل که عضوی از هیأت مدیره‌ی آن شد. در دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰، بنیاد کوری یکی از مهم‌ترین سازمان‌ها در جهان برای معالجه‌ی سرطان شد؛ ابتدا با جمع کردن بودجه‌ی تحقیقاتی کافی و سپس با تجهیزات پزشکی. در سال ۱۹۳۲، کوشش‌های کوری به ثمر نشست و یک آزمایشگاه صنعتی، وابسته به آزمایشگاه انستیتوی رادیم، در «آرکوی»، نزدیک پاریس تأسیس شد. ماری کوری ریاست انستیتو را بر عهده گرفت که شاید مهم‌ترین مرکز تحقیقاتی فرانسه در آن زمان بود. این اهمیت به خاطر کیفیت کارمندان و تعداد انتشارات آن بود و این که یکی از مراکز مهم پرتوزایی در جهان بود.

میراث ماری کوری

اندکی پیش از مرگ ماری، در انستیتو رادیم دخترش ایرنه و دامادش فردریک ژولیو ـ کوری، پرتوزایی مصنوعی را کشف کردند. این یافته‌ای بود که برای استفاده از رادیم پیامدهای مهمی داشت؛ چون باعث می‌شد، رادیوایزوتوپ‌های مصنوعی، از قبیل ایریدیم و کبالت، به سرعت جایگزین رادیم شوند. پس از مرگ او بر اثر سرطان خون در سال ۱۹۳۴ که به خاطر تماس مستمر و طولانی او با پرتوهای پرانرژی ایجاد شده بود، ایرنه و شوهرش کار او را ادامه دادند.

برای ماری کوری و همکارانش، تحقیقات صنعتی بسیار مهم بود. اما فعالیت‌های او در این زمینه اغلب توسط تاریخ‌نویسان نادیده گرفته می‌شود. تاریخدانان بیش‌تر روی کشف رادیم توسط او تأکید می‌کنند. در سال ۱۹۲۳، با تسلط اتحادیه‌ی معدنی کاتانگای علیای بلژیک بر بازار، صنایع رادیم فرانسه تولید رادیم را متوقف کرد. اما شرکت‌های فرانسوی به ساخت وسایل کاربرد رادیم به ویژه در زمینه‌ی پزشکی ادامه دادند. گرچه که این فعالیت هم، در دهه‌ی ۱۹۷۰، هنگامی که استفاده از رادیم در فرانسه ممنوع گشت؛ متوقف شد.

ماری کوری میراث عظیمی برای علم باقی نهاد. به‌جز کمک او برای ایجاد یک روش علمی جدید، فیزیکدانان هسته‌ای و پرتوشیمیدانان بسیاری را در آزمایشگاهش تربیت کرد. فعالیت‌های زیاد او، شخصیت قوی و محکمش، و عقاید او درباره‌ی روش تحقیق علمی، دامادش فردریک ژولیو ـ کوری را بسیار تحت تأثیر قرار داد. او «مجمع تحقیقی ملی فرانسه» (CNRS) را بعد از جنگ جهانی دوم تجدید سازمان داد و «آژانس انرژی اتمی» فرانسه را تأسیس کرد (CEA). هر دوی این تأسیسات امروزه هم وجود دارند. در همین حال، مؤسسه‌ی کوری در سال ۱۹۷۸، از اتحاد و ترکیب انستیتوی رادیم و بنیاد کوری به وجود آمد که اکنون هم به پژوهش در مورد سرطان و درمان آن اختصاص دارد و از هر زمان دیگری با اهمیت‌تر است.

صدسال پس از کشف رادیم توسط ماری کوری، مقام ماری کوری به عنوان یکی از بزرگ‌ترین زنان در دنیای علم ثابت باقی مانده است. اما شاید حالا زمانی است که نقش عمده و مهم او در دنیای علم به عنوان یک پیشرو را مورد مطالعه‌ی بیش‌تر قرار دهیم. در تمام زمینه‌های علمی شرکت می‌کرد و به خصوص همکاری نزدیکی با صنعت داشت. او یکی از مؤسسان آزمایشگاه‌های علمی گوناگون و مهم در فرانسه به شمار می‌رود.

زیرنویس:

1. sur une nauvelle substance forement radioactive
2. Ecole municpale de Physique et Chimie Industrielles
3. Pitch blend

منبع:

Physics World. December 1998, p.35-9.

یک منبع آلودگی مدرن در اتاق‌های جراحی

تیم‌های جراحی، برای جلوگیری از نفوذ میکروب‌ها به بدن بیمار، در حین عمل جراحی، به اقدام‌های عجیبی دست می زنند. ماسک روی دهان می گذارند، پیش از آن که دستکش به دست کنند، دست‌هایشان را به دقت می شویند، و وسایل جراحی را در دمای بالا و محلول‌های الکل استریلیزه می کنند. اخیراً در اتاق‌های جراحی، منبع کوچکی از میکروب‌ها را یافته‌اند که سال‌ها از چشم‌ها پنهان مانده بود. آن منبع را می‌توان در این عکس دید. فکر می کنید، چگونه ابزارهای الکترونیکی مدرن می‌توانند عامل آلودگی میکروبی شوند؟

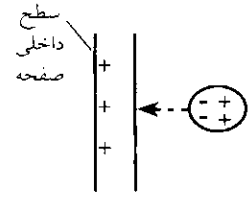
هالیدی، رزنیک، واکر
مترجم: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

در عمل آندوسکوپی، جراح داخل بدن بیمار را روی صفحه‌ی نمایش یک نمایشگر ویدیویی می‌بیند. تصویر صفحه توسط الکترون‌هایی تولید می‌شود که از پشت نمایشگر به سوی صفحه می‌روند. برای جذب این الکترون‌ها، صفحه همواره دارای بار مثبت نگه داشته می‌شود. صفحه‌ی باردار، همچنین گرد و غبار اتاق جراحی و ذره‌های روی نوار پانسمان، سلول‌های پوست، و مانند آن را به خود جذب می‌کند. اگر یک ذره‌ی معلق در هوا دارای بار منفی باشد، به سطح خارجی صفحه‌ی نمایش کشیده می‌شود. اگر هم به لحاظ الکتریکی خنثا باشد، برخی از الکترون‌های رسانش آن می‌توانند، به آن سمتی از ذره که در کم‌ترین فاصله از صفحه قرار دارد، کشیده شوند و در آن ذره، یک بار القا کنند (شکل ۱ ـ الف). این ذره سپس به سوی

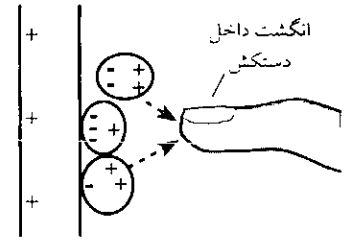
سطح خارجی صفحه کشیده می‌شود؛ درست همان‌طور که یک میله‌ی مسی بر اثر القای بار به سوی یک میله‌ی پلاستیکی باردار کشیده می‌شود.

چون بسیاری از ذراتی که روی سطح خارجی صفحه جمع شده‌اند، حامل میکروب هستند، صفحه با میکروب‌ها آلوده می‌شود. فرض کنید، انگشتان دست یک جراح که دستکش پوشیده است، برای نشان دادن بخش خاصی از تصویر، مثلاً برای توضیح یک نکته‌ی جراحی مهم به سایر اعضای تیم جراحی،

به چند سانتی متری صفحه‌ی نمایش برسد (شکل ۱ ـ ب). آن‌گاه نوک انگشتان که دارای بار منفی شده است، باعث می‌شود که ذرات (ذره‌های معلق هوا یا ذره های روی صفحه) روی نوک انگشتان دستکش جمع شوند. وقتی که در پی آن، جراح بدن بیمار را با دستکش‌های آلوده لمس می‌کند، میکروب‌ها روی بدن بیمار یا (بدتر) داخل بدن او قرار می‌گیرند. برای دوری جستن از این خطر، امروزه جراحان آگاه شده‌اند که نباید انگشتان دست خود را نزدیک نمایشگر ویدیویی ببرند.



(شکل ۱ـ الف) سطح مقطعی از صفحه‌ی نمایش یک نمایشگر ویدیویی. صفحه که دارای بار مثبت شده است، روی غبار خنثایی در نزدیکی آن، بار القا کرده است.



(شکل ۱ـ ب) انگشت داخل دستکش (به مقیاس نیست) که به نزدیکی صفحه آورده شده است، بار القا شده دارد و می‌تواند غبار را از هوا یا صفحه جذب کند.

منبع:

Fundamentals of Physics. Halliday, Resnick, Walker. John wiley & sons. 2005.

موهبت بذله‌گویی

محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر
skhoshbin@yahoo.com

«یکی از ویژگی‌های معلم خوب، شوخ‌طبعی است. شوخ‌طبعی فایده‌های زیادی دارد. بدیهی‌تر از همه این‌که شاگردان را سر حال و متوجه نگه می‌دارد. چون آن‌ها هیچ‌وقت کاملاً مطمئن نیستند که کمی بعد چه پیش خواهد آمد... البته بعضی درس‌ها، مثل ریاضیات و علوم، چندان شوخی‌بردار نیستند، اما حتی در این کلاس‌ها هم معلم عاقل، می‌تواند به طنزگریزی بزند. مسلم است که ۵۵ دقیقه کار به اضافه‌ی پنج دقیقه لبخند، بسیار باارزش‌تر از ۶۰ دقیقه کار مداوم است.»

گیلبرت هایت[1]

من بعضی اوقات متهم می‌شوم که کلاس‌هایم را نمی‌توانم اداره کنم. با این حال، در حدود ۱۰ سالی که تدریس کرده‌ام، خودم هیچ‌وقت حس نکرده‌ام که وادادهام و یا کلاسی از اداره‌ام خارج شده است. وقتی که پیگیر ماجرا می‌شوم، می‌فهمم که ماجرا [غالباً] از مسؤولی آب می‌خورد که استادان را حاضر غایب می‌کند. (توی دانشگاه آزاد رسم است که یکی، حضور استادان را تیک می‌زند. من به این قبیل افراد می‌گویم، «مسؤول تیک زدن» و همیشه از خودم می‌پرسم، آن‌ها در جلسه‌ی خواستگاری، شغلشان را به خانواده‌ی عروس چه گفته‌اند؟!)

ولی آن بیچاره‌ها هم حق دارند. یعنی دروغ نمی‌گویند. همیشه از کلاس‌های من صدای خنده و هیاهو بلند است که امکان دارد، حتی مزاحم کلاس‌های دیگر هم بشود. ولی واقعاً ماجرا چیست؟ حقیقتش، هر ترم که قرار است شروع شود، غمم می‌گیرد. باز همان رابطه‌ها، باز همان قوانین، باز همان جمله‌های تکراری... واقعاً بدنم می‌لرزد. و وقتی که به ۲۰ سال بعد فکر می‌کنم که من باز دارم همین جمله‌های تکراری را بازگو می‌کنم، بیش‌تر افسرده می‌شوم. از این لحاظ، معلمی واقعاً شغلی ملال‌آور و غیر قابل تحمل است.

من به تدریج درک کردم که راه خروج از این ملالت، شوخ‌طبعی و بذله‌گویی خود معلم است. البته شوخ‌طبعی موهبتی الهی است که فرنگی‌ها به آن "The gift of wit" می‌گویند. یعنی نمی‌شود به زور شوخ‌طبع و بذله‌گو شد و من از این بابت برای معلم‌هایی که دارای این حس نیستند، متأسفم. مثلاً من خودم این موهبت را به طرز غریبی از نوباوگی، در خودم حس می‌کردم. یادم هست با این که درسم خوب بود، همیشه دلقک کلاس بودم. وقتی که سوم ابتدایی بودم، معلمم خیلی محترمانه از من می‌خواست بچه‌ها را بخندانم و بعد یک آدامس خروس به من جایزه می‌داد.

توجه کنید که من نمی‌خواهم راجع به خودم بگویم، بلکه خودم را به عنوان مثالی دَم دست معرفی کردم. می‌خواهم بگویم، اگر شما شوخ‌طبع و بذله‌گوی مادرزاد هستید، نباید برای حفظ پرستیژ معلمی، مانع از فوران آن در کلاس شوید. اگر شوخ‌طبع و بذله‌گو هستید، خوب است چند تا جوک محترمانه را هم به معلوماتتان بیفزایید. من با این که برای فرار خودم از ملالت معلمی این راه را برگزیدم، به تدریج دریافتم که این روش چه تأثیر بسزایی روی خود کلاس هم دارد! من نوشته‌ای که مقاله‌ام را با آن آغاز کردم، چند سالی پس از کشف غریزی خودم خواندم و از خواندن آن واقعاً محفوظ شدم. من راهی را آزموده بودم که یکی قبل از من هم آن را آزموده بود.

یک بار توانستم به درستی بازدهی این روش را محک بزنم. سال ۱۳۸۰، به مدد دوست مرحومم، شادروان دکتر **مجید ابوالحسنی**، در «دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی» برای دانشجویان مهندسی برق و مکانیک آن دانشگاه، فیزیک پایه را تدریس کردم و پرخاطره‌ترین دوره‌ی معلمی من رقم خورد. در این دانشگاه، امتحانات درس‌های پایه مشترک بود و مثل امتحانات نهایی برگزار می‌شد. یعنی معلم برگه‌های دانشجویان خود را تصحیح نمی‌کرد و به این ترتیب، نمره‌ای که دانشجو کسب می‌کرد، بهترین معیار برای بازدهی یک کلاس بود. در آن سال دانشجویانم در بین تمام کلاس‌ها بالاترین نمره‌ها را کسب کردند؛ حتی چند نفر ۲۰ گرفتند که واقعاً بی‌نظیر بود.

آن سال به نتیجه‌ی دیگری هم رسیدم: هرچه بار علمی دانشجویان (دانش‌آموزان) کلاس بالاتر باشد، بازدهی روش من هم بالاتر می‌رود. چون در هر حال وظیفه‌ی اداره‌ی کلاس و حفظ حریم‌های آن به عهده‌ی مدرس است. ولی آموختم، هرچه دانشجویانم مستعدتر باشند، می‌توانم مرزهای این حریم‌ها را بیش‌تر افزایش دهم. منظورم این است که وقتی شما تعدادی دانشجوی (دانش‌آموز) ضعیف دارید، یقیناً امکان سوء استفاده‌ی چندتایی و لغزش‌های بعدی آن‌ها وجود دارد. ولی ظرفیت پذیرش دانشجویان مستعد به مراتب بیش‌تر است و آن‌ها خیلی راحت‌تر با این روش کنار می‌آیند و بعد به تدریج مثل خود معلم به آن معتاد می‌شوند.

تنها «پاشنه‌ی آشیل» این روش، دانش و سواد معلم است. اگر شما سواد علمی نداشته باشید، عملاً کلاس از دستتان در رفته است. ولی اگر دانشجویان (دانش‌آموزان) شما را از لحاظ علمی قبول داشته باشند، دیگر خیالتان راحت است و می‌توانید از معلمی لذت ببرید. پس توصیه این است: در دو سه جلسه‌ی اول، خودتان را از لحاظ علمی تثبیت کنید و بعد به تدریج مرز حریم‌ها را افزایش دهید.

شاید هم این مقاله را خیلی نباید جدی گرفت. نویسنده‌ی آن کسی است که اگر نخندد و نخنداند، مریض می‌شود و تنها دلیلی که ممکن است برای معلمی داشته باشد، همین است. احتمالاً او می‌توانست دلقک موفقی بشود که به خاطر نبود امکانات، نشد. برای او کلاس درس مثل یک سن تئاتر می‌ماند و از این خوشحال است که توی این کسادی تئاتر، همیشه ۵۰ ـ ۴۰ نفری تماشاچی دارد. پس می‌توانید توصیه‌های او را خیلی جدی نگیرید!

منبع:

۱. مجله‌ی فیزیک (مرکز نشر دانشگاهی) سال ۱۱، شماره‌ی ۴، ۱۳۷۷. به نقل از:
Gilbert Hight, "The Art of Teaching", 1950.

آیا آنچه آموزش می‌دهیم با آنچه که دانش‌آموز یاد می‌گیرد، ناسازگار است؟

لیلیان سی. مک درموت، دانشگاه واشنگتن
مترجم: عبدالحمید آجرلو

در طول ۱۵ سال گذشته [مقاله در سال ۱۹۹۳ نوشته شده است. م.]، شمار روز افزونی از فیزیکدانان، به رشد زمینه‌ای نوین در تحقیق علمی کمک کرده‌اند: **آموزش و فراگیری فیزیک**. اکنون منابعی غنی از اطلاعات مکتوب در بسیاری از گزارش‌های چاپ شده‌ی این تحقیق، در اختیار ماست. حال عاقلانه به نظر می‌رسد که بپرسیم، آیا آنچه از این تجربه‌ی جمعی آموخته‌ایم، می‌تواند در انجام اصلاحاتی بدیع در **دوره‌ی فیزیک مقدماتی** مفید باشد؟ نتیجه‌های تحقیق نشان می‌دهند که در همه‌ی سطوح آموزش، تفاوت بین آنچه تدریس می‌شود و آنچه فراگرفته می‌شود، اغلب بیش‌تر از آن چیزی است که مدرسان فکر می‌کنند. این اختلاف پرسش زیر را مطرح می‌سازد: آیا عدم تناسبی بین چگونگی آموزش ما و چگونگی فراگیری دانش‌آموزان وجود دارد؟

۱. رویکرد سنتی به آموزش

آموزش فیزیک مقدماتی، از نظر سنتی بر دیدگاه آموزگار درباره‌ی موضوع و درک او از دانش‌آموز مبتنی بود. اغلب معلمان فیزیک مشتاقند که هم دانش و هم علاقه‌ی خود را منتقل کنند. آن‌ها امیدوارند که دانش‌آموزان نه تنها اطلاعات و مهارت‌های خاص را فرا گیرند، بلکه زیبایی و قدرتی را هم که فیزیکدان از طریق فیزیک به دست می‌آورد، درک کنند. آن‌ها که طی ساعت‌ها، روزها، ماه‌ها، و سال‌ها تلاش فکری، دیدگاه خاصی پیدا کرده‌اند، می‌خواهند این دانش را به اشتراک بگذارند. آموزگاران برای نجات دانش‌آموزان از چالش‌ها، غالبا از بالا به پائین و از کل به جزء آموزش می‌دهند. تعمیم دادن در صورت استفاده کاملاً محدود است. دانش‌آموزان به طور فعال در فرایند انتزاع و تعمیم درگیر نمی‌شوند. تفکر استقرایی بسیار اندکی به کار می‌رود و استدلال‌ها اغلب کاملاً استنتاجی هستند. آموزگاران با ارائه‌ی اصول کلی و نشان دادن چگونگی به کار بردن آن‌ها در چند مورد خاص، امیدوارند به دانش‌آموزان یاد بدهند، همان کار را در موقعیت‌های جدید نیز انجام دهند.

بسیاری از آموزگاران با یادآوری این که چگونه از تجربه‌ی خود در فیزیک مقدماتی الهام گرفته‌اند، تمایل دارند دانش‌آموزان را حالت جوان‌تری از خود بدانند. در واقعیت، چنین توصیفی با اقلیت بسیار کوچکی تناسب دارد. برای مثال، در ایالات متحده کم‌تر از یک نفر از هر ۳۰ دانشجوی دانشگاه، فیزیک مقدماتی را مهم می‌دانند. اشکال رویکرد سنتی این است که از احتمال این که درک دانش‌آموزان ممکن است با درک آموزگاران متفاوت باشد، غفلت می‌کند. احتمال دارد، بسیاری از دانش‌آموزان آمادگی یا توانایی یادگیری فیزیک مقدماتی را به شیوه‌ای که تدریس می‌شود، نداشته باشند.

۲ـ چند حکم کلی درباره‌ی فراگیری و آموزش

حکم‌های کلی که در ادامه آورده می‌شوند، مبتنی بر نتیجه‌های تحقیق درباره‌ی فراگیری و آموزش فیزیک هستند. مدارک پشتیبان این حکم‌های کلی از مقاله‌هایی برگرفته شده‌اند که درباره‌ی تحقیق انجام شده توسط گروه آموزش فیزیک «دانشگاه واشنگتن» نوشته شده‌اند؛ هرچند که می‌توان مباحث مشابهی را براساس یافته‌های دیگر محققان مطرح کرد. نتیجه‌های مشابهی هم توسط آموزگاران با تجربه‌ای به دست آمده‌اند که درک دانش‌آموزان را به شیوه‌های غیررسمی در کلاس بررسی کرده‌اند.

الف. توانایی حل مسائل کمّی استاندارد معیار کافی برای درک عملی نیست. *پرسش‌هایی که نیاز به استدلال کیفی و توضیح شفاهی دارند هم ضروری هستند.*

معیاری که اغلب در آموزش فیزیک به عنوان یک اندازه‌ی مهارت در موضوع به کار می‌رود، عملکرد در حل مسائل کمی استاندارد است. چنان که نمره‌های درسی گواهی می‌دهند، بسیاری از دانش‌آموزانی که دوره‌ی مقدماتی معمولی را می‌گذرانند، می‌توانند چنین مسائلی را به طور رضایت‌بخشی حل کنند؛ هر چند که آن‌ها غالباً به فرمول‌های حفظ شده متکی هستند و درکی عملی از فیزیک به دست نمی‌آورند. یعنی توانایی استدلال لازم را برای به کارگیری مفاهیم و اصول متناسب فیزیک در موقعیت‌هایی که قبلاً تجربه نکرده‌اند، ندارند. در این جا این حکم کلی را با مثال‌هایی از دینامیک و الکتریسیته نشان می‌دهیم.

۱ـ مثالی از دینامیک: قضیه‌های ضربه ـ تکانه و کار ـ انرژی

چند سال پیش، در تحقیقی بررسی کردیم که آیا دانش‌آموزان می‌توانند قضیه‌های ضربه ـ تکانه و کار ـ انرژی را در حرکت ساده‌ای که مشاهده می‌کنند، به کار برند یا نه. حرکت توسط وارد کردن نیرویی ثابت بر دو شیء با جرم‌های متفاوت در مسافتی یکسان ایجاد می‌شد. از دانش‌آموزان خواسته شد، تکانه نهایی و انرژی جنبشی اشیا را مقایسه کنند. فقط لازم بود رابطه‌ی بین ضربه و تکانه و کار و انرژی جنبشی فهمیده شود. برای این که پاسخی صحیح تلقی شود، هم مقایسه‌ی درست و هم استدلال منطقی لازم بود. داده‌ها از طریق مصاحبه‌ی فردی جمع‌آوری شدند. ۲۸ دانش‌آموز شرکت کننده از دو کلاس بودند: دانش‌آموزان ممتاز بخش فیزیک مبتنی بر حسابان، و دانش‌آموزان معمولی بخش فیزیک مبتنی بر جبر. پاسخ‌ها، از فرمول‌های اتفاقی تا تلاش‌های آگاهانه برای به کارگیری قضیه‌ها متفاوت بودند. در آغاز فقط تعداد اندکی از دانش‌آموزان توانستند پاسخ‌های رضایت‌بخشی بدهند. با راهنمایی گام‌به‌گام، اغلب دانش‌آموزان بالاخره موفق شدند، در حالی که تقریباً هیچ یک از دانش‌آموزان دوره‌ی مبتنی بر جبر، حتی با کمک هم نتوانستند مفاهیم ضربه و کار را برای یک مقایسه‌ی صحیح به کار گیرند. هنگامی که مسائل کتبی به دانش‌آموزان معمولی دوره‌ی مبتنی بر حسابان هم داده شد، شکست مشابهی مشاهده شد. ناتوانی دانش‌آموزان در تشخیص رابطه‌ی علت و معلولی ذاتی قضیه‌ها، از جمله اشتباهات بسیاری از آنان بود. به نظر می‌رسید، برخی دانش‌آموزان علامت «=» را صرفاً یک رابطه‌ی ریاضی دانسته بودند که در آن، متغیرها هر مقداری را می‌توانستند بگیرند؛ به شرط این که تساوی حفظ شود.

