بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک ۱۰۷

رشد آموزش

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
دفتر انتشارات و تکنولوژی آموزشی

آموزشی، تحلیلی و اطلاع رسانی

دورهٔ بیست و نهم، شمارهٔ ٤، تابستان ۱۳۹۳

مدیرمسئول: محمد ناصری
سردبیر: دکتر منیژه رهبر
مدیر داخلی: احمد احمدی
هیئت تحریریه: احمد احمدی، روح الله خلیلی بروجنی، دکترسید حجت‌الحق حسینی، دکتر آزیتا سیدفدایی، دکتر منیژه رهبر، اسفندیار معتمدی
طراح گرافیک: نوید اندرودی
ویراستار: جعفر ربانی
www.roshdmag.ir
Physics@roshdmag.ir
نشانی مجله: تهران صندوق پستی: ۶۵۸۵-۱۵۸۷۵
دفتر مجله: (داخلی ۳۷۴-۳۷۰) ۸۸۳۰۵۸۶۲-۰۲۱
پیام‌گیر نشریات رشد: ۸۸۳۰۱٤۸۲-۰۲۱
مدیر مسئول: ۱۰۲
دفتر مجله: ۱۱۳
امور مشترکین: ۱۱۴
چاپ: شرکت افست (سهامی عام)
شمارگان: ٤۸۰۰ نسخه

تصویر روی جلد: در قطارهای تفریحی نیروی مرکزگرا شتاب مرکز گرا را تأمین می کند.

در باب بسته‌های آموزشی/ ۲
اندیشهٔ پویا/ جهانگیر ریاضی/ ۳
ارزشیابی مؤثر در فرایند آموزش فیزیک/ علی‌رضا کیخا- بهروز صاحب‌زاده/ ۷
ابزارهای جدید اندازه‌گیری شتاب گرانی زمین/ رضا قلی‌پور/ ۱۳
آزمایشگاه مجازی، آری یا نه؟/ خدیجه حسن بیگ‌زاده کلور/ ۱۶
انتشار صوت در «قراضه طبیعیات»/ غلامحسین رحیمی/ ۱۸
انرژی زمین‌گرمایی چیست؟/ دیکسون وفانلی- ترجمهٔ رضا ملکی/ ۲۳
روش‌های ماتریسی در اپتیک پیرامحوری/ محمدرضا فرزان‌نیا، سیدفرشاد اختریان فر/ ۲۶
بررسی اثربخشی آموزش مکانیک/ مجتبی جهانی‌فر، نسرین طاهری اصغری/ ۲۸
نیروی گریز از مرکز؛ واقعی یا تخیلی؟/ آرش ظهوریان پردل/ ۳۲
فیزیک در خانه/ عالیه موسوی‌زاده/ ۳۵
مرزهای فیزیک/ منیژه رهبر/ ۳۶
مسئله نردبان متکی بر دیوار/ یهودا سالو- ترجمهٔ احمد توحیدی/ ۴۰
کاربرد فلسفهٔ علم در آزمایشگاه فیزیک/ سیدهدایت سجادی/ ۴۲
تصویربرداری پزشکی و تابش/ لوئیس ای بلو مفیلد- ترجمهٔ روح‌الله خلیلی بروجنی/ ۴۴
پیش‌نیازی به نام خلأ/ مریم صابری/ ۵۳
کارنمای ماهانه فیزیک/ زهرا پرویزی، تهمینه بازگیر/ ۵۶
پرسش‌های مسابقات بین‌المللی فیزیک‌دانان جوان سال ۲۰۱۴/ آزیتا سیدفدایی/ ۶۰

مجله رشد آموزش فیزیک،
نوشته‌ها و حاصل تحقیقات پژوهشگران و متخصصان تعلیم و تربیت،
به‌ویژه 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 پیوست 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 پیوست 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 شماره‌ی صفحه مورد استفاده باشد.
- مجله در رد، قبول، ویرایش و تلخیص مقاله‌های رسیده مختار است.
- آرای مندرج در مقاله‌ها، ضرورتاً مبین نظر دفتر انتشارات کمک‌آموزشی نیست و مسئولیت پاسخگویی به پرسش‌های خوانندگان، با خود نویسنده یا مترجم است.
- مجله از بازگرداندن مطالبی که برای چاپ مناسب تشخیص داده نمی‌شود، معذور است.

سرمقاله

درباب بسته‌های آموزشی

آب‌کم جو تشنگی آور به‌دست
تا بجوشد آبت از بالا و پست
مولوی

آمـوزش حافظه‌محور مبتنی بر به‌خاطر سـپردن مطالب و فراخـوان آن‌ها در موارد ضروری، دیگر نمی‌تواند پاسـخ‌گوی نیازهای دنیای فعلی باشـد؛ زیرا گنجینهٔ دانش بشری با چنان سـرعتی رشـد می‌کند که به‌خاطر سـپردن مطالب حتی در حوزه‌ای محدود نه‌تنها امکان‌پذیر نیست بلکه کارآیی لازم جهت رفع مشکلات را هم ندارد. بنابراین، روش‌های آموزشی نیز کاملاً