۲ـ مثالی از الکتریسیته: مدارهای الکتریکی

ما درک دانش‌آموزان را از مدارهای الکتریکی، طی چند سال بررسی کردیم. تکلیفی که برای به دست آوردن خطاهای مشترک، مؤثر واقع شد، مبتنی بر سه مدار ساده‌ی متشکل از لامپ‌های یکسان و باتری‌های مطلوب بود: یک مدار دارای یک لامپ، دیگری دارای دو لامپ به طور سری، و سومی دارای دو لامپ به طور موازی. از دانش‌آموزان خواسته شد، پنج لامپ را براساس نور نسبی‌شان درجه‌بندی و استدلال خود را بیان کنند. این مقایسه نیاز به محاسبه ندارد و یک مدل کیفی ساده که در آن، نور لامپ با جریان یا اختلاف پتانسیل مربوط است، کفایت می‌کند.

ما این تکلیف را به ۵۰۰ دانشجوی دانشگاه دادیم. تقریباً همه‌ی احتمال‌ها در ترتیب لامپ‌ها در پاسخ‌ها دیده می‌شدند. قبل و بعد از راهنمایی، فقط حدود ۱۵ درصد دانشجویان یک دوره‌ی مبتنی بر حسابان، ترتیب صحیح را گفتند. نتیجه‌های مشابهی از دبیران فیزیک دبیرستان‌ها و دوره‌های پیش دانشگاهی که علوم دیگر و ریاضی تدریس می‌کنند، گرفتیم. بسیاری از کسانی که نتوانستند ترتیب صحیح لامپ‌ها را بگویند، قادر بودند از قوانین اُهم و کیرشهوف برای حل مسائل پیچیده‌تر استفاده کنند. ظاهراً موفقیت در مسأله‌های استاندارد، شاخص قابل اعتمادی برای درک علمی نیست.

ب) چارچوب فکری منسجم، معمولاً حاصل آموزش سنتی نیست. *دانش‌آموزان باید در فرایند ساخت مدل‌های کیفی‌ای که می‌توانند آنها را به فهم روابط و تفاوت‌های بین مفاهیم کمک می‌کنند، مشارکت داشته باشند.*

شاید جدی‌ترین مشکلی که ما تشخیص داده‌ایم، ناتوانی در تلفیق مفاهیم مرتبط در یک چارچوب منسجم است. استفاده‌ی مکرر از فرمول‌ها رایج است. برای حل مسأله‌های استاندارد نیز ممکن است، کلک‌های ریاضی کفایت کند. در حالی که

دانش‌آموزان برای این که بتوانند یک مفهوم را در موقعیت‌های گوناگون به کار ببرند، نه تنها باید قادر به تعریف آن باشند، بلکه باید بتوانند آن را به مفاهیم دیگر ارتباط دهند. همچنین، آن‌ها باید مفهوم مورد نظر را از مفاهیم مرتبط تمیز دهند.

پرسش درجه‌بندی لامپ‌ها، اولین بار چندین سال پیش در یک آزمون دوره‌ی استاندارد مبتنی بر حسابان مطرح شد. دانش‌آموزان به دلیل نداشتن یک مدل ذهنی که براساس آن پیش‌بینی کنند، متکی به حدس و گمان یا فرمول شدند. حدود ۴۰ درصد از جبر برای یافتن مقاومت معادل مدارهای سری و موازی استفاده کردند، مقادیری در فرمول‌ها برای انرژی تلف شده در مقاومت‌ها جایگزین کردند و نتیجه‌ها را با نور هر یک از لامپ‌ها در شبکه‌های سری و موازی ارتباط دادند. چنین اشتباهاتی ناتوانی در تمیز بین دو مفهوم مرتبط را نشان داد: مقاومت یک جزء و مقاومت معادل یک شبکه‌ی حاوی همان جزء.

یک راهبرد کلی آموزشی که ما آن را برای کمک به دانش‌آموزان در ربط دادن مفاهیم الکتریکی و تشخیص یکی از دیگری، مفید یافتیم، این است که آن‌ها را فعالانه در فرایند ذهنی ساخت مدل کیفی برای یک مدار الکتریکی درگیر کنیم. توسعه‌ی این مدل مبتنی بر مشاهده‌ی رفتار باتری‌ها و لامپ‌ها، ترجیحاً از طریق آزمایش‌هایی است که دانش‌آموزان خودشان انجام می‌دهند.

تجربه نشان داده است، تأکید بر توسعه‌ی مفهوم و مدل‌سازی، از موفقیت در حل مسأله‌های کمّی نمی‌کاهد. بسیاری از دانش‌آموزان به آموزش مستقیم شیوه‌های حل مسأله نیاز دارند تا مهارت‌های لازم را در خود توسعه دهند. در حالی که وقتی معادله‌ها آموزش داده می‌شوند، دانش‌آموزان اغلب از فکر کردن درباره‌ی فیزیک موجود در آن خودداری می‌کنند. اثبات شده است، به تعویق انداختن استفاده از صورت‌گرایی جبری تا بعد از حصول درک کمی، رویکرد مؤثری است. اگرچه وقت کمی صرف حل مسائل عددی می‌شود، نتیجه‌های آزمون‌ها نشان می‌دهند، دانش‌آموزانی که به این شیوه آموزش می‌بینند، اغلب در حل انواع مسأله‌های کمّی بهتر، و در پاسخ دادن به پرسش‌های کیفی بسیار بهتر عمل می‌کنند.

ج) مشکلات مفهومی خاصی با آموزش سنتی حل نمی‌شوند. *مشکلات مفهومی پی‌درپی، باید آشکارا در چالش‌های چندگانه در موقعیت‌های گوناگون حل شوند.*

برخی مشکلات دانش‌آموزان طی دوره‌ی عادی آموزش از بین می‌روند. برخی دیگر به نظر می‌رسد، در مقابل تغییر بسیار مقاومند. اگر این مشکلات خیلی جدی باشند، ممکن است از یادگیری هدفمند جلوگیری کنند؛ حتی اگر بر عملکرد در مسأله‌های کمی اثر نکنند. نمونه‌ای از یک مشکل رایج که تحقیق نشان داده بسیار پایدار است، این باور حدسی است که جریان در مدار مصرف شده است.

مشکلات عمیق با پافشاری معلم از بین نمی‌روند. یادگیری فعال برای روی دادن یک تغییری فکری مهم ضروری است. یک راهبرد آموزشی که آن را برای واداشتن دانش‌آموزان به کار فکری مفید یافته‌ایم. تولید یک ناسازگاری مفهومی و درخواست حل آن توسط دانش‌آموزان است. یک قدم اولیه‌ی مفید، بیرون کشیدن یک مشکل فرضی با فراهم کردن موقعیتی است که در آن، دانش‌آموزان احتمالاً اشتباهات مرتبط مرتکب می‌شوند. وقتی که مشکل مشاهده و شناسایی شد، معلم باید تأکید کند که دانش‌آموزان با مسأله مواجه شوند و آن را حل کنند. برخلاف فیزیکدانان، دانش‌آموزان ممکن است بخواهند ناسازگاری را تحمل کنند.

یک بار مواجهه، به ندرت برای غلبه بر یک مشکل جدی کفایت می‌کند. دانش‌آموزان تحت همه‌ی شرایط یک نوع اشتباه را مرتکب نمی‌شوند؛ شرایط ممکن است مهم باشد. دانش‌آموزان ممکن است پاسخ یک مورد را حفظ کنند، اما اگر در موقعیت غیر منتظره‌ای قرار گیرند، نتوانند به آن مورد پاسخ دهند. آن‌ها برای این که ایده‌های غیرحدسی را در چارچوبی منسجم گردآورند، برای به کارگیری همان مفاهیم و استدلال‌ها در موقعیت‌های گوناگون، و برای نشان دادن واکنش در برابر این تجربه‌ها و تعمیم آن‌ها، به زمان نیاز دارند.

د) رشد قوه‌ی استدلال معمولاً از آموزش سنتی حاصل نمی‌شود. *مهارت‌های استدلال علمی باید با صراحت پرورانده شوند.*

عامل مهم برخی مشکلاتی که دانش‌آموزان با مفاهیم خاص دارند، ناتوانی انجام استدلال کیفی است که امکان دارد برای به کارگیری آن مفهوم ضرورت داشته باشد. غالباً، تفکیک مشکلات مربوط به مفاهیم از مشکلات مربوط به استدلال غیرممکن است. اشتباه امکان دارد نشانه‌ای از یک مشکل مفهومی یا استدلالی یا ترکیبی از آن دو باشد.

شکست در تفکر کلی‌نگرانه در برخورد با سیستم‌های مرکب، نوعی مشکل استدلال است که امکان دارد تفکیک آن از اشتباه مفهومی دشوار باشد. مثلاً در پیش‌بینی روشنایی لامپ، اغلب دانش‌آموزان ترتیب لامپ را فقط در یک دسته تصور می‌کردند. برخی ادعا می‌کردند که اولین لامپ در شبکه‌ی

سری، پرنورترین لامپ است. این اشتباه با سوءتفاهم «تمام شدن» جریان و همچنین با استفاده‌ی نامناسب از استدلال ترتیبی قرین است. برای سیستم‌های دوسویه نظیر اجزای یک مدار الکتریکی، پیش‌بینی رفتار یکی بدون احتساب اثر اجزای دیگری غیرممکن است. با این حال، به جای تصور مدار به عنوان یک کل، بسیاری از دانش‌آموزان فقط بر یک لامپ در هر زمان تأکید داشتند. بقای جریان، یک نکته‌ی انحرافی بود که امکان داشت بتوانند معادله‌ی آن را بنویسند، ولی نتوانند در یک مسأله کیفی به کار ببرند.

پیش‌بینی اثر تغییر در یک مدار، سطح پیچیده‌تری از استدلال کلی‌نگر را می‌طلبد. در یک تکلیف، به دانش‌آموزان نمودار یک مدار نشان داده شد که در آن، شبکه‌ای مرکب از دو شاخه‌ی موازی به صورت سری به دیگر لامپ‌ها وصل شده بود. از دانش‌آموزان خواسته شد پیش‌بینی کنند، وقتی یکی از شاخه‌ها برداشته شود، چه تأثیری بر روشنایی یک لامپ در شاخه‌ی دیگر خواهد داشت. یک پاسخ کلی این بود که روشنایی آن تغییری نخواهد کرد. اغلب توضیح داده شده این بود که لامپ قسمتی از مجموعه است. دانش‌آموزان در برخورد بامدار موازی به طور مستقل به تفاوت بین شاخه‌های موازی که از دو طرف به یک باتری متصل می‌شوند و شاخه‌های موازی که در جاهای دیگری وصل شده بودند، دقت نکردند. دانش‌آموزان برای این که بدانند پیشگویی‌هایشان با دانسته‌های آن‌ها درباره‌ی جریان و اختلاف پتانسیل سازگار است یا نه، به جای استفاده از استدلال کیفی، بر قواعدی که به طور نادرست حفظ کرده بودند، اتکا کردند.

آموزش سنتی مبارزه نمی‌کند، بلکه یک برداشت از فیزیک را به صورت مجموعه‌ای از واقعیت‌ها و فرمول‌ها تقویت می‌کند. دانش‌آموزان اغلب نقش حیاتی استدلال را در فیزیک درک نمی‌کنند، و نمی‌فهمند توضیح از چه چیزهایی تشکیل شده است. آن‌ها به تمرین در حل مسائل کیفی و توضیح استدلال خود نیاز دارند. با این حال، به استقامت در پرورش مهارت در استدلال تمایلی ندارند، مگر این که ساختار دوره‌ی درسی، نظیر امتحانات، بر اهمیت این توانایی تأکید کند.

هـ) ارتباط بین مفاهیم، نمایش‌های رسمی و جهان واقع، اغلب پس از آموزش سنتی دیده نمی‌شود. *دانش‌آموزان به تمرین مداوم در تفسیر صورت‌گرایی در فیزیک و مرتبط ساختن آن با دنیای واقعی نیاز دارند.*

اغلب دانش‌آموزان در ارتباط دادن مفاهیم و نمایش‌های رسمی فیزیک به یکدیگر و به دنیای واقعی ناتوانند. ناتوانی در تفسیر معادله‌ها، شکل‌ها و نمودارها علت بسیاری از مشکلات مفهومی و استدلالی است.

۱. مشکلات در نمایش‌های جبری: مثالی از دینامیک

در انجام تکالیف مقایسه‌ی «ضربه ـ تکانه» و «کار ـ انرژی» دانش‌آموزان، اغلب در ارتباط دادن صورت گرایی جبری به مفاهیم فیزیک و دنیای واقعی دچار مشکل می‌شوند. نمایش یک موقعیت ساده‌ی فیزیکی نشان می‌دهد که کدام قواعد را می‌توان در آن به کار برد. با این حال، تعداد کمی از دانش‌آموزان قادر بودند گزاره‌های ریاضی قواعد را به حرکت گوی‌ها مرتبط سازند.

۲. مشکلات نمایش‌های نموداری: مثالی از نورشناسی

در یک تحقیق دیگر، دانش آموزانی که نورشناسی هندسی خوانده بودند، در مصاحبه‌ای شرکت کردند. در این مصاحبه نمایشی به آن‌ها نشان داده شد که از یک شیء، یک عدسی نازک همگرا و یک تصویر واقعی وارونه روی یک پرده تشکیل شده بود. یکی از تکالیف، پیشگویی تأثیر پوشاندن نیمی از عدسی بود. بسیاری از دانش‌آموزان ادعا کردند، نیمی از تصویر از بین خواهد رفت. نمودارهای پرتوهای آن‌ها می‌کشیدند، گاهی این اشتباه را تقویت می‌کرد. اغلب دو پرتو به صورت بسته نشان داده می‌شدند. دانش‌آموزان در تفسیر نمودارهایشان می‌گفتند، این اشعه‌ها برای تشکیل تصویر ضروری هستند، نه صرفاً برای تعیین موقعیت آن.

۳. مشکلات تصویرهای گرافیکی: مثالی از حرکت‌شناسی

درک دانش‌آموزان از تصویر گرافیکی حرکت، مدتی طولانی موضوع تحقیق یک گروه بود. در یک تکلیف این تحقیق، توپ غلتانی در یک مسیر به دانش‌آموزان نشان داده شد و نموداری از حرکت آن با اوصاف زیر داده شد: توپ با سرعت ثابت روی قسمت مسطح مسیر حرکت می‌کند. وقتی از سطح شیبدار پائین می‌آید، سرعت آن زیاد می‌شود و سپس با سرعت ثابت بیش‌تری روی قسمت آخر مسیر به حرکت ادامه می‌دهد. به دانش‌آموزان گفته شد که موقعیت را در طول مسیر اندازه‌گیری کنند و از آنان خواسته شد، حرکت را در نمودارهایی از موقعیت، سرعت شتاب در برابر زمان نشان دهند. این تکلیف به چند صد دانش‌آموز که حرکت‌شناسی را گذرانده بودند، داده شده. تعداد کمی از دانش‌آموزان که دوره‌ی مبتنی بر حسابان استاندارد را گذرانده بودند، نمودار را به درستی رسم کردند.

ما دشواری‌های دانش‌آموزان را در فرایند معکوس هم آزمودیم: تجسم یک حرکت واقعی از تصویر گرافیکی آن.

توانایی ارتباط دادن حرکت‌های واقعی و تصویرهای گرافیکی آن‌ها، خود به خود با کسب مهارت‌های ساده‌ی رسم نمودار، مانند ترسیم نقطه‌ها، خواندن مختصات و یافتن شیب‌ها به دست نمی‌آید. دانش‌آموزان به تمرین تبدیل کردن هر دو، یعنی از حرکت به نمودار و از نمودار به حرکت، نیاز دارند.

و) آموزش با گفتار، برای اغلب دانش‌آموزان روشی ناکارآمد است. *دانش‌آموزان باید از لحاظ فکری فعال باشند تا درک عملی حاصل کنند.*

همه‌ی مثال‌های مربوط به مشکلات دانش‌آموزان که در بالا درباره‌ی آن‌ها بحث کردیم، یک ویژگی مشترک دارند: موضوع مورد بحث دشوار نیست. بسیاری از مدرسان انتظار دارند، دانشجویان دانشگاه که مطالب مربوط را مطالعه کرده‌اند، قادر به پاسخ گفتن به انواع پرسش‌های مطرح شده باشند. با این حال، ما دریافتیم که درصد زیادی از دانشجویان نتوانستند استدلال اولیه‌ی ضروری را انجام دهند. در برخی تکالیف خاص، نتیجه‌ی حاصل از یک کلاس سنتی و غیرسنتی تفاوت زیادی نداشت و تفاوتی نداشت که پرسش در کجای دوره مطرح می‌شد. به نظر می‌رسید، ثبت‌نام در دوره‌ی آزمایشگاهی مربوط هم، تأثیری بر کیفیت عملکرد دانش‌آموزان نداشت. علاوه بر این، هیچ رابطه‌ای بین موفقیت دانش‌آموزان و شهرت معلم آن دوره به عنوان مدرس، نبود.

مشکل‌هایی که دانش‌آموزان در فیزیک دارند، معمولاً مربوط به ناتوانی معلم در ارائه صحیح و روشن مطلب است. مهم نیست که چه قدر شفاف صحبت می‌کند، و یا این که چه‌قدر در سخنرانی استاد است؛ یادگیری هدفمند صورت نمی‌گیرد، مگر این‌که دانش‌آموزان از لحاظ فکری فعال باشند. آن‌هایی هم که از سخنرانی‌ها، کتاب‌ها و حل مسأله‌ها خوب یاد می‌گیرند، به خاطر این است که مدام از خود می‌پرسند، با مشکل‌ها روبه‌رو می‌شوند و تلاش برای حل آن‌ها را ادامه می‌دهند. اغلب دانش‌آموزانی که فیزیک مقدماتی را می‌گذرانند، در مطالعه تا این حد استقلال فکری ندارند.

با این که قالب سخنرانی و آزمایشگاهی سنتی معایبی دارد، ممکن است هنگامی که تعداد دانش‌آموزان زیاد است، تنها راه ممکن باشد. با این حال، در چنان آموزشی هم لازم نیست یادگیری منفعلانه باشد. چند روش وجود دارد که معلمان کلاس‌های پرجمعیت می‌توانند، برای بالا بردن مشارکت فعال دانش‌آموزان در فرایند یادگیری از آن استفاده کنند.

۳. افزایش تناسب بین آموزش و یادگیری

مطالب کلی که تا این‌جا درباره‌ی یادگیری و آموزش ارائه شدند، از تحقیقاتی استخراج شده‌اند که روی درک دانش‌آموزان فیزیک کلاسیک انجام گرفته‌اند. ما معتقدیم که دانش‌آموزان قابلیت انجام اعمال فراوانی را دارند که باید در تلاش‌های کنونی برای معرفی موضوع‌های جدید و فناوری نوین در فیزیک مقدماتی، در نظر گرفته شوند.

معمولاً فیزیکدانان فرض می‌کنند که موضوع‌های جدید، دانش‌آموزان را بر می‌انگیزانند. در حالی که تجربه‌ی ما نشان داده است، دانش‌آموزان در مواجهه با مطالبی که نمی‌فهمند، برانگیخته نمی‌شوند، بلکه بر عکس، نتیجه‌ها ممکن است این عقیده را تأیید کنند که فیزیک برای اغلب مردم بسیار دشوار است. البته اشتیاق بسیار زیادی برای استفاده از توانایی‌های رایانه به منظور ارتقای یادگیری دانش‌آموزان در فیزیک، مخصوصاً فیزیک مدرن، وجود دارد. اگرچه دلایلی برای خوش‌بینی در این زمینه وجود دارد، تجربه‌ی ما می‌گوید، احتیاط لازم است. موفقیت در تکالیف رایانه‌ای، الزاماً نشان دهنده‌ی رشد مهارتی نیست که بتوان به محیط‌های دیگر انتقال داد. حتی یک برنامه‌ی تعاملی بسیار قوی هم تضمین نمی‌کند دانش‌آموزان آن‌گونه فعالیت ذهنی را که برای پرورش مفهوم ضروری است، انجام دهند.

شاید مهم‌ترین کمکی که این تحقیق می‌تواند به رشد آموزش فیزیک کند، این است که بر اهمیت توجه بیش‌تر به دانش‌آموز تأکید می‌کند. تلفیق موفقیت‌آمیز موضوع‌های معاصر یا فناوری پیشرفته با دوره‌ی مقدماتی، بستگی زیادی به این دارد که چه چیزی تدریس می‌شود و چگونه تدریس می‌شود. حصول اطمینان از مفید بودن برنامه‌ی در نظر گرفته شده برای دانش‌آموزی که آن برنامه برای او طراحی شده، به تحقیق درباره‌ی یادگیری و آموزش فیزیک کلاسیک و مدرن با رایانه و بدون آن، نیاز دارد.

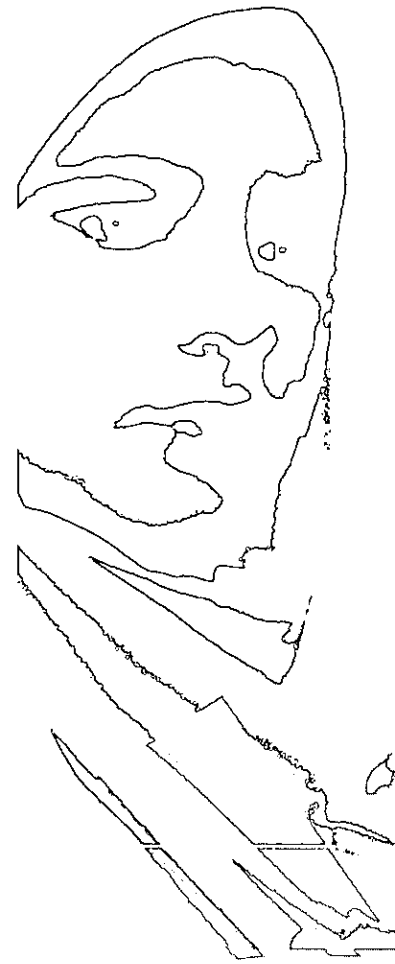
یادگیری هدفمند که نشانه‌ی آن، توانایی تفسیر و استفاده از دانش در موقعیت‌های غیر از آن است که دانش در آن کسب شده، مستلزم این است که دانش‌آموزان از نظر فکری فعال باشند. رشد یادگیری عملی رخ نمی‌دهد، مگر این که دانش‌آموزان خودشان استدلال‌های لازم را برای پرورش و به کارگیری مفاهیم انجام دهند. علاوه بر این، دانش‌آموزان برای این که بتوانند مهارت استدلال در یک موقعیت را به موقعیت دیگر منتقل کنند، باید فرصت‌های استفاده از همان مهارت را در موقعیت‌های گوناگون چند برابر کنند. مجموع این فرایند به زمان نیاز دارد. ناگزیر، این محدودیت هم‌دامنه‌ی موضوع‌هایی را که می‌توان آموخت، و هم سرعت پیشرفت آموزش را محدود می‌کند. موضوع‌های جدید را، بدون حذف مطالب دیگر، نمی‌توان اضافه کرد و به این منظور، گزینش‌هایی باید صورت گیرند. تلاش برای روزآمد کردن فیزیک مقدماتی ارزش فکری و انگیزشی چندانی نخواهد داشت، مگر این‌که آموزش را طوری طراحی کنیم که با نیازها و توانایی‌های دانش‌آموزان متناسب باشد.

یخ بستن حوض و جویبار

تجربه‌ای ساده و آزار دهنده

کریج.اف. بورن

مترجم: عبدالصاحب حسنی نژاد و ناصر عطاشنه



در طول یک سال، دو بار با مسأله‌ای روبه‌رو شدم که هر بار در قالب خاصی مطرح شده بود. این مسأله را اولین بار از تام اشلیتر[1] دریافت کردم که مسؤول پاسخگویی به پرسش‌ها و سؤالات خوانندگان نشریه‌ی Weather wise بود. او برایم نوشته بود: «خواننده‌ای این سؤال را مطرح کرده است که: چرا آب جاری خیلی دیرتر از آب راکد یخ می‌بندد و گفته بود وجود اصطکاک، پاسخی خام و سطحی به این پرسش است و او اطلاعاتی بهتر از این می‌خواهد.»

با استدلالی کمی پاسخ دادم که اصطکاک شاره ربطی به موضوع ندارد و با در نظر گرفتن آن، هنوز هم پرسش مطرح است.

حدود یک سال بعد، نسخه‌ای از شماره‌ی ۲۱-۱۵ سال ۲۰۰۴ هفته نامه‌ی بریتانیایی «گاردین[2]» را باز کردم و در ستون یادداشت‌ها و پرسش‌ها به این پرسش برخوردم: «در هوای سرد وقتی دما به کم‌تر از صفر درجه‌ی سلسیوس برسد، حوض یخ می‌بندد، در حالی که جویبارها مایع می‌مانند. چرا؟»

بلافاصله پاسخ دادم: «جویبار در اصل یک کانال زهکشی است که حتی مدتی طولانی بعد از قطع شدن باران زمین‌های اطراف را زهکشی می‌کند. آب جویبارها از زیر زمین خارج می‌شود، بنابراین خاک از آن در برابر هوای سرد اطراف محافظت می‌کند. در طول زمستان، جویبار به طور مرتب با آب نسبتاً گرمی تغذیه می‌شود، در حالی که آب حوض بسیار کم است و به ندرت تعویض و جبران می‌شود یا اصلاً تعویض نمی‌شود. در عمق چاه (۷۳ فوت)، دما به اندازه‌ای است که حتی در سردترین روزهای زمستان هم آب یخ نمی‌بندد. ولی این آب زیر زمینی از

نکته: تحقیق توسط گروه آموزش فیزیک انجام شده و چون این مقاله در *American Journal of Physics* چاپ شده بود، از شواهد دیگری هم برای تأئید تعمیم‌ها استفاده شد. برای هر مثالی که ارائه شده است، داده‌هایی را درباره‌ی بیش از هزار دانش‌آموز جمع‌آوری کردیم. با این حال، درصد پاسخ‌های صحیح یکسان باقی ماند. برای مطالعه‌ی مقاله‌های بیش‌تر، به آدرس اینترنتی زیر مراجعه کنید:

http/www.phys.washington.edu/grpups/peg/pubs.html

منابع

1. K.Wosilait. P.R.L. Heron. P.S. Shaffer. and L.C. McDermott. "Research as a guide for the development and assessment of curriculum: An example from Light and Shadow". submitted to *Am. J.Phys.* (1997).
2. O'Brien Pride, T., S. Vokos, and L.C. McDermott. "The challenge of matching learning assessments to teaching goals: An example from the work-energy and impulse-momentum theorems". to be published in *Am. J. Phys.* (1998).
3. Steinberg. R., G. Oberem, and L.C. McDermott. "Development of a computer-based tutorial on the photoelectric eject". *Am J. Phys.* 64 (11) 1370 (1996).
4. Grayson, D.L. and L.C. McDermott. "Use of the computer for research on student thinking in physics". *Am. J. Phys.* 64 (5) 557. (1996).
5. McDeromtt, L.C., P.S. Shaffer and M. Somers. "Research as a guide for teaching introductory mechanics: An illustration in the context of the Atwood's machine". *Am. J. Phys.* 62 (1) 46(1994).

راه لوله‌ای به سطح زمین می‌رسد و با اتصال به لوله‌ی دومی، وارد خانه می‌شود. این اتصال در معرض یخ بستن است. یک راه برای برطرف شدن این مشکل، باز گذاشتن شیر و ایجاد باریکه‌ای از آب است. اگر شیر را کاملاً ببندیم و دما به اندازه‌ی کافی افت کند، آب غیر متحرک در لوله‌ی روی سطح زمین منجمد خواهد شد.»

پاسخ سؤال مطرح شده، در شماره‌ی ۱۸-۱۲ ماه فوریه منتشر شده، ولی همان طور که انتظار داشتم، با دو توضیح غلط همراه بود. خواننده‌ای از ایتالیا تأکید کرده بود: «آبی که در جویبارها در حرکت است، از ارتفاعات بلند سرازیر می‌شود، در نتیجه ارتفاع آن کم خواهد شد. ارتفاع یک جسم با انرژی پتانسیل همراه است که می‌تواند به شکل‌های متفاوتی از انرژی تبدیل شود. انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی، یعنی مشخصه‌ای از حرکت تبدیل می‌شود. و سرانجام اصطکاک و چسبندگی، این انرژی را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند. بنابراین تا زمانی که گرمای حاصل از سقوط آب دست کم برابر گرمایی باشد که آب به محیط اطراف خود، یعنی هوا و زمین می‌دهد، آب منجمد نخواهد شد.» پاسخ بعدی را خواننده‌ای از نیوزیلند داده بود: «فیزیک به ما یاد داده که جهان از ذراتی تشکیل شده است. این ذرات همواره فعالند و نسبت به هم در لغزش و ارتعاش هستند. حرکت سریع‌تر این ذرات به معنی تولید گرمای بیش‌تر است. آب حوض بی‌حرکت است، در حالی که آب جویبار همیشه در حرکت است. بنابراین ذرات مذکور با سرعت، شدت و در دفعه‌های بیش‌تری به هم ساییده می‌شوند و این عمل که آب را گرم می‌کند، علت یخ بستن آب حوض و یخ نبستن آب جویبار را بیان می‌کند.»

این توضیح و تعبیرها نشان می‌دهند که ناآشنایی با علم فیزیک به ایالات متحده محدود نمی‌شود. در بخش‌های بعدی برای رد کردن این تعبیرها و تفسیرها همراه نظریه، شواهدی تجربی ارائه داده‌ام.

تبدیل انرژی پتانسیل گرانشی

وقتی جامد یا مایعی به جرم m در میدان گرانشی ثابتی به اندازه‌ی Δz سقوط کند، انرژی پتانسیل آن به اندازه‌ی $mg\Delta z$ کم می‌شود که g شتاب گرانش است. اگر این کاهش انرژی پتانسیل به افزایش انرژی جنبشی، یعنی حرکت جسم بینجامد و بعداً کاملاً به انرژی درونی ترمودینامیکی تبدیل شود، افزایش دمای ΔT به شکل زیر خواهد بود:

$$mg\Delta z = mc\Delta T \qquad (۱)$$

که c گرمای ویژه‌ی جسم (در این جا آب) است. بعداً خواهیم دید که نوشتن معادله‌ی ۱ به شکل زیر، وضوح و روشنی بیش‌تری خواهد داشت:

$$\Delta T / \Delta z = g / c \qquad (۲)$$

احتمالاً معادله‌ی ۲ علت این ادعای [۱] جیمز پرسیکات ژول[۳] در مقابل انجمن بریتانیایی بود که: «... آب در پائین یک آبشار، گرم‌تر از آب بالای آن است. در آبشار نیاگارا که ۱۶۰ فوت ارتفاع دارد، این اختلاف دما حدود یک پنجم درجه‌ی فارنهایت است.» و این مطلب با نقل قولی از **لردکلوین**[۴] ادامه می‌یابد که: «غیر از ژول، چه کسی را می‌توانم ببینم که دماسنج بلندی در دست دارد و آن‌جا قدم می‌زند... او به من گفت... که... می‌خواهد صعود ما را در سقوط آب (آبشار) ببیند.»

من، کارهای جمع‌آوری شده‌ی ژول را زیر و رو کردم، ولی دلیل و شاهدی ندیدم که او حتی در پائین آبشار افزایش دما را سنجیده باشد. اما به فرض هم که این کار را انجام داده باشد، من آن را به عنوان نتیجه‌ای از معادله‌ی انتقال انرژی (معادله‌ی ۲) قبول ندارم، زیرا دمای هوا به طور طبیعی با کاهش ارتفاع به میزان قابل توجهی زیاد می‌شود. محاسبه‌های ژول برای آبشار نیاگارای موجود در خلأ است.

آهنگ کاهش بی‌دررو‌ی[۵] دمای هوای خشک عبارت است از:

$$\Delta T / \Delta z = g / c_p \qquad (۳)$$

که c_p گرمای ویژه‌ی هوا در فشار ثابت است. این معادله نشان می‌دهد که میزان کاهش دما با زیاد شدن ارتفاع (در این‌جا کاهش ارتفاع و زیاد شدن ما را داریم) برای جوّی آرام و متعادل، تقریباً برابر $9/8^{\circ}C/km$ است و این حد متوسط بین جوّ پایدار و جوّ ناپایدار در نمایه‌ی دماست. نظر به اهمیت این پارامتر در علم هواشناسی، بسیاری از منابع این موضوع را مورد بحث قرار داده‌اند [۲-۵].

به عنوان یک قاعده‌ی کلی، هواشناسان معمولاً دو سوم میزان تغییرات بی در روی دمای هوای خشک را برای میزان متوسط کاهش دما با افزایش ارتفاع در جوّ زیرین زمین در نظر می‌گیرند. جوّ زیرین اولین طبقه‌ی جو است که ارتفاعی در حدود ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر دارد. با این حال در نزدیکی سطح زمین اندازه‌ی این میزان تغییرات، ده‌ها و یا صدها برابر بیش‌تر و منفی است؛ یعنی با زیاد شدن ارتفاع دما نیز زیاد می‌شود [۶ و ۷].

گرمای ویژه‌ی آب در حالت مایع تقریباً $4200 J.kg^{-1}.K^{-1}$ و برای هوای با فشار ثابت، در حدود $1000 J.kg^{-1}.K^{-1}$ است. بنابراین، زیاد شدن دما با کم شدن ارتفاع که امری طبیعی و اجتناب‌ناپذیر است، دست کم سه برابر هر نوع زیاد شدن دما بر اثر تبدیل کامل انرژی پتانسیل جاذبه به انرژی درونی ترمودینامیکی است. و خوشبختانه جویبارهای زیادی در هوای زیر انجماد، بدون یخ بستن، کیلومترها به جریان خود ادامه می‌دهند، در حالی که فقط دو سه متر سقوط و تغییر ارتفاع دارند. در نتیجه توضیح‌های ارائه شده توسط خواننده‌ی گاردین دلیل و اعتباری ندارند.

کار چسبندگی

و اما توضیحات ارائه شده به وسیله‌ی خواننده‌ی نیوزیلندی. من همیشه به توضیح‌هایی که از حربه‌ی اصطکاک استفاده می‌کنند، با دیده‌ی شک و تردید نگاه می‌کنم. شاید به این دلیل که دانشجویان آزمایشگاه مقدماتی فیزیک، خیلی سریع و راحت می‌توانند نقطه ضعف این بحث‌ها را دریابند و علت رسیدن به «جوابی غلط» را بیان کنند. در واقع اصطکاک تنها حربه‌ی آدم‌های ناشی و بی‌تجربه است.

میزان گرمای حاصل از اصطکاک در هر واحد حجم یک شاره‌ی نیوتونی در جریان یک بعدی، عبارت است از:

$$\mu\left(\frac{dv}{dz}\right)^2 \qquad (۴)$$

که μ ضریب و چسبندگی دینامیکی و dv/dz گرادیان سرعت است. در واقع، معادله‌ی ۴ کار انجام شده به وسیله‌ی اصطکاک یا چسبندگی است، زیرا نیرویی در مسافت تقسیم بر زمان، ضرب شده است. این مطلب از تحلیل ابعادی و یا شروع از تعریف چسبندگی نیوتونی به دست می‌آید؛ نیروی اصطکاک در واحد سطح به این شکل است:

$$\mu.dv/dz \qquad (۵)$$

برای به دست آوردن میزان کار انجام شده در واحد حجم از این معادله، به کمیتی احتیاج داریم که دارای ابعاد (دیمانسیون) سرعت بر طول باشد. تنها کمیت موجود گرادیان سرعت است. البته این استدلال دقیق نیست و معادله‌ی ۴ با تحلیل دقیق‌تر و پیچیده‌تری به دست می‌آید [۸]. این معادله به تعیین میزان افزایش دما در واحد زمان می‌انجامد:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\mu}{\rho c}\left(\frac{dv}{dz}\right)^2 \qquad (۶)$$

که ρ چگالی آب است. برای مقادیر چسبندگی، چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه‌ی آب در دمایی نزدیک به صفر درجه‌ی سانتی‌گراد، معادله‌ی ۶ به نتیجه‌ی زیر می‌انجامد:

$$\frac{dT}{dt} = ۰/۵\times۱۰^{-۹}\left(\frac{dv}{dz}\right)^2 \left[^\circ C/s\right] \qquad (۷)$$

گرادیان سرعت در شاره‌هایی مثل هوا و آب، فقط در نزدیکی سطح زمین، یعنی در لایه‌ی مرزی زمین، بزرگ و قابل توجه است. جوی آبی را در نظر بگیرید که با سرعت یک متر بر ثانیه جریان داشته باشد (در متن اصلی $\frac{۱}{۱۰}$ متر بر ثانیه ذکر شده است، ولی با محاسبه‌های انجام شده مطابقت نمی‌کند - مترجم). عمق آب را یک دهم متر فرض کنید. در این حالت، گرادیان متوسط سرعت $۱۰s^{-۱}$ خواهد بود. این عدد را به توان دو برسانید تا میزان افزایش دمایی به اندازه‌ی $۱۰^{-۷}\ ^\circ C/s$ را به دست آورید. گرادیان سرعت را ده برابر کنید تا میزان افزایش دما به $۱۰^{-۵}\ ^\circ C/s$ برسد. ده برابر کردن بعدی، میزان رشد دما را به مرتبه‌ی $۱۰^{-۳}\ ^\circ C/s$ می‌رساند.

حال این نتیجه‌ها را با میزان کاهش دمای یک جویبار در هوایی سردتر از آن جویبار مقایسه کنید. میزان متوسط تغییرات دمای جویباری به عمق d عبارت است از:

$$dT/dt = h\Delta T/\rho cd \qquad (۸)$$

h در اصطلاح مهندسان، ضریب انتقال گرماست و ΔT اختلاف دمای بین آب و هواست که عددی منفی است. در بادهایی با سرعت معمولی [۹]، مقدار شاخص ضریب h بین $۱۰w/m^2K$ تا $۱۰۰w/m^2K$ است، در نتیجه اجازه بدهید تا برای سادگی، $h = ۴۰$ را انتخاب کنیم. مقدار ρc برای آب در سیستم SI تقریباً ۴×۱۰^۶ است. از این داده‌ها نتیجه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\frac{dT}{dt} = ۱۰^{-۵}\left(\frac{dv}{d}\right)^2 \left[^\circ C/s\right] \qquad (۹)$$

برای $\Delta T = -۱۰^\circ C$ و $d = ۰/۱m$ تغییرات دما به شکل زیر خواهد بود:

$$\frac{dT}{dt} = -۱۰^{-۳} \left[^\circ C/s\right] \qquad (۱۰)$$

میزان متوسط افزایش دمای یک جویبار در اثر کار و چسبندگی تقریباً $۱۰^{-۷}\ ^\circ C/s$ است. (به معادله‌ی ۷ مراجعه کنید - مترجم.) حتی اگر تخمین ما از گرادیان سرعت آن قدر زیاد باشد که به ده برابر برسد، میزان افزایش دما تنها $۱۰^{-۵}\ ^\circ C/s$ خواهد بود، در حالی که میزان افت متوسط یک دمای جویبار که با هوایی $۱۰^\circ C$ سردتر در تماس است، برابر $۱۰^{-۳}\ ^\circ C/s$ است. به علاوه، وقتی ΔT ثابت باشد، یعنی برابر اختلاف دمای اولیه‌ی هوا و آب باشد، معادله‌ی ۸ برآوردی از زمان یخ بستن آب را ارائه می‌دهد. براساس این تجزیه و تحلیل‌های تخمینی، به نظر می‌رسد که کار و چسبندگی برای حذف سرمایش کافی نیست. برای درک عمق این مفهوم باید دانست، در جایی که به شدت به کار و چسبندگی نیاز داریم، کار و چسبندگی بسیار نادر است: جویبارها از سطح خود سرد می‌شوند؛ یعنی جایی که گرادیان سرعت کم‌ترین مقدار است. در حالی که در کف جویبار، گرادیان سرعت بیش‌ترین مقدار را دارد.

آب می‌تواند به حالت زیر انجماد برود، ولی در طبیعت فقط تا حدود یک درجه زیر انجماد مشاهده شده است (مثلاً دریاچه‌ها، حوض‌ها و جویبارها). زیر انجمادی به مراتب بیش‌تر از این، می‌تواند در ابرها رخ دهد که به ابر سرمایش معروف است [۱۰]. برای مشاهده‌ی نمایش ساده‌ای از حالت زیر انجماد، مرجع ۱۱ را ببینید.

شواهد و دلایل تجربی

متأسفانه، تمام این تجزیه و تحلیل برای قانع کردن کسانی است که استدلال‌هایی نظیر آنچه که نقد کردم، انجام می‌دهند. استدلال‌های نظری نمی‌توانند محرک و مشوق کسانی باشند که نمی‌توانند بحث‌های نظری را بفهمند. آنچه مورد احتیاج است، شاهد و دلیلی تجربی است که غیر قابل انکار و به دور از شائبه‌های نظری و عدم قطعیت باشد. بعد از آن که طرح‌های مکانیکی ناموفق متعددی برای به هم زدن آب در هوای زیر صفر درجه‌ی سلسیوس را اجرا کردم، سرانجام راه سر راستی را انتخاب کردم. در یکی از روزهای سرد فوریه که دمای هوا $-16/5^{\circ}C$ بود، صبح زود شال و کلاه کردم و با دو بطری کوچک که در هر کدام ۱۵cc آب چاه $9^{\circ}C$ ریخته بودم، بیرون آمدم. یکی از بطری‌ها در جای آرامی قرار داشت و دیگری را به طور مرتب و با تمام توان و بدون وقفه تکان می‌دادم. دستکش‌های پشمی ضخیمی هم به دست داشتم. بعد از ۴۵ دقیقه دو بطری را بررسی کردم. آب بطری ساکن تقریباً تا نیمه جامد بود، ولی بطری دومی کاملاً یخ بسته بود و این نتیجه‌ی مورد انتظار بود: آب تکان داده شده، کم و بیش به طور نامنظمی یخ می‌بندد، در حالی که آب موجود در بطری ساکن از بیرون به درون منجمد می‌شود و لایه‌ی یخ آب داخلی منجمد نشده را عایق بندی می‌کند. در نتیجه، زمان انجماد آن را به تأخیر می‌اندازد. واضح است که نتوانستم با تکان دادن، آب را از انجماد باز دارم، پس این ادعا را رد کردم که آب جاری نمی‌تواند یخ ببندد. حرکت به خودی خود (ذاتاً) مانع انجماد آب نمی‌شود، بلکه تعویض پیوسته و مستمر آبی که در لوله یا جویبار موجود است، با آب منبعی (مثلاً آب زیرزمینی) در دمای ثابت است که مانع از یخ بستن آب می‌شود.

چند نکته‌ی آموزنده

یخ نبستن جویبارها ادعایی بیش نیست. بسته به میزان جریان، دما، طول مسیر، عرض جویبار و عمق آن، ممکن است یک جویبار یخ ببندد و سطح رودخانه‌ها واقعاً یخ می‌بندد. با این که جویبارها از لحاظ تعریف نسبتاً کوتاه، باریک و کم عمق هستند، ولی آزمایش تکان دادن آب به طور غیر منتظره‌ای نشان می‌دهد که حتی برای انجماد مقدار کمی آب در هوای $16/5^{\circ}C$ زیر نقطه‌ی انجماد اسمی آب، مدت زمانی طولانی لازم است. سرعت جریان جویبارها ممکن است ۰/۱ تا یک متر بر ثانیه باشد که متناظر با مسافتی چند کیلومتری در یک ساعت است. جویباری که با چشمه‌ای تغذیه می‌شود، زمین ما را دور می‌زند. این جویبار قبل از نفوذ و جذب زمین شدن، یکی دو کیلومتر حرکت می‌کند. بین ظهور و نفوذ آب جویبار در زمین، فرصت کافی وجود ندارد تا آب منجمد شود؛ حتی اگر با آب [گرم] بالای صفر درجه‌ی سانتی گراد تغذیه نشود.

به شدت و به طور مداوم تکان دادن و به هم زدن آب، در واقع می‌تواند دما را اندکی افزایش دهد، ولی اگر بخواهید فنجان قهوه‌ای را با تکان دادن برای صبحانه‌ی خود گرم کنید، قبل از این که به نوشیدنی خود برسید، هلاک خواهید شد.

زیرنویس:

1. Tom Schlater
2. Guardian
3. James
4. Lord Kelvin
5. adiabatic

منابع:

1-Henry A. Bent, The Second Law (Oxford University Press, New York, 1965),pp. 14-15.

2-David Brunt, Physical & Dynamical Meteorology (Cambridge University Press,1952), pp. 39-41.

3- John A. Dutton, The Ceaseless Wind (McGraw-Hill, New York, 1976),pp. 67-72.

4- Craig F. Bohren and Bruce A. Albrecht, Atmospheric Thermodynamics (Oxford University Press, New York, 1998), pp. 108-115.

5- Craig F. Bohren, What Light Through Yonder Window Breaks? (Wiley, NewYork, 1991), pp. 121-129.

6- Rudolph Geiger, The Climate Near the Ground (Harvard University Press, Cambridge, MA, 1965), p. 74-75.

7- O. G. Sutton, Micrometeorology (McGraw-Hill, NewYork, 1953),p. 203.

8- Hermann Schlichting, Boundary-Layer Theory, 6th ed(. McGraw-Hill, New York, 1968),p. 266.

9- John H. Lienhard IV and John H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook, 3rd ed. (Phlogiston Press, Cambridge, MA,2003), p. 21.

10- R. R. Rogers and M. K. Yau, A Short Course in Cloud Physics, 3rd ed. (Pergamon, Oxford, 1989),p. 151.

11- Craig F. Bohren, Clouds in a Glass of Beer (Wiley, New York, 1987), pp. 181-184.

مرجع:

Craig F. Bohren, The Freezing of Streams and Ponds: A Simple - But Uncomfortable - Experiment, THE PHYSICS TEACHER, Vol. 42, December 2004, pp 522-525.

تاریخچه‌ی مختصر نسبیت

استیون هاوکینگ*
مترجم: سلیمان فرهادیان

نسبیت چیست؟

عملکردش چگونه است؟

چرا همه‌چیز را تغییر داد؟

این مقاله‌ی ساده، به قلم نامدارترین فیزیکدان زنده‌ی جهان نگاشته شده است

در پایان قرن نوزدهم، دانشمندان معتقد بودند که در آستانه‌ی توصیف کامل عالم قرار دارند. آن‌ها فکر می‌کردند که همه‌ی فضا را محیط پیوسته‌ای به نام «اتر» پر کرده است. همان‌طور که صوت را می‌توان انتشار امواج فشار در هوا در نظر گرفت، پرتوهای نور و سیگنال‌های رادیویی را نیز می‌توان امواجی دانست که در این اتر حرکت می‌کنند. برای تکمیل این نظریه فقط لازم بود که اندازه‌گیری‌های دقیقی از ویژگی‌های کشسانی اتر انجام شود. وقتی که این کار انجام می‌شد، همه‌چیز در جای خود قرار می‌گرفت.

اما خیلی زود تضادهایی با مفهوم اتر فراگیر ظاهر شد. انتظار می‌رفت که نور با سرعت ثابت در اتر حرکت کند. بنابراین انتظار داشتیم، اگر در جهت نور حرکت می‌کنیم، سرعت آن کم‌تر به

نظر برسد، و اگر در خلاف جهت نور حرکت می‌کنیم، سرعت آن بیش‌تر شود. اما آزمایش‌ها هیچ دلیلی برای تفاوت سرعت نور به دلیل حرکت آن در اتر نیافتند.

دقیق‌ترین و صحیح‌ترین این آزمایش‌ها را **آلبرت مایکلسون** و **ادوارد مورلی** در سال ۱۸۸۷ در مؤسسه کیس در کلیولند اوهایو انجام دادند. آن‌ها سرعت نور دو باریکه‌ی نور عمود بر یکدیگر را مقایسه کردند. به نظر آن‌ها، چون زمین در چرخش به دور محورش و حرکت در مدارش به دور خورشید از اتر عبور می‌کرد، سرعت نور در این دو باریکه باید با هم فرق می‌کرد. اما مایکلسون و مورلی هیچ‌گونه اختلاف روزانه و سالانه‌ای بین سرعت این دو باریکه نیافتند. مثل این بود که نور، بدون توجه به چگونگی حرکت شما همیشه با سرعت ثابتی حرکت می‌کند.

جورج فیتز جرالد، فیزیکدان ایرلندی و **هندریک لورنتس**، فیزیکدان هلندی اولین کسانی بودند که دریافتند، اجسامی که در اتر حرکت می‌کنند، باید منقبض و ساعت‌های متحرک باید کندتر شوند. این منقبض‌شدن و کندشدن باید به گونه‌ای باشد که بدون توجه به سرعت حرکت نسبت به اتر، که فیتز جرالد و لورنتس آن را ماده واقعی فرض می‌کردند، سرعت یکسانی را برای نور اندازه بگیرند.

اما **آلبرت اینشتین**، کارمند جوان اداره‌ی ثبت اختراعات سوئیس دربرن، مفهوم اتر را کنار گذاشت و مسأله‌ی سرعت نور را یک‌بار برای همیشه حل کرد. او در ژوئن سال ۱۹۰۵ و در فرایند آغاز دو انقلاب مفهومی که شناخت ما را از زمان، فضا و واقعیت تغییر داد، یکی از سه مقاله‌ای را نوشت که موقعیت وی را به عنوان یکی از پیشگامان علم در جهان تثبیت کرد.

اینشتین در این مقاله خاطر نشان کرد، چون نمی‌توان حرکت در اتر را آشکار ساخت، پس مفهوم اتر کاملاً زائد است. در عوض، کار خود را با این فرض آغاز کرد که قانون‌های علمی باید برای تمام ناظرانی که آزادانه حرکت می‌کنند، یکسان به نظر برسد. به ویژه، تمام ناظران، بدون توجه به حرکتشان، باید سرعت یکسانی را برای نور اندازه بگیرند.

در این صورت، این عقیده را باید کنار می‌گذاشتیم که کمیتی جهانی به نام زمان وجود دارد که تمام ساعت‌ها آن را اندازه می‌گیرند. در عوض باید می‌پذیرفتیم که هر کس دارای زمان مشخصی مربوط به خود است. ساعت‌های دو نفر در صورتی یکسان هستند که نسبت به یکدیگر ساکن باشند. اما اگر نسبت به هم حرکت کنند، چنین نخواهد بود. این موضوع را تعداد زیادی از آزمایش‌ها تأئید کردند. از جمله در یکی از این آزمایش‌ها، ساعت بسیار دقیقی به دور دنیا به پرواز درآمد و سپس با ساعت ساکنی مقایسه شد. حتی ادعا شد اگر می‌خواهید مدت بیش‌تری زندگی کنید، همواره به طرف شرق پرواز کنید تا سرعت حرکت هواپیما به سرعت چرخش زمین افزوده شود. البته کسر کوچکی از ثانیه که به این ترتیب به دست می‌آورید، بسیار کم‌تر از کاهش طول عمرتان بر اثر خوردن غذاهای خطوط هواپیمایی است.

این فرض اینشتین که قانون‌های طبیعت باید برای تمام ناظرانی که در حرکت آزادند، یکسان به نظر برسد، مبنای نظریه‌ی نسبیت است. نظریه‌ی او به این دلیل نسبیت نامیده می‌شود که نشان می‌دهد، فقط سرعت‌های نسبی اهمیت دارند. زیبایی و سادگی این نظریه بسیاری از دانشمندان و فیلسوفان را متقاعد کرد، اما مخالفان زیادی نیز وجود داشتند. اینشتین دو مفهوم مطلق از علم قرن نوزدهم را برانداخت: سکون مطلق که اتر نشانگر آن بود، و زمان مطلق یا زمان عام که تمام ساعت‌ها آن را اندازه می‌گرفتند. مردم می‌پرسیدند، آیا این موضوع نشان می‌دهد که هیچ معیار مطلق اخلاقی وجود ندارد و همه چیز نسبی است؟

این دلواپسی طی دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ نیز ادامه داشت. هنگامی که اینشتین در سال ۱۹۲۱ جایزه‌ی نوبل را دریافت کرد، از یک تحقیق مهم او که البته با معیارهای اینشتین اهمیت کم‌تری دارد و آن هم در سال ۱۹۰۵ انجام شده بود، تقدیر به عمل آمد، ولی از نسبیت که بسیار بحث‌انگیز به نظر می‌آمد، ذکری نشد. من هنوز هم هر هفته دو یا سه نامه دریافت می‌کنم که نویسندگانشان مدعی هستند، اینشتین برخطاست. با این همه، هم‌اکنون مجامع علمی نظریه‌ی نسبیت را به طور کامل پذیرفته‌اند و صحت پیش‌بینی‌ها و کاربردهای بی‌شمار آن را تأئید کرده‌اند.

یکی از پیامدهای مهم نسبیت، رابطه‌ی بین جرم و انرژی است. این فرض اینشتین که سرعت نور باید برای تمام افراد یکسان باشد، بیانگر آن است که هیچ چیز نمی‌تواند سریع‌تر از نور حرکت کند. آنچه که اتفاق می‌افتد، این است که انرژی لازم برای شتاب دادن به یک ذره یا یک فضاپیما، باعث افزایش جرم آن جسم می‌شود و در نتیجه، شتاب دادن بیش‌تر به آن مشکل‌تر می‌شود. شتاب دادن به یک ذره تا رسیدن به سرعت نور غیرممکن است، زیرا بی‌نهایت انرژی لازم دارد. هم‌ارزی جرم و انرژی در رابطه‌ی مشهور اینشتین یعنی $E=mc^2$ خلاصه شده است. شاید این رابطه، تنها رابطه‌ای باشد که مردم کوچه و خیابان نیز با آن آشنا هستند. یکی از پیامدهای این قانون آن است که اگر هسته‌ی یک اتم اورانیم به دو هسته شکافته شود، به طوری که جرم مجموع آن‌ها اندکی کم‌تر از جرم اتم اولیه باشد، انرژی عظیمی آزاد می‌شود.

در سال ۱۹۳۹ که جنگ جهانی دوم آغاز شد، گروهی از دانشمندان که متوجه معانی ضمنی نظریه‌ی نسبیت شده بودند، اینشتین را مجاب کردند که بر دغدغه‌های صلح‌طلبانه‌اش غلبه کند و نامه‌ای به رئیس جمهور **روزولت** بنویسد و ایالات متحده

را برای شروع یک برنامه‌ی پژوهش هسته‌ای تشویق کند. این نامه به اجرای طرح مانهاتان و تولید بمب اتمی انجامید که در سال ۱۹۴۵ بر فراز هیروشیما منفجر شد. برخی گناه بمب اتمی را به گردن اینشتین می‌اندازند، زیرا رابطه‌ی بین جرم و انرژی را کشف کرد. اما این کار درست مثل آن است که نیوتون را به خاطر کشف گرانی که باعث سقوط هواپیماها می‌شود، سرزنش کنیم. اینشتین هیچ نقشی در طرح مانهاتان نداشت و این انفجار او را وحشت‌زده کرد.

هرچند نظریه‌ی نسبیت با قانون‌های حاکم بر الکتریسیته و مغناطیس کاملاً هماهنگ بود، اما با قانون گرانی نیوتون سازگاری نداشت. طبق این قانون، اگر توزیع ماده را در ناحیه‌ای از فضا تغییر می‌دادید، تغییر در میدان گرانشی به‌طور لحظه‌ای در همه جای عالم احساس می‌شد. این نه تنها به معنی آن است که می‌توان سیگنال‌ها را سریع‌تر از نور ارسال کرد (که نسبیت آن را ممنوع می‌سازد)، بلکه به وجود زمان مطلق یا جهانی نیاز دارد که نسبیت آن را به نفع زمان شخصی یا نسبیتی برانداخته است.

اینشتین در سال ۱۹۰۷ که هنوز هم کارمند اداره‌ی ثبت اختراعات برن بود، از وجود این مشکل آگاهی داشت اما تا سال ۱۹۱۱ که به دانشگاه آلمانی پراک رفت، به‌طور جدی به این موضوع نپرداخت. وی دریافت که رابطه‌ی تنگاتنگی بین شتاب و میدان گرانشی وجود دارد. کسی که در یک جعبه‌ی بسته قرار گرفته است، نمی‌تواند بگوید که در میدان گرانشی زمین در حالت سکون است یا در موشکی در فضای آزاد شتاب می‌گیرد. (این موضوع قبل از آغاز عصر سفرهای فضایی مطرح شد و در نتیجه، اینشتین به‌جای آن‌که در مورد افرادی در فضاپیما صحبت کند، به کسانی می‌اندیشید که در آسانسور قرار دارند. اما در یک آسانسور نمی‌توان بدون روبه‌روشدن با فاجعه، چندان شتاب گرفت یا آزادانه سقوط کرد.)

اگر زمین مسطح بود، هم می‌شد گفت که به دلیل وجود گرانی سیب روی سر نیوتون سقوط کرد و هم می‌شد گفت که سر نیوتون به سیب خورد؛ چون نیوتون و سطح زمین رو به بالا شتاب می‌گرفتند. با این همه، به نظر نمی‌رسید که این هم ارزی بین شتاب و گرانی برای زمین کروی صادق باشد؛ زیرا افرادی که در طرف دیگر جهان بودند هم باید در جهت دیگر شتاب بگیرند و در عین حال، در فاصله‌ی ثابتی از ما قرار بگیرند.

در سال ۱۹۱۲، اینشتین هنگام بازگشت به زوریخ فکر بکری به ذهنش رسید. وی متوجه شد، اگر بده بستانی در هندسه‌ی واقعیت وجود داشته باشد، هم ارزی گرانی و شتاب اثبات می‌شود. چه می‌شد اگر فضا زمان - موجودی که اینشتین با ادغام سه بعد آشنای فضا با بعد چهارم زمان، ابداع کرد - خمیده بود و چنان که پیش از آن فرض می‌شد، مسطح نبود؟ به نظر او، جرم و انرژی باید فضا زمان را به گونه‌ای که هنوز تعیین نشده بود، خم می‌کردند. اجسامی همانند سیب‌ها و سیاره‌ها می‌خواهند در فضا زمان در خط راست حرکت کنند، اما مسیر حرکتشان را میدان گرانشی خمیده می‌سازد؛ زیرا فضا زمان خمیده است.

اینشتین به کمک دوستش **مارسل گروسمان**، نظریه‌ی فضاها و سطح‌های خمیده را بررسی کرد. این نظریه را **برنارد ریمان** به عنوان بخشی از ریاضیات محض به وجود آورده بود و اصلاً فکر نمی‌کرد که با دنیای واقعی ارتباط داشته باشد. اینشتین و گروسمان در سال ۱۹۱۳، مقاله‌ای نوشتند و در آن این ایده را مطرح کردند که آنچه ما به عنوان نیروهای گرانشی می‌شناسیم، درست بیان خمیده بودن فضا ـ زمان است. با این همه، به علت خطای اینشتین (که او هم انسان بود و جایزالخطا)، نتوانستند معادله‌هایی را که خمیدگی فضا زمان را با جرم و انرژی موجود در آن مربوط می‌ساخت، پیدا کنند.

اینشتین در برلین نیز به کار روی این مسأله ادامه داد، بدون آن‌که مسائل خانوادگی و جنگ ذهنش را به خود مشغول سازند. تا سرانجام در نوامبر سال ۱۹۱۵، معادله‌های صحیح را یافت. اینشتین در دیداری که در سال ۱۹۱۵ از دانشگاه گوتینگن داشت، ایده‌های خود را با **دیوید هیلبرت** ریاضیدان در میان گذاشت. هیلبرت نیز مستقلاً همان معادله‌ها را چند روز بیش از اینشتین کشف کرده بود. با این همه همان‌طور که خود هیلبرت نیز پذیرفت، اعتبار ارائه‌ی نظریه جدید متعلق به اینشتین بود. این ایده اینشتین بود که گرانی را به پیچ‌خوردن فضا ـ زمان مربوط می‌ساخت. این خود نشان از متمدن بودن جامعه‌ی آلمان داشت که در آن دوره مباحثه‌های علمی را بدون آن‌که تحت تأثیر جنگ قرار گیرد، ممکن می‌ساخت. و چه تفاوت آشکاری با وضعیت ۲۰ سال بعد از آن دارد!

نظریه‌ی جدید فضا زمان خمیده، نسبیت عام نامیده شد تا آن‌را از نظریه‌ی اولیه که شامل گرانی نبود و اکنون با نام نسبیت خاص شناخته می‌شود، متمایز سازد. این نظریه در سال ۱۹۱۹ به صورتی تماشایی تأئید شد. در آن سال، گروهی انگلیسی به غرب آفریقا اعزام شدند تا جابه‌جایی‌های مختصر در محل ستاره‌های نزدیک به خورشید را طی یک خورشید گرفتگی رصد کنند. همان‌طور که اینشتین هم پیش‌بینی کرده بود، نور این ستاره‌ها هنگام عبور از کنار خورشید خمیده می‌شد. این پدیده دلیل آشکاری بر خمیده بودن فضا زمان بود. پس از آن‌که اقلیدس کتاب اصول خود را در سال ۳۰۰ پیش از میلاد نوشت، خمیده بودن فضا زمان بزرگ‌ترین تغییر را در برداشت ما از عرصه‌ای که در آن زندگی می‌کنیم، به وجود آورده است.

نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین، فضا و زمان را از زمینه‌ی

غیرفعالی که در آن رویدادهایی به وقوع می‌پیوندد، به شرکت‌کنندگانی فعال در دینامیک کیهان تبدیل ساخت. این موضوع به طرح مسأله‌ی مهمی انجامید که هنوز هم در پایان قرن بیستم در جبهه‌ی مقدم علم فیزیک قرار دارد. عالم پر از ماده است و ماده، فضا زمان را خمیده می‌سازد؛ به طوری که اجسام جذب یکدیگر می‌شوند. اینشتین دریافت که این معادله‌ها جوابی ندارند که عالمی را توصیف کند که نسبت به گذشت زمان بدون تغییر است. اینشتین به جای آن که عالم ایستا و جاودانی را که وی و اکثر مردم آن زمان به آن باور داشتند، رها سازد، معادله‌اش را تغییر داد و عبارتی را به نام ثابت کیهان‌شناختی وارد آن کرد که فضازمان را در جهت دیگر خمیده می‌ساخت تا اجسام از یکدیگر دور شوند. اثر دافعه‌ی ثابت کیهان‌شناختی اثر جاذبه‌ای ماده را متوازن می‌ساخت و باعث می‌شد که عالم برای همیشه دوام بیاورد.

این اقدام او به یکی از بزرگ‌ترین فرصت‌های از دست رفته‌ی فیزیک نظری تبدیل شد. اگر اینشتین به معادله‌های اولیه‌ی خود چسبیده بود، می‌توانست پیش‌بینی کند که عالم یا در حال انبساط است و یا در حال انقباض. عملاً نیز احتمال وجود عالم وابسته به زمان تا دهه‌ی ۱۹۲۰ که رصدهایی با تلسکوپ ۱۰۰ اینچی در مونت ویلسون انجام گرفت، چندان جدی تلقی نشد. این رصدها نشان دادند، هرچه کهکشان‌های دیگر از ما دورتر باشند، با سرعت بیش‌تری دور می‌شوند. به عبارت دیگر، عالم در حال انبساط است و فاصله‌ی بین همه‌ی کهکشان‌ها با گذشت زمان دائماً افزایش می‌یابد. بعدها اینشتین از ثابت کیهان‌شناختی به عنوان بزرگ‌ترین اشتباه زندگی خود یاد کرد.

نسبیت عام بحث در مورد آغاز و سرنوشت عالم را کاملاً دگرگون ساخت. عالم ایستا می‌توانست همواره موجود باشد یا به شکل فعلی خود در گذشته خلق شده باشد. از طرف دیگر، اگر کهکشان‌ها اکنون از یکدیگر دور می‌شوند، پس در گذشته به یکدیگر نزدیک‌تر بوده‌اند. حدود ۱۵ بیلیون سال قبل، تمام عالم باید روی هم انباشته شده و چگالی آن بی‌نهایت بوده باشد. طبق نسبیت عام، این مهبانگ آغاز عالم و خود زمان بوده است. بنابراین، شاید اینشتین مستحق آن باشد که وی را نه فقط مرد ۱۰۰ سال گذشته که مردی برای دوره‌های طولانی‌تر به شمار آوریم.

علاوه بر این، نسبیت عام پیش‌بینی می‌کند که زمان در سیاهچاله‌ها متوقف می‌شود. سیاهچاله‌ها ناحیه‌هایی از فضازمان هستند که چنان پیچیده شده‌اند که نور نمی‌تواند از آن بگریزد. اما هم آغاز و هم انجام زمان جایی است که معادله‌های نسبیت عام کارایی خود را از دست می‌دهند. پس این نظریه نمی‌تواند پیش‌بینی کند که چه چیزی از مهبانگ سر برمی‌آورد.

بسیاری این را نشانه‌ی آزادی خداوند برای آغاز عالم به روش دلخواه او به شمار می‌آورند. دیگران (و از جمله خود من) بر این باورند که آغاز عالم تحت سیطره‌ی همان قانون‌هایی است که در زمان‌های دیگر صادق هستند. تاکنون پیشرفت‌هایی در دستیابی به این هدف داشته‌ایم، اما هنوز درک کاملی از منشأ عالم نداریم.

دلیل آن که نسبیت عام در مهبانگ نقض می‌شد، این بود که این نظریه با دیگر انقلاب مفهومی بزرگ قرن بیستم، یعنی نظریه‌ی کوانتومی سازگار نبود. اولین گام به طرف نظریه‌ی کوانتومی در سال ۱۹۰۰ هنگامی برداشته شد که **ماکس پلانک** در برلین دریافت، تابش ناشی از یک جسم گداخته‌ی سرخ را فقط در صورتی می‌توان تشریح کرد که نور در بسته‌هایی با اندازه‌ی معین، به نام کوانتوم، از آن گسیل شود. گویی تابش نیز مانند شکر در بسته‌بندی‌های مشخص عرضه می‌شود. نمی‌توان هر مقدار دلخواه شکر را از فروشگاه تهیه کرد، بلکه باید آن‌را در بسته‌بندی‌های یک کیلوگرمی خرید. اینشتین در یکی از مقاله‌های تحول‌آفرین خود در سال ۱۹۰۵ که کارمند اداره‌ی ثبت اختراعات بود، نشان داد که فرض کوانتوم پلانک می‌تواند اثر فوتوالکتریک را توجیه کند. در پدیده‌ی فوتوالکتریک، در برخورد نور با بعضی از فلزات، الکترون‌هایی از سطح آن‌ها گسیل می‌شوند. این اساس کار آشکارسازی جدید نور و دوربین‌های تلویزیونی است و به خاطر همین کار بود که جایزه‌ی نوبل فیزیک سال ۱۹۲۱ به اینشتین داده شد. اینشتین تا دهه‌ی ۱۹۲۰ به کار در مورد کوانتوم ادامه داد، اما از کارهای **ورنرهایزنبرگ** در کپنهاگ، **پل دیراک** در کمبریج و **اروین شرودینگر** در زوریخ که تصویر جدیدی از واقعیت به نام مکانیک کوانتومی را ارائه می‌دادند، شدیداً آشفته شد. دیگر، ذره‌های کوچک، مکان و سرعت مشخصی نداشتند. برعکس، هر قدر دقیق‌تر مکان ذره را تعیین می‌کردید، وقت اندازه‌گیری سرعت آن کم‌تر می‌شد و برعکس.

اینشتین از این عناصر کاتوره‌ای و غیرقابل پیش‌بینی در

قانون‌های بنیادی به وحشت افتاد و هرگز مکانیک کوانتومی را به‌طور کامل نپذیرفت. احساس او در این مورد در این گفته‌ی مشهورش به خوبی بیان شده است: «خداوند تاس نمی‌اندازد.» با این‌همه، اغلب دانشمندان دیگر اعتبار قانون‌های کوانتومی جدید را پذیرفتند؛ زیرا با مشاهده‌ها هماهنگی کامل داشتند و گستره‌ی کاملی از پدیده‌هایی را تفسیر می‌کردند که پیش از آن توجیه نشده بودند. این نظریه‌ها اساس تحولات جدید در شیمی، زیست‌شناسی مولکولی و الکترونیک را تشکیل می‌دهند و مبنای فناوری‌ای هستند که جهان را در نیم قرن گذشته متحول ساخته است.

در سال ۱۹۳۳ که نازی‌ها در آلمان به قدرت رسیدند، اینشتین کشورش را ترک کرد و از شهروندی آلمان صرف‌نظر کرد. وی ۲۲ سال آخر عمرش را در «مؤسسه‌ی پژوهش‌های پیشرفته» در پرینستون نیوجرسی گذراند. نازی‌ها مبارزه‌ای علیه «علم یهودی» به راه انداختند و بسیاری از دانشمندان آلمانی که یهودی بودند، مهاجرت کردند. مهاجرت آنان یکی از دلیل‌های ناتوانی آلمان در ساخت بمب اتمی بود. اینشتین و نسبیت هدف اصلی این مبارزه بودند. زمانی که خبر انتشار کتابی به نام یک صد نویسنده علیه اینشتین را به وی گفتند، در پاسخ گفت: «چرا صد نفر؟ اگر بر خطا هستم یک نفر هم کافی است.»

وی پس از جنگ جهانی دوم متفقین را ترغیب کرد که سازمانی جهانی برای کنترل بمب اتمی تأسیس کنند. در سال ۱۹۵۲، ریاست جمهوری کشور تازه تأسیس اسرائیل را به وی پیشنهاد کردند، اما از پذیرش آن سرباز زد. وی در جایی نوشت: «سیاست امری گذراست، در حالی که معادله‌ها برای همیشه باقی می‌مانند.» معادله‌های نسبیت عام بهترین یاد بود و سنگ نوشته برای وی محسوب می‌شوند. تا زمانی که جهان هست، این معادله‌ها هم هستند.

جهان درصد سال اخیر بسیار بیش‌تر از هر قرن دیگری در طول تاریخ تغییر کرده است. دلیل آن نیز نه تغییرات سیاسی یا اقتصادی، بلکه تغییرات فناوری است؛ فناوری‌هایی که مستقیماً از پیشرفت‌های علوم پایه نشأت گرفته‌اند. بدیهی است که هیچ دانشمندی به‌جز آلبرت اینشتین، مرد قرن مجله‌ی تایم، نماد این پیشرفت‌ها نیست.

*** استیون هاوکینگ نویسنده‌ی کتاب‌های «تاریخچه‌ی زمان» و «جهان در پوست گردو»، استاد کرسی ریاضیات کمبریج است. این کرسی، زمانی در اختیار نیوتون بوده است.**

دفتر انتشارات کمک آموزشی

آشنایی با مجله‌های رشد

مجله‌های رشد توسط دفتر انتشارات کمک آموزشی سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وابسته به وزارت آموزش و پرورش، با این عناوین تهیه و منتشر می‌شوند:

مجله‌های دانش‌آموزی (به صورت ماهنامه ـ ۹ شماره در هر سال تحصیلی ـ منتشر می‌شوند):

- **رشد کودک** (برای دانش‌آموزان آمادگی و پایه‌ی اول دوره‌ی ابتدایی)
- **رشد نوآموز** (برای دانش‌آموزان پایه‌های دوم و سوم دوره‌ی ابتدایی)
- **رشد دانش‌آموز** (برای دانش‌آموزان پایه‌های چهارم و پنجم دوره‌ی ابتدایی).
- **رشد نوجوان** (برای دانش‌آموزان دوره‌ی راهنمایی تحصیلی).
- **رشد جوان** (برای دانش‌آموزان دوره‌ی متوسطه).

مجله‌های عمومی (به صورت ماهنامه ـ ۹ شماره در هر سال تحصیلی منتشر می‌شوند):

- **رشد مدیریت مدرسه، رشد معلم، رشد آموزش ابتدایی، رشد آموزش راهنمایی تحصیلی، رشد تکنولوژی آموزشی، رشد مدرسه فردا**

مجله‌های تخصصی (به صورت فصلنامه و ۴ شماره در سال منتشر می‌شوند):

- **رشد برهان راهنمایی (مجله‌ی ریاضی، برای دانش‌آموزان دوره‌ی راهنمایی تحصیلی)، رشد برهان متوسطه (مجله‌ی ریاضی، برای دانش‌آموزان دوره‌ی متوسطه)، رشد آموزش معارف اسلامی، رشد آموزش جغرافیا رشد آموزش تاریخ، رشد آموزش زبان و ادب فارسی، رشد آموزش زبان رشد آموزش زیست‌شناسی، رشد آموزش تربیت بدنی، رشد آموزش فیزیک رشد آموزش شیمی، رشد آموزش ریاضی، رشدآموزش هنر، رشد آموزش قرآن رشد آموزش علوم اجتماعی، رشد آموزش زمین‌شناسی، رشد آموزش فنی و حرفه‌ای، رشد مشاوره.**

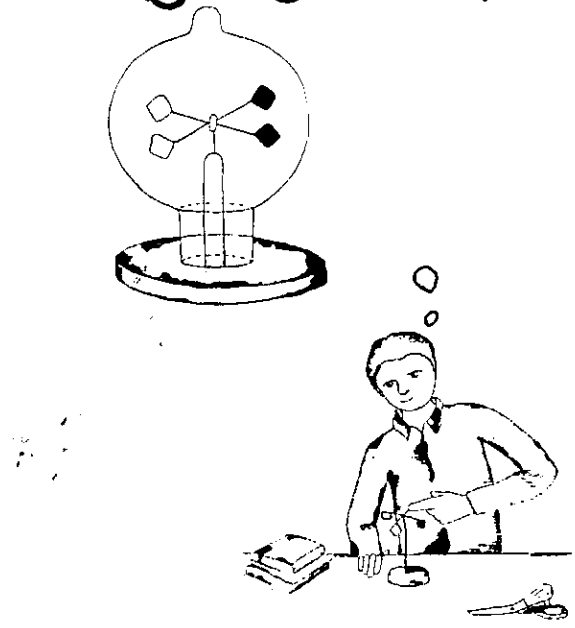
مجله‌های رشد عمومی و تخصصی برای معلمان، آموزگاران، مدیران و کادر اجرایی مدارس
دانشجویان مراکز تربیت معلم و رشته‌های دبیری دانشگاه‌ها و کارشناسان تعلیم و تربیت تهیه و منتشر می‌شوند.

- **نشانی: تهران، خیابان ایرانشهرشمالی، ساختمان شماره۴ آموزش و پرورش، پلاک ۲۶۸، دفتر انتشارات کمک‌آموزشی.**
تلفن و نمابر: ۸۸۳۰۱۴۷۸

شما چه فکر می‌کنید؟

حسن قلمی باویل علیایی

رادیومتر تشعشع سنج



در سال ۱۸۷۵ رادیومتر توسط ویلیام کروکس در حین مطالعهٔ تخلیهٔ الکتریکی در لامپ‌های کم‌فشار اختراع شد. ساختار رادیومتر به این صورت است که پره‌های بسیار سبکی که یک طرف آنها سیاه شده بود بر روی یک پرهٔ چرخان که در خلاء قرار داشت، قرار گرفته بودند که با برخورد نور به روی آنها به چرخش درمی‌آمد. در کتاب‌های مرجع آمده است که طرف سیاه نور را جذب می‌کند و ذرات هوای محفظه گرم می‌شوند و سرعت می‌گیرند و با پره‌ها برخورد می‌کنند و آنها را به عقب می‌رانند.

رادیومتر هنگامی که در معرض نور قرار می‌گیرد پره‌ها به سرعت می‌چرخند و سپس پس از مدتی متوقف می‌شوند. ولی هنگامی که دست به روی محفظهٔ شیشه‌ای آن می‌زنیم، چرخش پره‌ها دوباره آغاز می‌گردد. برخی اوقات قبل از آنکه پره‌ها دوباره به چرخش درآیند برای چند لحظه در جهت مخالف می‌چرخند. چرا این اتفاق رخ می‌دهد؟ شما چه فکر می‌کنید؟

برگ اشتراک مجله های رشد

شرایط

۱ـ واریز مبلغ ۲۰/۰۰۰ ریال به ازای هر عنوان مجله درخواستی، به صورت علی‌الحساب به حساب شمارهٔ ۳۹۶۶۲۰۰۰ بانک تجارت شعبه سه راه آزمایش (سرخه حصار) کد ۳۹۵ در وجه شرکت افست.

۲ـ ارسال اصل رسید بانکی به همراه برگ تکمیل شده اشتراک.

- **نام مجله :** .....
- **نام و نام خانوادگی:** .....
- **تاریخ تولد:** .....
- **میزان تحصیلات:** .....
- **تلفن:** .....
- **نشانی کامل پستی:**

استان: ..... شهرستان: .....

خیابان: .....

.....

پلاک: ..... کدپستی: .....

- **مبلغ واریز شده:** .....
- **شماره و تاریخ رسید بانکی:** .....

امضا:

نشانی: تهران ـ صندوق پستی مشترکین ۱۶۵۹۵/۱۱۱

نشانی اینترنتی: www.roshdmag.org

پست الکترونیک: Email:info@roshdmag.org

امور مشترکین: ۷۷۳۳۶۶۵۶ـ۷۷۳۳۵۱۱۰

پیام گیر مجلات رشد: ۸۸۳۰۱۴۸۲ ـ ۸۸۸۳۹۲۳۲

یادآوری:

- هزینه برگشت مجله در صورت خوانا و کامل نبودن نشانی، بر عهده مشترک است.
- مبنای شروع اشتراک مجله از زمان وصول برگ اشتراک است.
- برای هر عنوان مجله برگ اشتراک جداگانه تکمیل و ارسال کنید (تصویر برگ اشتراک نیز مورد قبول است).

ما و خوانندگان

✔ سرکار خانم **شیخ عباسی**، مقاله‌هایی از نوع گردآوری مطلب، برای چاپ در مجله مناسب نیستند. مقاله‌هایی چاپ می‌شوند که یا ترجمه‌ی مباحث جدید باشند، یا درباره‌ی ابتکارهایی که معلمان یا دانش‌آموزان انجام داده‌اند، و یا تجربه‌های آن در مورد آموزش مطالب درسی باشد.

✔ جناب آقای **آیدین باطنی**، علاقه‌مندی شما به آموزش فیزیک مایه‌ی خرسندی است. مقاله‌ی «مکانیک اجرام سماوی» در واقع بخش‌هایی از کتاب‌های درسی فارسی است که مکرر بیان شده‌اند.

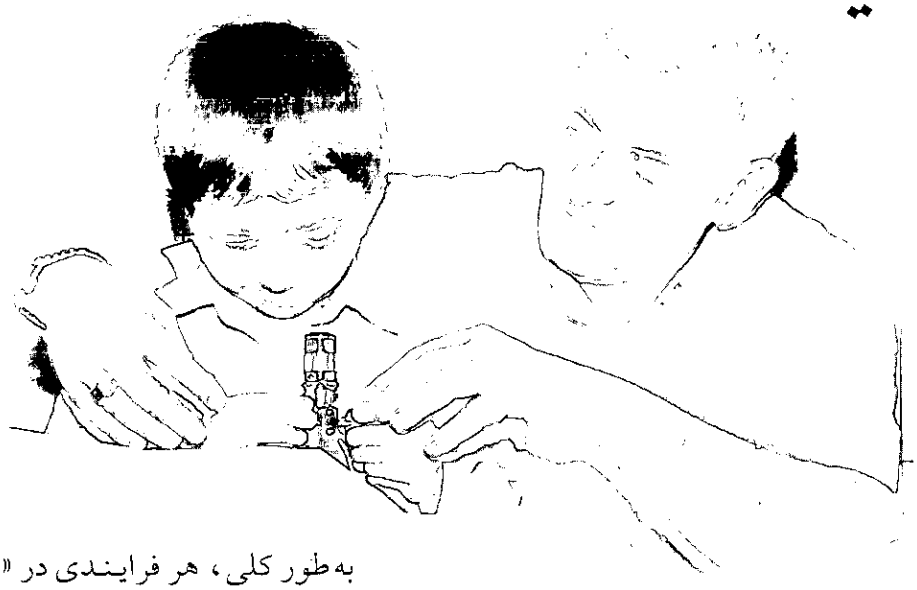
✔ جناب آقای **ماهان صابری**، مقاله‌ی شما جنبه‌ی مروری دارد و مشابه آن در بسیاری از کتاب‌های درسی وجود دارد. به علاوه، ترجمه‌ی متن درسی باید از لحاظ علمی کاملاً دقیق باشد. ترجمه‌ی برخی مفاهیم فیزیکی نادرست بیان شده است.

✔ جناب آقای **مجید بیک‌محمدی** و سرکار خانم **ناهید احمدعلی‌پور**، لطفاً در ساعت‌های اداری با دفتر مجله یا شماره‌ی پیام‌گیر ۱۱۳ تماس بگیرید.

✔ مازندران، آقایان **اسفندیار رجایی** و **فرشید مفید نخعی**، درباره‌ی فرمول‌های به کار رفته در مقاله توضیح کافی داده نشده است. بهتر است مقدمه‌ای درباره‌ی احتمال عبور از سد بیاید. مقاله مرجع ندارد و در آن گفته نشده که در محاسبه از چه منابعی استفاده شده است.

✔ سرکار خانم **فاطمه ضمیری**، دبیر فیزیک دبیرستان های خمام، در مقاله‌ی «افراد خلاق دارای چه ویژگی‌هایی هستند؟» مطالب کاملاً به صورت عام به بحث درباره‌ی افرادی که دارای خلاقیت هستند، می‌پردازد و به نظر می‌رسد به اهداف مجلات علوم انسانی نزدیک‌تر است.

جایگاه صبوری معلم در آموزش



جهانگیر ریاضی

به‌طور کلی، هر فرایندی در «بستر زمان» شکل می‌گیرد و پس از اُفت‌وخیزهایی، در صورت مدیریت صحیح، سرانجام می‌تواند به نتیجه‌های مورد نظر برسد. فرایندهای با ماهیت و هدف‌های متفاوت، بازه‌های زمانی متفاوتی را شامل می‌شوند.

«یادگیری» فرایندی است که بدون توجه به عامل «زمان» و بدون داشتن رفتاری «صبورانه» از طرف معلم، تحقق آن در دانش‌آموز امکان‌پذیر نیست. با توجه به آن‌که روش‌ها و شیوه‌های آموزش براساس هدف‌های آموزشی تعریف می‌شوند، مفاهیمی مانند «صبر و شکیبایی» و «زمان»، براساس همین هدف‌های آموزشی توصیف می‌شوند.

آموزش سنتی و مفهوم صبوری

آموزشی که هدف آن بیش‌تر انتقال «اطلاعات» و «دانسته‌ها» است و برای ایجاد ارتباط اصولی بین این دانسته‌ها در آن تلاشی نمی‌شود، روش‌های خاص خود را به‌وجود می‌آورد. در این شیوه‌ی سنتی، معلم منتظر نمی‌ماند که دانش‌آموز موضوع ارائه‌شده را برای خود بررسی و قابل فهم کند. در این سیستم آموزشی، معلم به عنوان محور کار آموزشی، مطالب را مطرح می‌کند تا به محفوظات دانش‌آموز بیفزاید. پس از آن، «اطلاعات انتقال داده شده» ارزشیابی می‌شوند. در فرایند انتقال دانسته‌ها و ارزشیابی آن‌ها به شیوه‌ی سنتی، «شکیبایی معلم» جایگاه خاصی ندارد، زیرا قرار نیست که دانش‌آموز با درک عمیق‌تر از مفاهیم، «مهارت لازم برای تحلیل» مسائل را به‌دست آورد. بلکه دانش‌آموز در بهترین شرایط، سرانجام کلیشه‌های لازم برای پاسخ به پرسش‌های مشخصی را به‌خاطر می‌سپرد.

آموزش نوین و مفهوم صبوری

در نگرش نوین، فرایند یادگیری با «طرح پرسش» آغاز می‌شود که آن هم مستلزم «خوب دیدن» دانش‌آموز است. به‌دنبال طرح سؤال، دانش‌آموز برای یافتن «پاسخ مناسب» تلاش می‌کند. از این دیدگاه، معلم به‌عنوان عنصر «هدایتگر» در این فرایند باید صبورانه، دانش‌آموز را با «اساسی‌ترین پرسش‌ها» مواجه کند. سپس با شکیبایی، او را در یافتن مناسب‌ترین پاسخ‌ها همراهی کند. در تمام این مرحله‌ها، معلم به‌هیچ‌وجه جایگزین دانش‌آموز نمی‌شود. به‌جای او نمی‌بیند، به‌جای او فکر نمی‌کند، به‌جای او پاسخ نمی‌دهد، و...

در تمام این مرحله‌ها، دانش‌آموز به «فرصت» نیاز دارد. او برای یادگیری یک موضوع به مدت زمانی نیاز دارد تا «مدل» خود را بسازد. این مدل ساخته‌شده توسط دانش‌آموز، براساس مشاهده‌ها، تجربه‌ها، دانسته‌ها و سایر مؤلفه‌هایی است که برای دانش‌آموزان متفاوت، یکسان نیست. یکی از ویژگی‌های مهم آموزش نوین، توجه به «تفاوت‌های فردی» در میان دانش‌آموزان است؛ موضوعی که در نگرش سنتی به آموزش، اساساً مورد توجه نیست. چرا که آموزش سنتی، در نهایت به‌دنبال روند «یکسان‌سازی» تمام فراگیران در محیط آموزشی است. شناخت تفاوت‌های فردی، به حوصله، آگاهی و پشتکار معلم نیاز دارد. البته معلمی که خود در روند آموزش‌های سنتی رشد کرده است، مفهوم «صبوری» را باید در نگرش خود به آموزش، تقویت کند، و آن را به کار ببندد.

دانش‌آموزان گوناگون براساس تفاوت‌های فردی، هرکدام برای درک مفهومی واحد، الگوی خود را می‌سازند. این الگو و مدل برای افراد گوناگون، متفاوت است. رفتار صبورانه‌ی معلم ایجاب می‌کند که در این مرحله از فرایند یادگیری، به دانش‌آموز در ساختن مدل و الگوی فراگیری مفهوم کمک کند. معلم باید با حوصله‌ی خود متوجه شود که دانش‌آموز به استناد چه الگو و کدام تجربه‌های خود تلاش می‌کند، مفهوم را درک کند. فراموش نکنیم که معلم نباید صبوری خود را از دست بدهد و بلافاصله، «الگوی خود» را جایگزین مدل مورد نظر دانش‌آموز کند. اما معلم چگونه می‌تواند الگوهای دانش‌آموزان را بشناسد؟

واکنش‌ها و نظرهای دانش‌آموزان در مقابل طرح مفهومی جدید توسط معلم، می‌تواند راهنمایی در جهت شناخت میزان درک و الگوی فراگیری دانش‌آموز باشد. در این‌جا نیز نقش «صبوری» معلم در شناخت الگوهای متنوع دانش‌آموزان برای درک بهتر مفاهیم، بسیار تعیین‌کننده و کیفی است. وظیفه‌ی معلم این است که در صورت «غیرعلمی» بودن مدل مورد نظر دانش‌آموز، او را در جهت تغییر اساسی یا اصلاح مدل خود، راهنمایی کند. چرا که دانش‌آموز با همین «مدل غیر علمی» فرایند یادگیری را دنبال می‌کند و «درک غلط» در ذهن او باقی خواهد ماند.

صبوری در تحلیل نتیجه‌های کار آموزشی

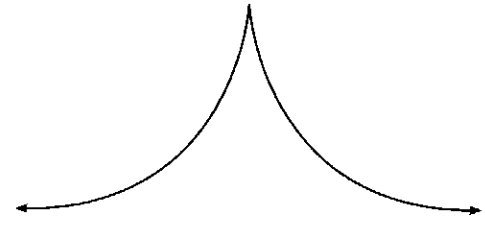
یکی از مشکلات نگرشی ما، شتاب‌زدگی در روند دستیابی به نتیجه‌های مورد نظر در محیط آموزشی است. آدم شتاب‌زده با هر حرکتی که انجام می‌دهد، به‌دنبال بازخورد مناسب و مطلوبش است. این ویژگی می‌تواند در محیط‌های آموزشی که اساساً به صبوری و حوصله نیازمندند، به روند اصولی آموزش آسیب جدی وارد سازد. معلم نباید فراموش کند که خود او برای درک یک مفهوم چه مدت طولانی وقت گذاشته است (البته با فرض آن‌که واقعاً مفهوم را درک کرده باشد). پس چگونه از دانش‌آموزان خود انتظار دارد، در مدت کوتاهی به همان درک برسند و بتوانند از مفهوم مورد نظر در سایر عرصه‌ها نیز استفاده کنند؟ حاصل همین شتاب‌زدگی‌هاست که در بسیاری زمینه‌ها، معلم خود به‌جای دانش‌آموز قرار می‌گیرد، و سریعاً از کنار مفاهیم می‌گذرد؛ با این تصور که روند یادگیری را درست طی کرده و وظیفه‌اش تمام شده است. درحالی‌که حتی معلم علاقه‌مندی که هدف‌های آموزشی را می‌شناسد، به مفاهیم علمی مورد بحث تسلط دارد، می‌تواند مطالب را خوب ارائه دهد، و از اصول علمی آموزش نوین بهره بگیرد، باید در تحلیل نتیجه‌های کار خود باید بسیار صبور، و به نتیجه‌های «دراز مدت» امیدوار باشد. باید سعی کند، واژه‌ی «دراز مدت» را در بررسی نتیجه‌های کار در محیط آموزشی بهتر درک کند.

تربیت انسان، اشاره به همان محصول صدساله‌ای دارد که به استمرار، صبوری و امید به نتیجه‌های دراز مدت نیازمند است. باید پذیرفت، دیگر زمان آن سپری شده است که ما بتوانیم، در جهانی که به انسان‌های توانمند و دارای مهارت‌های کافی برای زیستن و مواجه شدن با مشکلات آینده نیاز دارد، نتیجه‌های کار آموزشی خود را در برگه‌های امتحان جست‌وجو کنیم و آن را به عنوان بازخورد اصلی فرایند یادگیری بپذیریم. باید پذیرفت که حاصل کار آموزش را باید در دانش‌ها، نگرش‌ها و مهارت‌های دانش‌پژوهان ارزیابی کرد، و این همه از حوصله‌ی برگ‌های امتحان کلیشه‌ای خارج است. امروزه باید اندیشه‌ها به مهارت و «رفتار» تبدیل شوند و دانش‌پژوهان ما بتوانند با آن‌ها زندگی کنند، جهان خود را تجزیه و تحلیل نمایند و بیاموزند چگونه با هر مشکلی روبه‌رو شوند. اصول مواجه‌شدن با هر مشکل را صرف‌نظر از نوع مشکل بدانند؛ چرا که تنوع مسائل و مشکلات موجود در جهان امروز و فردا، به ما اجازه نمی‌دهد برای حل هر مسأله، «کلیشه‌ای خاص» ارائه کنیم و به دانش‌پژوهان انتقال دهیم.

پس برای تحلیل نتیجه‌های کارمان در محیط آموزشی، صبور باشیم و بپذیریم که تغییر و پذیرش هر پدیده‌ی نو و یاد دادن آن، کاری طولانی، طاقت‌فرسا و نیازمند صبوری بسیار است. مدیریت درست و صبورانه می‌تواند، نشاط و لذت یادگیری را تقویت کند.

ماده و پادماده: ردّ زوج الکترون- پوزیترون در اتاقک ابری

کریستین لوت ویلر
مترجم: مریم عباسیان



شکل ۱ ـ ردّ ذرات در اتاقک ابری
چون ردّ ذرات به دو جهت مخالف خم می‌شود، ذرات بارهای مخالف دارند.

شکل ۱ ردّ ذرات را در اتاقک ابری نشان می‌دهد. وقتی ذرات باردار از بخار آبِ اشباع شده این محفظه عبور می‌کنند، ردی قابل مشاهده از قطره‌های بسیار ریز به جا می‌گذارند.

به زوج مسیرهای خمیده که در بالای تصویر به هم می‌رسند تا شکل ◦ را تشکیل دهند، توجه کنید. خمیدگی، ناشی از میدان مغناطیسی عمود بر صفحهٔ تصویر است که مسیر حرکت ذرات باردار را در قوس‌های دایره‌ای خم می‌کند. خمیدگی مخالف خط‌هایی که ◦ را می‌سازد نشان می‌دهد، بارهای دو ذره، مخالف یکدیگر هستند.

پوزیترون‌های تولید شده در این آزمایش نوعی پادماده هستند.

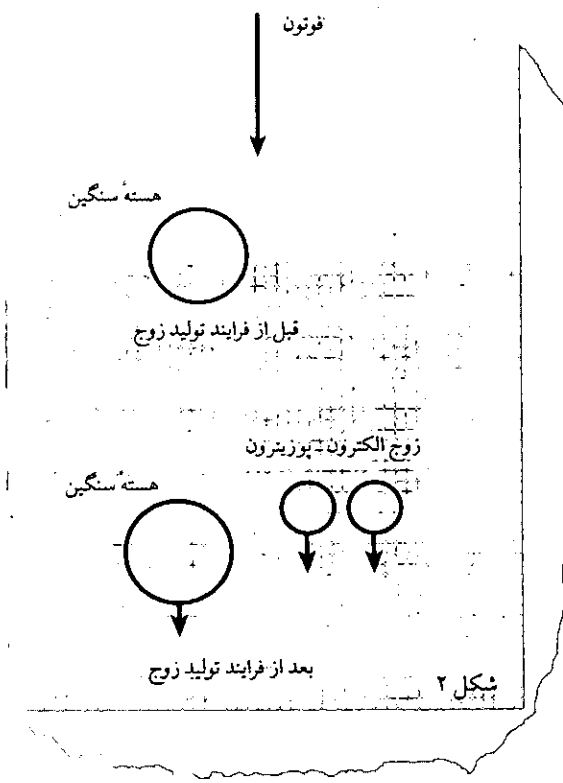
هر ذره مادهٔ معمولی، مثل الکترون و پروتون، پادمادهٔ مربوط به خود را دارد و همان‌طور که جدول زیر نشان می‌دهد، جرمی مساوی اما باری مخالف بار خود ذره را دارد. یک فوتون پرانرژی که از حوالی هسته‌ای سنگین می‌گذرد، می‌تواند به یک زوج ماده ـ پادماده واپاشد. تصویر اتاقک ابری مثالی از چگونگی تبدیل انرژی تابشی به انرژی ناشی از جرم است.

فرایند مخالف این مورد را درنظر بگیرید که در آن، الکترون و پوزیترون به هم نزدیک می‌شوند. نتیجه می‌تواند نابودی هر دو ذره و خلق دو فوتون پرتوی گاما باشد. در این صورت، انرژیِ جرم به انرژی تابشی تبدیل می‌شود.

	ذره	جرم	بار
ماده	الکترون	m_e	-e
	پروتون	m_p	+e
پادماده	پوزیترون	m_e	+e
	آنتی پروتون	m_p	-e

اطلاعات بیش‌تر در مورد اتاقک ابری پایستگی تکانه

مکانیک نسبیتی نشان می‌دهد که پایداری تکانهٔ ناشی از نابودی پرتوی گاما، حضور هسته‌ای سنگین را در آن حوالی ایجاب می‌کند تا بخشی از تکانهٔ فوتون را جذب کند. از آن‌جا که جرم این هسته بسیار زیاد است، در این فرایند هستهٔ موردنظر سرعت بسیار کمی می‌گیرد.



شکل ۲

پایستگی انرژی

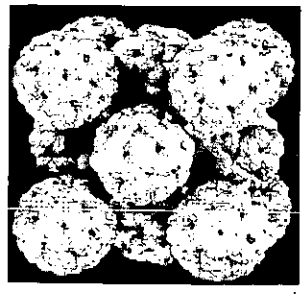
انرژی جرم سکون الکترون و پوزیترون ۰/۵۱۱Mev (میلیون الکترون ولت) است. درنتیجه، انرژی فوتون باید حداقل ۱/۰۲۲Mev باشد تا این زوج (الکترون و پوزیترون) تشکیل شود. انرژی اضافی فوتون، به انرژی جنبشی الکترون و پوزیترون تبدیل می‌شود. از آن‌جا که سرعت هستهٔ سنگین مجاور در مقایسه با الکترون و پوزیترون بسیار کم است، انرژی جنبشی بسیار کم‌تری را می‌گیرد (که این انرژی جنبشی با مربع سرعت متناسب است).

چون حضور هستهٔ مجاور در فرایند نابودی فوتون ضروری است و چون فضا خلأیی بسیار عالی است، پرتوهای گاما در فضا با طول عمری اساساً نامحدود حرکت می‌کنند. به‌علاوه، چون کم‌ترین انرژی فوتون در این فرایند نابودی حدود ۱Mev است، دیگر شکل‌های انرژی الکترومغناطیسی که انرژی فوتون در آن‌ها کم‌تر باشد، وقتی از ماده می‌گذرند نابود نمی‌شوند. می‌توانید اثر نابودی فوتون‌های نور در گذر از آب اقیانوس‌ها را بر تاریخچهٔ زندگی مجسم کنید!

باکی‌بال‌های[1] ابررسانای گرمتر

معجزهٔ ابررساناها، توانایی آن‌ها در حمل جریان الکتریسیته بدون هیچ گونه اُفتی است. برای مثال به لحاظ نظری، یک حلقهٔ ابررسانا می‌تواند جریانی را که از آن می‌گذرد تا ابد حفظ کند. نکته این جاست که اکثر مواد ابررسانا فقط وقتی که اَبَر سرد شوند، کار می‌کنند. ابررساناهای سنتی باید تا دماهای حدود چند درجه بالاتر از صفر مطلق سرد شوند. حتی ابررساناهای به اصطلاح دما ـ بالا (سرامیک‌هایی که با اکسیژن و مس ساخته می‌شوند)، باید تا دمای نیتروژن مایع یا ۱۹۶ – درجهٔ سلسیوس برسند تا به جنب و جوش بیفتند. اما با پیدایش توپ فوتبال‌های کربنی به نام «باک‌مینسترفولرن»[2]، یا به طور ساده‌تر، «باکی‌بال‌ها»، امیدواری برای رسیدن به ابررساناهای دما ـ بالاتر به وجود آمده است. دانشمندان «آزمایشگاه بل» در ۳۰ نوامبر ۲۰۰۰ در مجلهٔ نیچر گزارش داده‌اند که ممکن است بتوان، باک‌مینسترفولرن‌هایی ساخت که در دماهای عملی نیز ابررسانا باشند.

در اوایل سال‌های دههٔ ۱۹۹۰ دانشمندان دریافتند که چگونه می‌توان ابررساناهای باکی‌بال‌ها را با آلاییدن آن‌ها توسط اتم‌های فلزی ساخت. فلزاتی که در کره‌های باکی‌بال کربنی به دام افتاده‌اند، الکترون‌های آزادی را رها می‌کنند که حامل جریانند. اما بالاترین دمایی که در آن باکی‌بال‌های آلاییده با اتم‌های فلزی ابررسانا می‌شوند حدود ۲۵۵ – درجهٔ سلسیوس است. **برترام باتلوگ**[3] و همکارانش با آلاییدن باکی‌بال‌ها به روش دیگری آستانهٔ ابررسانایی را ۴۰ درجه دیگر نیز افزایش دادند. آن‌ها به جای اضافه کردن الکترون‌ها با آلاینده‌های فلزی، با تزریق «حفره‌ها» به مولکول‌های باکی‌بال C_{60} که حاوی ۶۰ اتم کربن است آن‌ها را کاهش دادند (نگاه کنید به شکل). حفره‌ها نیز درست مانند الکترون‌ها حامل جریان هستند، با این تفاوت که بار مثبت دارند. وقتی دانشمندان ۳ حفره به ازای هر مولکول C_{60} اضافه کردند، باکی‌بال‌ها در دمای ۲۲۱ – درجهٔ سلسیوس ابررسانا شدند. به علاوه آن‌ها در تحقیقاتشان به این نتیجه رسیدند که با استفاده از بعضی آلاینده‌های بی‌اثر که باعث می‌شوند باکی‌بال‌ها از هم فاصلهٔ بیش‌تری بگیرند، می‌توان این دما را بالاتر (حتی بالاتر از دمای نیتروژن مایع) ببرند.



شکل ۱

زیرنویس:

1. buckyballs
2. buckminsterfullerenes
3. Bertram Batlogg

برگرفته از:

Scientific American News 30 Nov. 2000

سی و ششمین المپیاد بین‌المللی فیزیک

سالامانکا-اسپانیا-۲۰۰۵

مسابقه‌ی نظری

مترجم: روح‌اله خلیلی بروجنی
rkhalili@physicist.net

اشاره

سی و ششمین المپیاد بین‌المللی فیزیک[1]، در سال ۲۰۰۵م (تیرماه ۱۳۸۴) در اسپانیا برگزار شد. برای آشنایی دبیران محترم فیزیک و دانش‌آموزان علاقه‌مند، پرسش و پاسخ‌های تشریحی بخش مسابقه‌ی نظری این دوره در ادامه آمده است.

۱. ماهواره‌ی بدفرجام[2]

اغلب مانورهای مداری که فضاپیماها انجام می‌دهند، تغییر سرعت در امتداد جهت پرواز، یعنی شتاب‌گیری برای رسیدن به مدارهای بالاتر و یا ترمز کردن برای ورود دوباره به جو است. در این مسأله، تغییرهای مداری را هنگامی بررسی می‌کنیم که نیروی پیشرانه‌ی موتور در جهت شعاعی وارد می‌شود. شعاع زمین $R_T = 6/37 \times 10^6\ m$، شتاب گرانی در سطح زمین $g = 9/81\ m/s^2$، و مدت یک شبانه‌روز را $T_\circ = 24/0\ h$ بگیرید.

یک ماهواره‌ی اطلاعاتی هم‌گام با زمین[3]، به جرم $m_\circ$ را در نظر می‌گیریم که در مدار دایره‌ای استوایی به شعاع $r_\circ$ قرار دارد[4]. این ماهواره یک «موتور اوج‌گیری»[5] دارد که نیروی پیشرانه‌ی مورد نیاز برای رسیدن به مدار نهایی را تأمین می‌کند.[6]

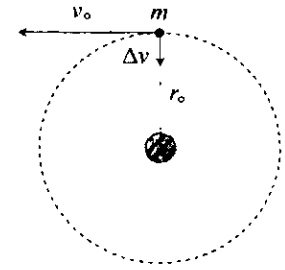
پرسش ۱

۱ـ۱. مقدار عددی $r_\circ$ را حساب کنید.

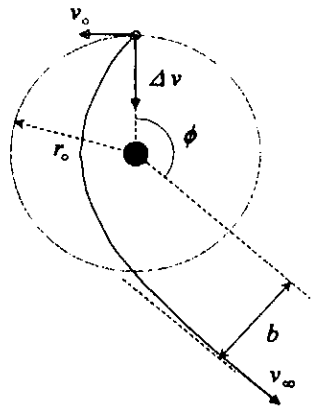
۱ـ۲. رابطه‌ای برای سرعت ماهواره ($v_\circ$) برحسب g، R_T، و $r_\circ$ به‌دست آورید و مقدار عددی آن را محاسبه کنید.

۱ـ۳. عبارت‌هایی را برای تکانه‌ی زاویه‌ای $L_\circ$ و انرژی مکانیکی $E_\circ$ بر حسب $v_\circ$، $m_\circ$، g و R_T به‌دست آورید.

وقتی ماهواره به یک مدار دایره‌ای هم‌گام با زمین می‌رسد، در مکان موردنظر تثبیت و آماده‌ی کار می‌شود (شکل ۱)، ولی به دلیل خطای کنترل‌کنندگان زمینی، موتور اوج‌گیری باید دوباره روشن شود. جهت نیروی پیشرانه به طرف زمین می‌شود و به رغم واکنش سریع خدمه‌ی زمینی برای خاموش کردن موتور، تغییر سرعت ناخواسته‌ی Δv به ماهواره منتقل می‌شود. این خیز



شکل ۱



شکل ۲

سرعت را با $\beta = \frac{\Delta v}{v_0}$ مشخص می‌کنیم. مدت زمان روشن بودن موتور نسبت به زمان‌های مداری دیگر، همواره قابل چشم‌پوشی است، به طوری که می‌توان آن را لحظه‌ای درنظر گرفت.

پرسش ۲

با فرض این که $\beta < 1$ است:

۲ـ۱. پارامترهای مداری جدید a و ε_0 را بر حسب r_0 و β به دست آورید.

۲ـ۲. زاویه‌ی α بین محور اصلی مدار جدید و بردار مکان را در نقطه‌ای به دست آورید که موتور ماهواره به طور لحظه‌ای روشن می‌شود.

۲ـ۳. عبارت‌هایی تحلیلی برای فاصله‌های حضیض r_{min} و اوج r_{max} نسبت به مرکز زمین برحسب r_0 و β به‌دست آورید و مقدار عددی آن‌ها را به ازای $\beta = \frac{1}{4}$ حساب کنید.

۲ـ۴. دوره‌ی مدار جدید T را بر حسب T_0 و β به دست آورید و مقدار عددی آن را به ازای $\beta = \frac{1}{4}$ حساب کنید.

پرسش ۳

۳ـ۱. کمینه‌ی پارامترخیز β_{esc} را که ماهواره برای فرار از گرانی زمین نیاز دارد، حساب کنید.

۳ـ۲. در این حالت، نزدیک‌ترین محل ماهواره به مرکز زمین در مسیر جدید r'_{min} را برحسب r_0 تعیین کنید.

پرسش ۴

با فرض این که $\beta > \beta_{esc}$ است:

۴ـ۱. سرعت باقی‌مانده در بینهایت، v_∞، را برحسب v_0 و β به دست آورید.

۴ـ۲. "پارامتر برخورد" b مجانب جهت فرار را برحسب r_0 و β به‌دست آورید (شکل ۲).

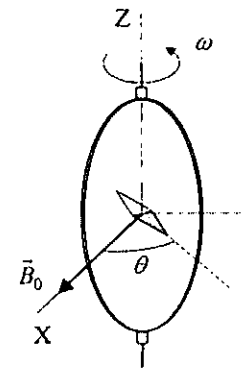
۴ـ۳. زاویه‌ی ϕ مجانب جهت فرار را بر حسب β تعیین کنید. مقدار عددی آن را برای $\beta = \frac{3}{2}\beta_{esc}$ حساب کنید.

۲. اندازه‌گیری مطلق کمیت‌های الکتریکی[۷]

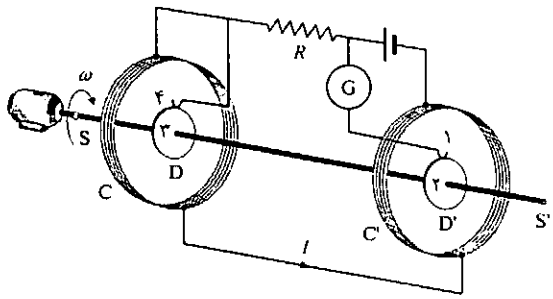
تحول‌های علمی و فناورانه در طول قرن نوزدهم، نیاز مبرم به استانداردهای جهانی مورد توافق برای کمیت‌های الکتریکی را فراهم آورد. تصور می‌شد که یکاهای مطلق باید تنها به استانداردهای طول، جرم و زمان وابسته باشند که پس از انقلاب فرانسه بنا نهاده شده بودند. بین سال‌های ۱۸۶۱ تا ۱۹۱۲، کارهای آزمایشگاهی فشرده‌ای برای تثبیت مقادیر این یکاها انجام شد. در این جا سه مطالعه‌ی موردی را ارائه می‌کنیم.

تعیین اهم (کلوین)[۸]

پیچه‌ای دایره‌ای با N دور، شعاع a و مقاومت کل R با سرعت زاویه‌ای یکنواخت ω در میدان مغناطیسی افقی $\vec{B} = B_0\,\vec{i}$، دور قطر عمودی می‌چرخد.



شکل ۳



شکل ۴

۱ . نیروی محرکه‌ی القایی ε در پیچه و توان متوسط[۹] <P> مورد نیاز برای آن که پیچه در حرکت باقی بماند را حساب کنید. خودالقایی پیچه را نادیده بگیرید.

عقربه‌ی مغناطیسی کوچکی مطابق شکل ۳ در مرکز پیچه قرار داده می‌شود. این عقربه می‌تواند، آزادانه و به آرامی دور محور z در صفحه‌ای افقی بچرخد، ولی نمی‌تواند چرخش سریع پیچه را دنبال کند.

۲ . در وضعیتی که دستگاه به حالت مانا می‌رسد، عقربه با میدان $\vec{B}_0$ زاویه‌ی کوچک θ را می‌سازد. مقاومت پیچه‌ی R را برحسب این زاویه و پارامترهای دیگر دستگاه به دست آورید.

لرد کلوین در سال ۱۸۶۰، با استفاده از این روش، استاندارد مطلق برای اهم را تعیین کرد. برای جلوگیری از چرخش پیچه، **لورنتز** روش دیگری را پیشنهاد کرد که **لرد ریلی** و خانم **سیدویک** از آن استفاده کردند. در ادامه این روش را بررسی و تحلیل می‌کنیم.

تعیین اهم (ریلی، سیدویک)[۱۰]

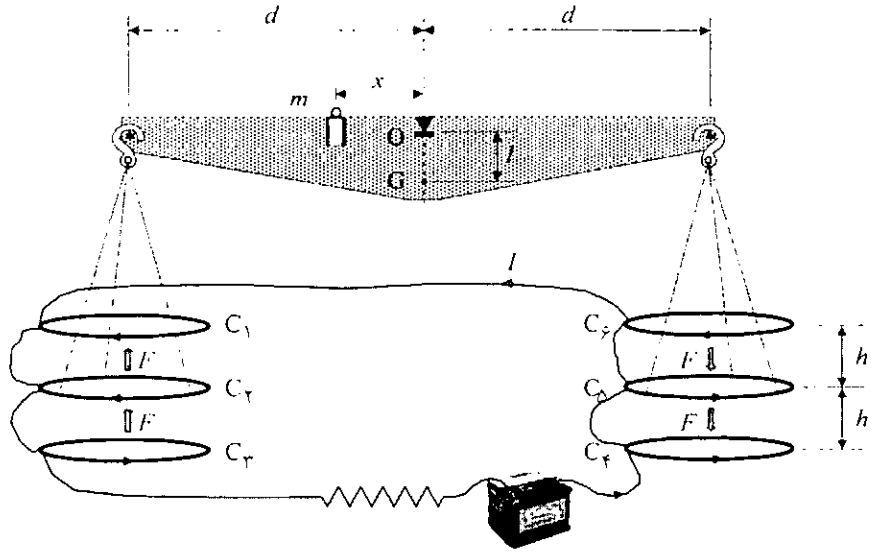
ترتیب آزمایشی این روش در شکل ۴ نشان داده شده است. این مجموعه شامل دو قرص فلزی مشابه D و D′ به شعاع b است که توسط میله‌ی رسانای SS′ نگه داشته شده‌اند. موتوری با سرعت زاویه‌ای ω مجموعه را می‌چرخاند که می‌تواند برای اندازه‌گیری R تنظیم شود. دو پیچه‌ی مشابه C و C′ (هر کدام با شعاع a و تعداد دور N) قرص‌ها را دربر گرفته‌اند. این دو پیچه طوری متصل شده‌اند که جریان I در جهت‌های مخالف از آن بگذرد. تمام این ابزارها برای اندازه‌گیری مقاومت R به کار می‌روند.

۳ . فرض کنید، جریان I که از پیچه‌های C و C′ می‌گذرد، میدان مغناطیسی یکنواخت B را اطراف D و D′ تولید می‌کند که در مرکز پیچه یکسان است. نیروی محرکه‌ی القایی ε را که بین لبه‌های بیرونی ۱ و ۴ القا شده است، با فرض آن‌که فاصله‌ی بین پیچه‌ها خیلی بزرگ‌تر از شعاع پیچه‌ها باشد (a>>b)، محاسبه کنید. قرص‌ها توسط برس‌هایی که با لبه‌ی بیرونی ۴ و ۱ در تماسند، به مدار وصل شده‌اند. گالوانومتر G، عبور جریان در مدار ۴ـ۳ـ۲ـ۱ را آشکار می‌سازد.

۴ . وقتی گالوانومتر عدد صفر را نشان می‌دهد، مقاومت R اندازه‌گیری می‌شود. مقاومت R را برحسب پارامترهای فیزیکی دستگاه به دست آورید.

تعیین آمپر

عبور جریان از دو رسانا و اندازه‌گیری نیروی بین آن‌ها، به خودی خود یک تعیین مطلق برای جریان ارائه می‌کند. «ترازوی جریان»[۱۱] در سال ۱۸۸۲، توسط لرد کلوین برای استفاده‌ی این روش طراحی شد. این ترازو شامل شش حلقه‌ی مشابه C_1، ... و C_6 به شعاع a است که حلقه‌ها به طور متوالی به هم وصل شده‌اند. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد، پیچه‌های C_1، C_2، C_3 و C_6 روی دو صفحه‌ی افقی ثابت شده‌اند و به فاصله‌ی



شکل ۵

کم ۲h از هم قرار دارند. پیچه‌های $C_۴$ و $C_۵$ که توسط بازوهای ترازو به طول d، نگه داشته شده‌اند، به فاصله‌ی یکسانی از صفحه‌های افقی در حال تعادلند. (شکل ۵).

۵. نیروی F وارد بر $C_۴$ را که از برهم‌کنش مغناطیسی با $C_۱$ ناشی می‌شود، حساب کنید. برای سادگی فرض کنید، نیروی وارد بر واحد طول، مانند مورد دو سیم دراز مستقیم حامل جریان‌های موازی است.

۶. وقتی ترازو در تعادل است، جریان I اندازه‌گیری می‌شود. مقدار I را برحسب کمیت‌های فیزیکی دستگاه بیان کنید. ابعاد دستگاه به گونه‌ای است که می‌توان اثرهای متقابل پیچه‌های راست و چپ روی یکدیگر را نادیده گرفت.

۷. تعادل ترازو در برابر تغییرات کوچک $\delta z+$ در ارتفاع $C_۲$ و $\delta z-$ در ارتفاع $C_۵$ پایدار است. بیشینه‌ی مقدار δz_{max} را که در آن ترازو به نقطه‌ی تعادل پس از کشیده شدن بازمی‌گردد، حساب کنید.[۱۲]

۳. نوترون‌ها ـ در میدان گرانشی[۱۳]

در دنیای متعارف کلاسیک، برخورد کشسان متوالی توپ با سطح زمین، مثالی آرمانی برای حرکت دائمی است. حرکت توپ محدود شده است: نمی‌تواند پائین‌تر از سطح زمین یا بالاتر از نقطه‌ی بازگشت برود. توپ در این شرایط مقید می‌ماند، بالا و پائین می‌رود و مدام به این حرکت ادامه می‌دهد. تنها نیروی مقاوم هوا یا برخورد ناکشسان می‌توانند این حرکت دائمی را متوقف کنند که در ادامه آن‌ها را نادیده می‌گیریم.

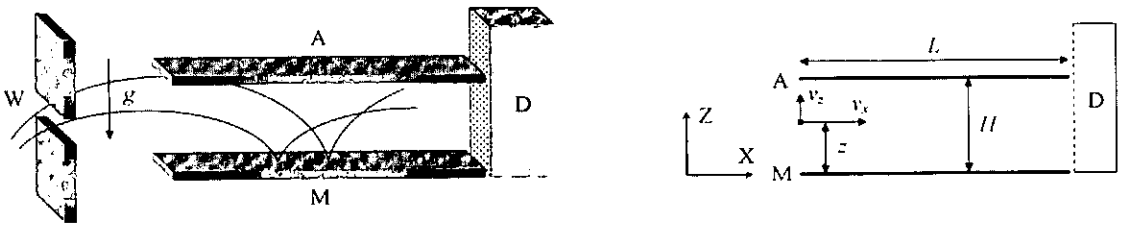
در سال ۲۰۰۲، گروهی از فیزیکدانان انستیتوی «لاوه‌ـ لانژون» در گرونوبل، دلیلی تجربی درباره‌ی رفتار نوترون‌ها در میدان گرانشی زمین گزارش دادند.[۱۴] در این آزمایش، نوترون‌هایی که به سمت راست حرکت می‌کردند، به سطح افقی بلوری که به عنوان آینه‌ی نوترونی عمل می‌کرد، می‌خوردند و به طور کشسان به ارتفاع اولیه واجهیده می‌شدند.

ترتیب این آزمایش در شکل ۶ رسم شده است. این ترتیب شامل روزنه‌ی W، آینه‌ی نوترونی M (در ارتفاع $z = ۰$)، جذب‌کننده‌ی نوترونی A (در ارتفاع z=H و با طول L) و آشکارساز نوترونی D است. باریکه‌ی نوترون‌ها از W تا D، در کاواک بین A و M با مؤلفه‌ی افقی سرعت v_x حرکت می‌کند. همه‌ی نوترون‌هایی که به سطح A می‌رسند، جذب و از آزمایش حذف می‌شوند. آن‌هایی که به آینه‌ی M می‌رسند، به طور کشسان بازمی‌تابند. آشکارساز D، آهنگ گذار N(H) را می‌شمارد. این مقدار برابر تعداد کل نوترون‌هایی است که در واحد زمان به D می‌رسند

نوترون‌ها با گستره‌ی وسیعی از سرعت‌های عمودی مثبت و منفی v_z وارد کاواک می‌شوند و در کاواک، بین آینه‌ی پائین و جذب‌کننده‌ی بالا حرکت می‌کنند.

۱. به طور کلاسیک، گستره‌ی سرعت‌های عمودی $v_z(z)$ نوترون‌هایی را حساب کنید که در ارتفاع z وارد کاواک می‌شوند و به آشکارساز می‌رسند. فرض کنید طول L از هر طول دیگری در مسأله بزرگ‌تر است.

۲. به طور کلاسیک، کمینه‌ی طول L_c کاواک را برای



شکل ۶

اطمینان از این موضوع محاسبه کنید که همه‌ی نوترون‌های خروجی با گستره‌ی سرعت قبلی، بدون توجه به مقدار z، توسط A جذب می‌شوند. فرض کنید $v_x = 10 m/s$ و $H = 50 \mu m$ است.

آهنگ عبور نوترون N(H) توسط D اندازه‌گیری می‌شود. انتظار داریم که N(H) به طور یکنواخت با H افزایش یابد.

۳. آهنگ کلاسیک $N_c(H)$ را با این فرض حساب کنید که برای نوترون‌هایی که با سرعت عمودی v_z و در ارتفاع z به کاواک می‌رسند، همه‌ی مقادیر v_z و z دارای احتمال یکسان است. پاسخ خود را برای نوترون‌هایی که با سرعت عمودی v_z و در ارتفاع z وارد کاواک می‌شوند، برحسب ρ، «تعداد ثابت نوترون به ازای واحد زمان، به ازای واحد سرعت عمودی، و به ازای واحد ارتفاع» بیان کنید.

نتیجه‌های تجربی‌ای که گروه «گرونوبل» به دست آوردند، با پیش‌بینی‌های کلاسیک بالا سازگار نبودند. در عوض، همان‌طور که نمودار شکل۷ نشان می‌دهد، مقادیر تجربی N(H) در اطراف برخی از ارتفاع‌های حدی H_1، H_2، H_3، ... به شدت افزایش می‌یابند.

به عبارت دیگر، آزمایش نشان می‌داد که حرکت عمودی نوترون‌هایی که از آینه وامی‌جهیدند، کوانتیده است. به بیانی که **بور** و **زومرفلد** برای به‌دست آوردن ترازهای انرژی اتم هیدروژن به کار بردند، می‌توان نوشت: «کنش S این نوترون‌ها در امتداد جهت عمودی، مضرب صحیحی از ثابت h پلانک است.» در این‌جا S به این صورت است:

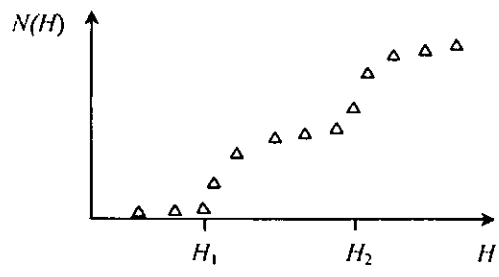
(قاعده‌ی کوانتش بور ـ زومرفلد)

$$S = \int P_z(z)dz = nh \quad , \quad n = 1,2,3\cdots$$

که در آن، P_z مؤلفه‌ی عمودی تکانه‌ی کلاسیک است و انتگرال، همه‌ی مقادیر چرخه‌ی واجهش را دربرمی‌گیرد. تنها نوترون‌ها با این مقدار S مجازند وارد کاواک شوند.

۴. ارتفاع‌های بازگشت H_n و ترازهای انرژی E_n (وابسته به حرکت عمودی) را به کمک شرط کوانتش بور ـ زومرفلد محاسبه کنید و نتیجه‌های عددی را برای H_1 برحسب μm، و E_1 برحسب eV به دست آورید.

توزیع یکنواخت اولیه‌ی ρ نوترون‌ها در ورودی W، در حین حرکت در کاواک طویل تغییر می‌کند و در محل آشکارساز به توزیع پله مانندی تبدیل می‌شود (شکل۷). از این به بعد برای سادگی، حالتی را درنظر می‌گیریم که کاواک طویل $H < H_1$



شکل ۷

باشد. به طور کلاسیک، همه‌ی نوترون‌ها با انرژی‌هایی که در پرسش ۱ ملاحظه کردید، مجازند به آشکارساز برسند، در حالی که از دید مکانیک کوانتومی، تنها نوترون‌های با تراز انرژی E_n مجازند. بنابر اصل عدم‌قطعیت زمان ـ انرژی هایزنبرگ، لازمه‌ی این تغییر و تبدیل کمینه‌ی زمان پرواز است. عدم قطعیت انرژی حرکت عمودی در صورتی قابل ملاحظه خواهد بود که طول کاواک کوچک باشد. این پدیده موجب پهن شدن ترازهای انرژی می‌شود.

۵. کمینه‌ی زمان پرواز t_0 و کمینه‌ی طول L_0 طول کاواک مورد نیاز برای مشاهده‌ی اولین افزایش شدید تعداد نوترون‌ها در D را برآورد کنید. فرض کنید $v_x = ۱۰ m/s$ باشد.

داده‌های مورد نیاز

ثابت پلانک: $h = ۶/۶۳ \times ۱۰^{-۳۴}\ J.s$

سرعت نور در خلأ: $c = ۳/۰۰ \times ۱۰^{۸}\ m/s$

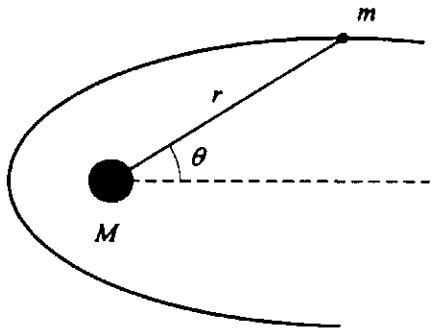
بار پایه: $e = ۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}\ C$

جرم نوترون: $M = ۱/۶۷ \times ۱۰^{-۲۷}\ kg$

شتاب گرانی زمین: $g = ۹/۸۱ m/s^{۲}$

در صورت نیاز از رابطه‌ی زیر استفاده کنید:

$$\int (۱-x)^{۱/۲}\,dx = -\frac{۲(۱-x)^{۳/۲}}{۳}$$



شکل ۸

زیرنویس

1. 36th International Physics Olympiad, Salamanca, Spain, 2005.

2. An Ill Fated Satellite

۳. دوره‌ی گردش آن T_s است.

۴. اگر ماهواره‌ای بخواهد بر فراز محلی ثابت بماند، باید صفحه‌ی مدار ماهواره همان صفحه‌ی استوای زمین و سرعت زاویه‌ای آن همان سرعت زاویه‌ای زمین باشد. شعاع چنین مداری را هم‌گام می‌نامند [مترجم].

5. Apogee Engine

۶. جسم‌هایی که در مسیرهای بیضی، سهمی، و یا هذلولی حرکت می‌کنند، تحت کنش نیروهای مرکزی قرار دارند که از قانون عکس مجذور پیروی می‌کنند. در تقریب $m \ll M$، جرم گرانشی M در یکی از کانون‌ها قرار دارد. با گرفتن مبدأ روی این کانون، معادله‌ی قطبی کلی این منحنی‌ها به صورت زیر نوشته می‌شود (شکل ۸ را ببینید):

$$r(\theta) = \frac{l}{۱ - \varepsilon \cos\theta}$$

که در آن l ثابتی مثبت است و نیم پارامتر مسیر (semi-latus-rectum) نامیده می‌شود و ε خروج از مرکز منحنی است. بر حسب ثابت‌های حرکت داریم:

$$l = \frac{L^{۲}}{GMm^{۲}}\ ,\quad \varepsilon = \left(۱ + \frac{۲EL^{۲}}{G^{۲}M^{۲}m^{۳}}\right)^{۱/۲}$$

که در آن G ثابت نیوتون، L مدول تکانه‌ی زاویه‌ای جرم در حال گردش نسبت به مبدأ، و E انرژی مکانیکی است که انرژی پتانسیل آن در بینهایت صفر است.

شرایط زیر برقرارند:

i) اگر $۱ > \varepsilon \geq ۰$، منحنی بیضی است (محیط دایره برای $\varepsilon = ۰$).

ii) اگر $\varepsilon = ۱$، منحنی سهمی است.

iii) اگر $\varepsilon > ۱$، منحنی هذلولی است.

7. Absolute Measurements of Electrical Quantities

8. Determinatio of the Ohm (Kelvin)

۹. مقدار متوسط $< X >$ یک کمیت $X(t)$ در دستگاه دوره‌ای با دوره‌ی T، برابر $< X > = \frac{۱}{T}\int_{۰}^{T} X(t)\,dt$ است.

ممکن است در محاسبه‌های خود به انتگرال‌های زیر نیاز داشته باشید:

$$\int_{۰}^{\pi/۲} \sin x\,dx = \int_{۰}^{\pi/۲} \cos x\,dx = \int_{۰}^{\pi/۴} \sin x \cos x\,dx$$

$$\int_{۰}^{۲\pi} \sin^{۲} x\,dx = \int_{۰}^{۲\pi} \cos^{۲} x\,dx = \pi$$

$$\int x^{n}\,dx = \frac{۱}{n+۱} x^{n+۱}$$

10. Determination of the Ohm (Rayleigh, Sidgwick)

11. Current Balance

۱۲. از تقریب‌های زیر به ازای $\beta \ll ۱$ استفاده کنید.

$$\frac{۱}{۱ \mp \beta} \approx ۱ \mp \beta + \beta^{۲} \quad \text{یا} \quad \frac{۱}{۱ \mp \beta^{۲}} \approx ۱ \mp \beta^{۲}$$

همچنین برای θ های کوچک، $\sin\theta \approx \tan\theta$.

13. Neutrons in a Gravitational Field

14. V.V. Nesvizhevsky etol. "Quantum states of neutrons in the Esath's gravitational field." Nature, 415 (2002) 297 Phys Rev D 67, 102002 (2003).

پاسخ تشریحی

سی و ششمین المپیاد بین المللی فیزیک

مسابقه‌ی نظری

پرسش ۱ ـ ماهواره‌ی بدفرجام

۱ ـ ۱ و ۱ ـ ۲

$$\left.\begin{aligned} G\frac{M_T m}{r_0^2} &= m\frac{v_0^2}{r_0} \\ v_0 &= \frac{2\pi r_0}{T_0} \\ g &= \frac{GM_T}{R_T^2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{cases} r_0 = \left(\frac{gR_T^2T_0^2}{4\pi^2}\right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow \\ r_0 = 4/22\times10^7\,m \\ v_0 = RT\sqrt{\frac{g}{r_0}} \Rightarrow \\ v_0 = 3/07\times10^3\,m/s \end{cases}$$

۱ ـ ۳ .

$$L_0 = r_0 m v_0 = \frac{gR_T^2}{v_0^2} = mv_0 \Rightarrow L_0 = \frac{mgR_T^2}{v_0}$$

$$E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2 - G\frac{M_T m}{r_0}$$

$$= \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{gR_T^2 m}{r_0} = \frac{1}{2}mv_0^2 - mv_0^2$$

$$\Rightarrow E_0 = -\frac{1}{2}mv_0^2$$

۲ ـ ۱ . مقدار نیم پارامتر مسیر l با در نظر گرفتن این که اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای مداری در هر دو مدار یکسان است، به دست می‌آید. یعنی:

$$l = \frac{L_0^2}{GM_T m^2} = \frac{m^2 g^2 R_T^4}{v_0^2}\frac{1}{gR_T^2 m^2} = \frac{gR_T^2}{v_0^2} = r_0 \Rightarrow l = r_0$$

مقدار خروج از مرکز برابر است با:

$$\varepsilon^2 = 1 + \frac{2EL_0^2}{G^2M_T^2m^3}$$

که در آن E انرژی مکانیکی ماهواره مساوی است با:

$$l = \frac{L_0^2}{GM_T m^2} = \frac{m^2 g^2 R_T^4}{v_0^2}\frac{1}{gR_T^2 m^2} = \frac{gR_T^2}{v_0^2} = r_0 \Rightarrow l = r_0$$

مقدار خروج از مرکز نیز برابر است با:

$$\varepsilon^2 = 1 + \frac{2EL_0^2}{G^2M_T^2m^3}$$

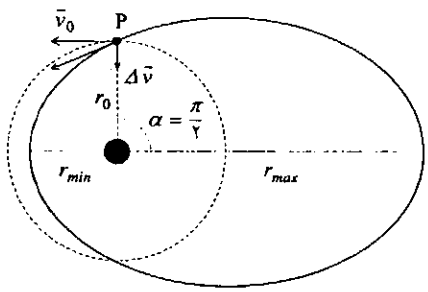
که در آن، E انرژی مکانیکی ماهواره‌ی جدید به ترتیب نیز به دست می‌آید:

$$E = \frac{1}{2}m(v_0^2 + \Delta v^2) - G\frac{M_T m}{r_0} = \frac{1}{2}m\Delta v^2 + E_0$$

$$= \frac{1}{2}m\Delta v^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

با مقایسه‌ی رابطه‌های بالا داریم: $\varepsilon = \beta$. چون $\varepsilon = \beta < 1$ است، این مسیر بیضوی است.

۲ ـ ۲ . مدارهای اولیه و نهایی در محل P برخورد دارند؛ جایی که موتور ماهواره به طور لحظه‌ای روشن می‌شود (شکل ۹). در این نقطه داریم:



شکل ۹

$$r(\theta=\alpha)=r=\frac{r_0}{1-\beta\cos\alpha}\Rightarrow\alpha=\frac{\pi}{2}$$

۲ـ۳. از عبارت (معادله‌ی) مسیر، بی‌درنگ مقدارهای بیشینه و کمینه‌ی r که به ترتیب مربوط به $\theta=0$ و $\theta=\pi$ هستند، به دست می‌آیند (شکل ۹). از این رو، داریم:

$$r_{max}=\frac{l}{1-\varepsilon}\ ,\ r_{min}=\frac{l}{1+\varepsilon}$$

یعنی:

$$r_{max}=\frac{r_0}{1-\beta}\ ,\ r_{min}=\frac{r_0}{1+\beta}$$

برای $\beta=\frac{1}{4}$ داریم:

$$r_{max}=5/63\times10^7\,m\ ;\ r_{min}=3/38\times10^7\,m$$

همچنین، فاصله‌های r_{max} و r_{min} را می‌توان به کمک پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای و انرژی مکانیکی به دست آورد؛ با در نظر گرفتن این‌که $\vec{r}$ و $\vec{v}$ در حضیض و اوج بر یکدیگر عمودند:

$$E=\frac{1}{2}mv_0^2(\beta^2-1)=\frac{1}{2}mv^2-\frac{gR_T^2m}{r}$$

$$L_0=\frac{mgR_T^2}{v_0}=mvr$$

با حذف v از دو معادله‌ی بالا، به معادله‌ی درجه‌ی دومی می‌رسیم که پاسخ‌های آن r_{max} و r_{min} هستند.

۲ـ۴. با توجه به قانون سوم کپلر، دوره‌ی T در مدار جدید در رابطه‌ی زیر صدق می‌کند:

$$\frac{T^2}{a^3}=\frac{T^2}{r^3}$$

که در آن، a نیم عدد اصلی بیضی است که با رابطه‌ی زیر داده می‌شود:

$$a=\frac{r_{max}+r_{min}}{2}=\frac{r_0}{1-\beta^2}$$

به این ترتیب:

$$T=T_0(1-\beta^2)^{-\frac{3}{2}}$$

به ازای $\beta=\frac{1}{4}$ داریم:

$$T=T_0\left(\frac{15}{16}\right)^{-\frac{3}{2}}=26/4\,h$$

۳ـ۱. تنها اگر ماهواره مسیر بازی را بپیماید، می‌تواند از گرانی زمین فرار کند. در این صورت، خروج از مرکز مدار باید برابر یا بزرگ‌تر از یک شود. کمینه‌ی پارامترخیز با مسیری سهموی، با $\varepsilon=1$ متناظر است:

$$\varepsilon=\beta\rightarrow\beta_{esc}=1$$

این را همچنین می‌توان با استفاده از انرژی کل ماهواره که باید در بینهایت صفر شود ($E_p=0$)، بدون سرعت باقی‌مانده ($E_k=0$)، به دست آورد:

$$E=\frac{1}{2}mv^2(\beta_{esc}^2-1)=0\ \Rightarrow\beta_{esc}=1$$

این نتیجه از $T=\infty$ یا $r_{max}=\infty$ نیز ناشی می‌شود.

۳ـ۲. با در نظر گرفتن $\varepsilon=\beta_{esc}=1$، معادله‌ی قطبی هذلولی برابر است با:

$$r=\frac{l}{1-\cos\theta}$$

که در آن، نیم پارامتر مسیر برابر $l=r_0$ است. کم‌ترین فاصله‌ی زمین ـ ماهواره، متناظر با $\theta=\pi$ است، به این ترتیب:

$$r'_{min}=\frac{r_0}{2}$$

این عبارت همچنین از پایستگی انرژی (برای $E=0$) و از برابری بین تکانه‌ی زاویه‌ای (L_0) در نقطه‌ی اولیه‌ی P و در بیشینه‌ی تقریبی، جایی که $\vec{r}$ و $\vec{v}$ بر هم عمودند، به دست می‌آید.

۴ـ۱. اگر ماهواره با سرعت باقی‌مانده‌ی v_∞ به سوی بینهایت فرار کند، با توجه به پایستگی انرژی داریم:

$$E=\frac{1}{2}mv_0^2(\beta^2-1)=\frac{1}{2}mv_\infty^2$$

$$v_\infty=v_0(\beta^2-1)^{\frac{1}{2}}$$

۴ـ۲. به ازای $\varepsilon=\beta>\beta_{esc}=1$، مسیر ماهواره سهمی خواهد شد.

تکانه‌ی زاویه‌ای ماهواره در نقطه‌ی P و نقطه‌ای با سرعت باقی‌مانده‌ی v_∞ یکسان است (شکل ۱۰). در نتیجه:

$$mv_0r_0=mv_\infty b$$

و نیز:

$$b=r_0\frac{v_0}{v_\infty}\Rightarrow b=r_0(\beta^2-1)^{-\frac{1}{2}}$$

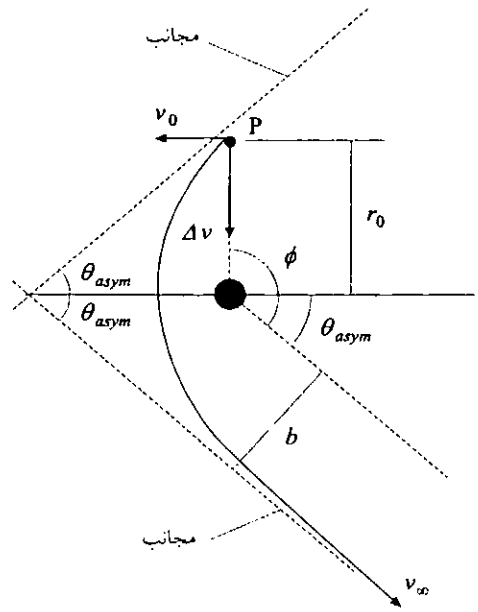
۴ـ۳. زاویه‌ی بین هر مجانب و محور سهمی زاویه‌ای است که در معادله‌ی قطبی‌اش در حد $r\rightarrow\infty$ ظاهر می‌شود. این زاویه‌ای است که به ازای آن، مخرج معادله صفر می‌شود.

$$1-\beta\cos\theta_{asym}=0\Rightarrow\theta_{asym}=\cos^{-1}\left(\frac{1}{\beta}\right)$$

با توجه به شکل ۱۰:

$$\phi=\frac{\pi}{2}+\theta_{asym}\Rightarrow\phi=\frac{\pi}{2}+\cos^{-1}\left(\frac{1}{\beta}\right)$$

به ازای $\beta=\frac{3}{2}\beta_{esc}=\frac{3}{2}$، داریم:



شکل ۱۰

$$\phi = ۱۳۸^\circ = ۲/۴۱ \text{ rad}$$

پرسش ۲ . اندازه‌گیری‌های مطلق کمیت‌های الکتریکی

۱ . پس از زمان t، خط عمود بر صفحه‌ی پیچه با میدان مغناطیسی $\vec{B} = B_. \vec{i}$ ، زاویه‌ی ωt را می‌سازد. در نتیجه، شار عبوری از پیچه برابر است با :

$$\phi = N\vec{B}_.\cdot\vec{S}$$

که در آن، بردار سطح $\vec{S}$ با رابطه‌ی $\vec{S} = \pi a^۲(\cos\omega t\,\vec{i} + \sin\omega t\,\vec{j})$ بیان می‌شود. به این ترتیب داریم :

$$\phi = N\pi a^۲\beta_.\cos\omega t$$

نیروی محرکه‌ی القایی برابر است با :

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \varepsilon = N\pi a^۲\beta_.\omega\sin\omega t$$

توان لحظه‌ای برابر $P = \frac{\varepsilon^۲}{R}$ است، در نتیجه :

$$< P >= \frac{(N\pi a^۲\beta_.\omega)^۲}{۲R}$$

برای به دست آوردن رابطه‌ی بالا از $< \sin^۲\omega t >= \frac{۱}{T}\int_.^T \sin^۲\omega t dt = \frac{۱}{۲}$ استفاده کرده‌ایم.

۲ . میدان کل در مرکز پیچه و در لحظه‌ی t برابر است :

$$\vec{B}_t = \vec{B}_. + \vec{B}_i$$

که $\vec{B}_i$ ، میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی، برابر است با :

$$\vec{B}_i = B_i(\cos\omega t\,\vec{i} + \sin\omega t\,\vec{j})$$

$$B_i = \frac{\mu_. NI}{۲a} \;,\; I = \frac{\varepsilon}{R}$$

در نتیجه :

$$B_i = \frac{\mu_. N^۲\pi a B_.\omega}{۲R}\sin\omega t$$

و مقدارهای متوسط مؤلفه‌های آن مساوی است با :

$$< B_{ix} >= \frac{\mu_. N^۲\pi a B_.\omega}{۲R} < \sin\omega t\cos\omega t >= ۰$$

$$< B_{iy} >= \frac{\mu_. N^۲\pi a B_.\omega}{۲R} < \sin^۲\omega t >= \frac{\mu_. N^۲\pi a B_.\omega}{۴R}$$

به این ترتیب، مقدار متوسط میدان مغناطیسی کل برابر است با :

$$< \vec{B}_t >= B_.\,\vec{i} + \frac{\mu_. N^۲\pi a B_.\omega}{۴R}\,\vec{j}$$

عقربه در امتداد میدان متوسط جهت می‌گیرد، در نتیجه :

$$\tan\theta = \frac{\mu_0 N^2 \pi a \omega}{4R}$$

سرانجام، مقاومت پیچه بر حسب θ که به این روش به دست می‌آید، برابر است با:

$$R = \frac{\mu_0 N^2 \pi a \omega}{4\tan\theta}$$

۳. نیروی وارد بر یکای بار مثبت در یک صفحه شعاعی است و مساوی است با:

$$\left|\vec{v}\times\vec{B}\right| = vB = \omega rB$$

که در آن، B، میدان مغناطیسی در مرکز پیچه، برابر است با:

$$B = N\frac{\mu_0 I}{2a}$$

در نتیجه، نیروی محرکه‌ی القایی روی هر صفحه توسط میدان مغناطیسی B برابر است با:

$$\varepsilon_D = \varepsilon_{D'} = B\omega\int_0^b r dr = \frac{1}{2}B\omega b^2$$

در پایان، نیروی محرکه‌ی القایی بین صفحه‌های ۱ و ۴ برابر است با:

$$\varepsilon = \varepsilon_D + \varepsilon_{D'} = N\frac{\mu_0 b^2 \omega I}{2a}$$

۴. وقتی گالوانومتر G عدد صفر را نشان می‌دهد، یعنی $I_G=0$، به کمک قانون‌های کیرشهف داریم:

$$\varepsilon = IR \Rightarrow R = N\frac{\mu_0 b^2 \omega}{2a}$$

۵. نیرو بر واحد طول f بین دو سیم مستقیم موازی بینهایت که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند، برابر است با:

$$f = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1 I_2}{h}$$

به ازای $I_1=I_2=I$ و طول $2\pi a$، نیروی F القا شده روی C_2 توسط پیچه‌ی مجاور C_1 برابر است با:

$$F = \frac{\mu_0 a}{h} I^2$$

۶. در حالت تعادل داریم:

$$mgx = 4Fd$$

در نتیجه:

$$mgx = \frac{4\mu_0 ad}{h} I^2$$

به این ترتیب:

$$I = \left(\frac{mghx}{4\mu_0 ad}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (1)$$

۷. اگر گشتاورهای گرانشی نسبت به نقطه‌ی اتکای O بزرگ‌تر از گشتاورهای مغناطیسی باشند، ترازو به اندازه‌ی زاویه‌ی انحراف کوچک $\delta\phi$، به سمت نقطه‌ی تعادل برمی‌گردد (شکل ۱۱).

$$mgl\sin\delta\phi + mgx\cos\delta\phi > 2\mu_0 aI^2\left(\frac{1}{h-\delta z} + \frac{1}{h+\delta z}\right) d\cos\delta\phi$$

در نتیجه، به کمک تقریبی که پیشنهاد شده است، داریم:

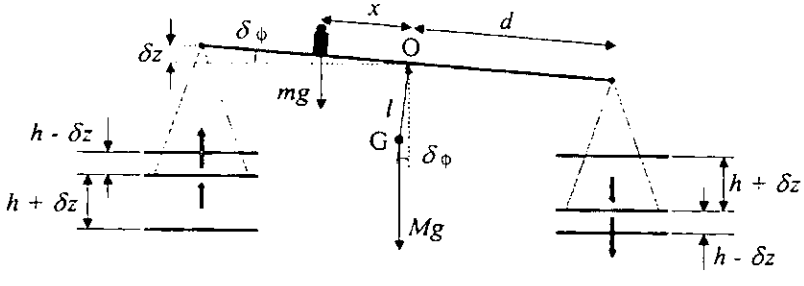
$$mgl\sin\delta\phi + mgx\cos\delta\phi > \frac{4\mu_0 adI^2}{h}\left(1+\frac{\delta z^2}{h^2}\right)\cos\delta\phi$$

با در نظر گرفتن شرط تعادل (۱)، داریم:

$$mgl\sin\delta\phi > mgx\frac{\delta z^2}{h^2}\cos\delta\phi$$

سرانجام به ازای $\tan\delta\phi \approx \sin\delta\phi = \frac{\delta z}{d}$ داریم:

$$dz < \frac{mlh^2}{mxd} \Rightarrow \delta z_{max} = \frac{mlh^2}{mxd}$$



شکل ۱۱

پرسش ۳ . نوترون‌ها در میدان گرانشی

۱ . تنها نوترون‌هایی باقی می‌مانند که به ارتفاع H و در نتیجه به جذب‌کننده‌ی A نمی‌رسند . نقطه‌ی بازگشت این نوترون‌ها کم‌تر از H است . به این ترتیب ، برای نوترون ورودی به فضای خالی کاواک در ارتفاع z و سرعت قائم v_z ، پایستگی انرژی بیان می‌دارد :

$$\frac{1}{2}Mv_z^2 + Mgz \le MgH$$

$$-\sqrt{2g(H-z)} \le v_z(z) \le \sqrt{2g(H-z)}$$

۲ . برای اطمینان از جذب همه‌ی نوترون‌هایی که سرعت آن‌ها خارج از گستره‌ی مجاز است ، باید طول کاواک به اندازه‌ی کافی بلند باشد . همچنین ، نوترون‌ها باید حداقل یک بار درون کاواک به ارتفاع بیشینه‌ی خود برسند . بزرگ‌ترین طول کاواک ، متناظر با نوترون‌هایی است که در ارتفاع z=H و $v_z=0$ وارد می‌شوند (شکل ۱۲) . اگر زمان سقوط را با t_f نشان دهیم ، داریم :

$$\left.\begin{aligned} L_c &= v_x 2t_f \\ H &= \frac{1}{2}gt_f^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow L_c = 2v_x\sqrt{\frac{2H}{g}}$$

با جا گذاری مقادیر داده شده داریم :

L_c=۶/۴cm

۳ . آهنگ عبور نوترون‌هایی که در ارتفاع z وارد کاواک می‌شوند ، به ازای واحد ارتفاع ، متناسب با گستره‌ی سرعت‌های مجازی است که در این ارتفاع می‌توانند داشته باشند و ثابت تناسب برابر ρ است .

$$\frac{dN_c(z)}{dz} = 2\rho\sqrt{2g(H-z)}\,\rho[v_{z,max}(z) - v_{z,min}(z)]$$

تعداد کل نوترون‌هایی که عبور کرده‌اند با افزودن نوترون‌های ورودی به همه‌ی ارتفاع‌های ممکن به دست می‌آید : $y = \frac{z}{H}$. بنابراین داریم :

$$N_c(H) = \int_0^H dN_c(z) = \int_0^H 2\rho\sqrt{2g(H-z)}dz$$

$$= 2\rho\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}\int_0^1 (1-y)^{\frac{1}{2}}dy$$

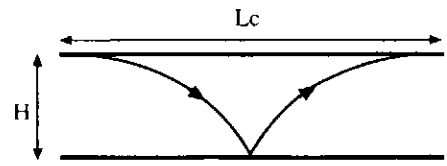
$$= 2\rho\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}\left[-\frac{2}{3}(1-y)^{\frac{3}{2}}\right]_0^1$$

$$\Rightarrow N_c(H) = \frac{4}{3}\rho\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}$$

برای نوترونی که از ارتفاع H سقوط می‌کند ، کنش در یک چرخه‌ی واجهیدن ، دو برابر کنش در حین سقوط یا صعود است .

$$S = 2\int_0^H P_z dz = 2M\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}\int_0^1 (1-y)^{\frac{1}{2}}dy$$

$$= \frac{4}{3}M\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}}$$



شکل ۱۲

به کمک قاعده‌ی کوانتش بور ـ زومرفلد داریم :

$$S = \frac{4}{3}M\sqrt{2g}H^{\frac{3}{2}} = nh$$

$$H_n = \left(\frac{9h^2}{32M^2g}\right)^{\frac{1}{3}}h^{\frac{2}{3}}$$

ترازهای انرژی متناظر (وابسته به حرکت عمودی) برابرند با :

$$E_n = MgH_n \Rightarrow E_n = \left(\frac{9Mg^2h^2}{32}\right)^{\frac{1}{3}}n^{\frac{2}{3}}$$

مقدارهای عددی برای تراز اول برابر است با :

$$H_1 = \left(\frac{9h^2}{32M^2g}\right)^{\frac{1}{3}} = 1/65\times10^{-5}\,m \Rightarrow H_1 = 16/5\mu m$$

$$E_1 = MgH_1 = 2/71\times10^{-31}\,J = 1/69\times10^{-12}\,eV$$

$$E_1 = 1/69\,peV$$

توجه کنید H_1 از مرتبه‌ی ارتفاع داده شده‌ی کاواک ، یعنی $H = 50\mu m$ است . این موضوع ، احتمال مشاهده‌ی کوانتیدگی فضایی را هنگام تغییر H افزایش می‌دهد .

۵ . بنا بر اصل عدم قطعیت ، تغییر زمان Δt و تغییر انرژی ΔE در رابطه‌ی $\Delta E\Delta t \ge h$ صدق می‌کنند . طی این زمان ، نوترون‌ها مسافتی را به سمت راست حرکت می‌کنند :

$$\Delta x = v_x\Delta t \ge v_x\frac{h}{\Delta E}$$

چون کمینه‌ی انرژی مجاز در کاواک برابر E_1 است ، داریم :

$\Delta E \approx E_1$

در نتیجه ، براورد کمینه‌ی زمان و کمینه‌ی طول موردنیاز کاواک برابر است با :

$$t_q \simeq \frac{h}{E_1} = 0/4\times10^{-3}\,s = 0/4\,ms$$

$$L_q \simeq v_x\frac{h}{E_1} = 4\times10^{-3}\,m = 4\,mm$$

IN THE NAME OF GOD

Ministry of Education
Organization of Research & Educational Planning
Teaching-Aids Publications Office

Physics Education Journal

P.O. Box: 15875/6585
Department of Physics, Tehran-Iran

Vol.21 - No.73 - 2005
ISSN : 1606 - 917X

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

Teachers' education ◆ *by Mohammad Taghi Zaeri*

Final assessment, the position of conceptual map. ◆ *by Ahmad Ahmadi*

An step forward in quautum computations ◆

Report of country's festival on active methods in physics education ◆ *Fatemeh Ebrahimi Badi*

Einstein's random walk ◆ *by Mark How*

A comparison between volume of physics and chemistry pre university books ◆*Kobra Gholami*

Marie Curie: Scientific entrepreneur◆*Soraya Boudia*

How can modern electronics be the cause of bacterial contamination? ◆ *Halliday, Resnik, Walker*

The gift of wit.◆ *M. R. Khoshbin Khoshnazar*

How we teach and how students learn – A mismatch? ◆ *Lillian C. McDermott*

The freezing of streams and ponds ◆*Craig F. Bohren*

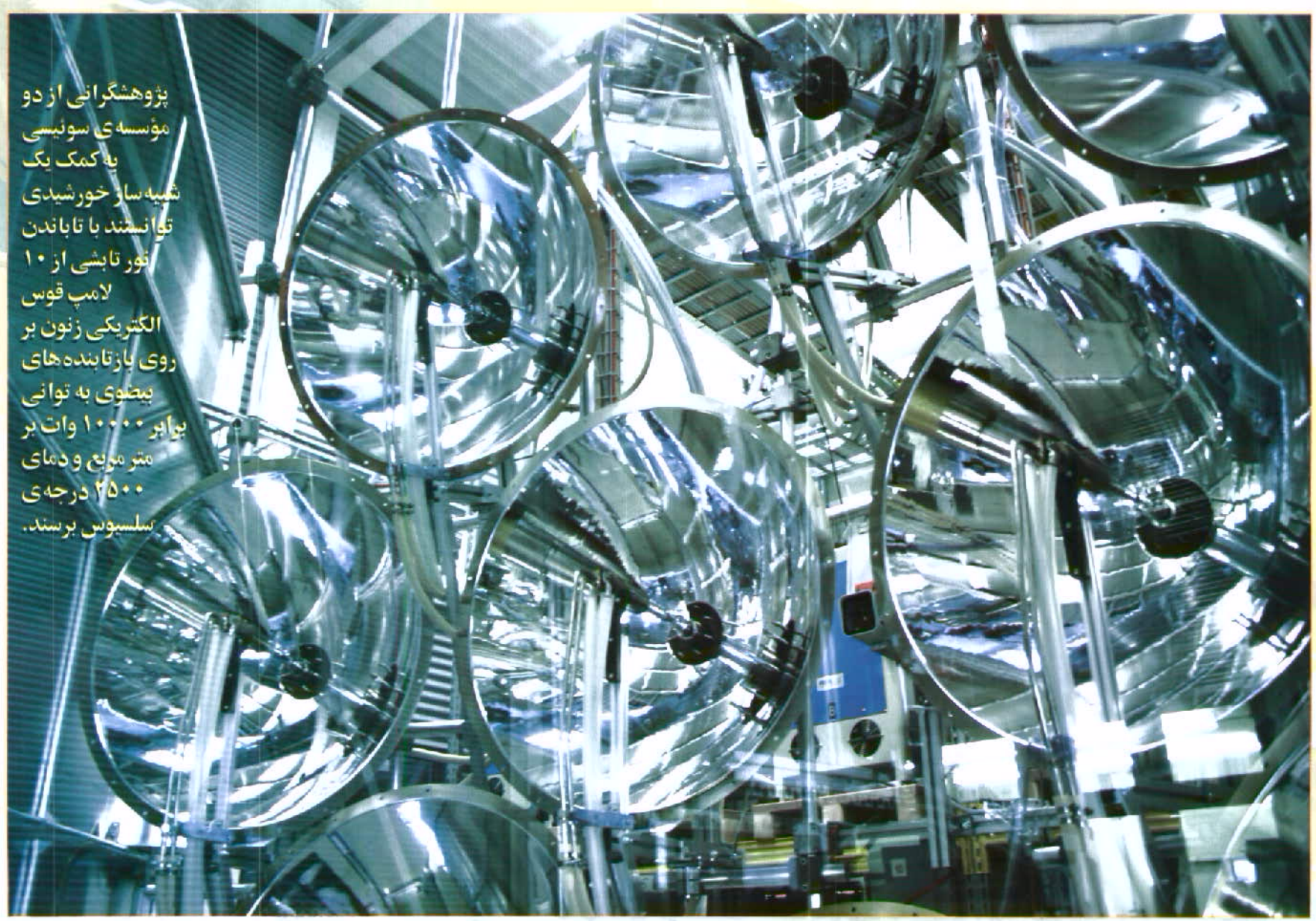
A brief history of relativity ◆*Stephen Hawking*

About the reaeders ◆

The importance of teacher's patience in teaching ◆*Jahangir Riazi*

Miscellaneous◆

36th International physics olympiad, Salamanca (Spain) 2005◆



پژوهشگرانی از دو مؤسسه‌ی سوئیسی به کمک یک شبیه‌ساز خورشیدی توانستند با تاباندن نور تابشی از ۱۰ لامپ قوس الکتریکی زنون بر روی بازتابنده‌های بیضوی به توانی برابر ۱۰۰۰۰ وات بر متر مربع و دمای ۲۵۰۰ درجه‌ی سلسیوس برسند.

منبع : www. physorg.com/news 7872.html

به یاری آفریننده‌ی نقش‌ها
مجلات رشد، وابسته به دفتر انتشارات کمک آموزشی،
سومین دوره‌ی «جشنواره‌ی عکس رشد» را برگزار می کنند.

دفتر انتشارات
کمک آموزشی
برگزار می کند

سومین دوره‌ی جشنواره‌ی عکس رشد

عکاسان بزرگسال و دانش‌آموز هر کدام می‌توانند در دو گرایش:
۱. آموزش و پرورش از نگاه دوربین. ۲. آزاد.
در این جشنواره شرکت کنند.

جوایز

۱. جایزه نفر اول هر گرایش، علاوه بر دیپلم افتخار، تندیس و چهار سکه‌ی بهار آزادی است.
۲. به کسانی که رتبه‌ی دوم و سوم هر گرایش را به‌دست آورند، علاوه بر اهدای لوح تقدیر وتندیس، به ترتیب به هر کدام سه و دو سکه‌ی بهار آزادی اهدا خواهد شد.
۳. در هر گرایش بنا به نظر گروه داوری، حداکثر از یک نفر تقدیر می شود که هریک از آنان، علاوه بر لوح تقدیر، یک سکه‌ی بهار آزادی دریافت خواهند کرد.
۴. به همه‌ی کسانی که عکسشان به نمایشگاه راه پیدا کند، لوح یادبود، پنج حلقه فیلم عکاسی و برخی از تولیدات دفتر انتشارات کمک آموزشی اهدا می‌شود.
۵. نمایشگاه آثار برگزیده و مراسم اهدای جوایز نفرات برتر، شهریورماه ۱۳۸۵ در تهران برگزار خواهد شد که مکان و زمان دقیق برگزاری مراسم، به موقع به اطلاع شرکت‌کنندگان و علاقه‌مندان خواهد رسید.

مقررات

۱. مهلت ارسال آثار تا ۱۵ اردیبهشت ۱۳۸۵ است.
۲. هر نفر می‌تواند، حداکثر با پنج قطعه عکس در هر گرایش شرکت کند. (شرکت یک عکاس در هر دو گرایش آزاد است).
۳. ابعاد عکس‌ها باید حداقل ۱۸ × ۱۳ و حداکثر ۳۰ × ۲۰ سانتی‌متر باشد.
۴. عکاسانی که سن آن‌ها کم‌تر از ۱۸ سال است، می‌توانند در گروه دانش‌آموزان و عکاسانی که سنشان بیش‌تر از ۱۸ سال است، در گروه بزرگسال شرکت کنند.
۵. عکس‌های ارسالی نباید قبلاً در نشریه و یا کتابی به چاپ رسیده باشند.
۶. مسؤولیت درستی اطلاعات مربوط به هر عکس وعکاس آن، بر عهده‌ی شرکت‌کننده خواهد بود.
۷. شرکت‌کنندگان باید برگه‌ای شامل گرایش، شماره، تاریخ و مکان عکاسی و نام عکاس را پشت هریک از عکس‌ها بچسبانند.
۸. در برگه‌ای جداگانه، مشخصات کامل خود را با شماره تلفن تماس و نشانی کامل پستی یادداشت کنید و همراه عکس‌ها به نشانی دبیرخانه‌ی جشنواره بفرستید.
۹. دفتر انتشارات کمک آموزشی اجازه دارد، عکس‌های دریافتی را به صورت مجموعه عکس و یا به صورت‌های دیگر، از قبیل چاپ در نشریات یا کتاب‌ها و... لزوماً با ذکر نام عکاس، منتشر کند.
عکس‌هایی که به نمایشگاه راه پیدا می‌کنند، بازگردانده نخواهند شد و بقیه‌ی عکس‌ها حداکثر تا پایان آبان ۱۳۸۵ به نشانی فرستندگان، ارسال می‌شوند.
نشانی دبیرخانه‌ی جشنواره‌ی عکس رشد: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۳۳۳۱
تلفن: ۸۸۳۰۵۲۷۹

● موضوع‌های پیشنهادی برای گرایش «آموزش و پرورش از نگاه دوربین»

۱. بازی دانش‌آموزان (ابتدایی، راهنمایی و متوسطه)
۲. کلاس شلوغ و بازیگوشی دانش‌آموزان
۳. لحظه‌ی تعطیلی کلاس و مدرسه
۴. دانش‌آموزان، معلمان و مساله‌ی امتحان
۵. درس، کار و فعالیت‌های فوق برنامه
۶. درس پرسیدن و درس جواب دادن
۷. بهداشت در مدرسه
۸. دانش‌آموز و معلم در اردو، و سفرها و گردش‌های علمی
۹. کارهای نو و ابتکاری در تدریس، اداره‌ی کلاس و...
۱۰. فضاهای خاص و جالب مدرسه، کلاس و...
۱۱. شادی و لحظه‌ها و فضاهای شاد در مدرسه و در میان دانش‌آموزان
۱۲. امید به آینده و تلاش برای ساختن فردایی بهتر
۱۳. کلاس رایانه
۱۴. آزمایشگاه
۱۵. کارهای فنی
۱۶. تکلیف شب
۱۷. دانش‌آموزان، شهروندان آینده (شهروندی دانش‌آموز در مدرسه و اجتماع)
۱۸. دانش‌آموز و کار
۱۹. فعالیت‌های دانش‌آموزان، خارج از مدرسه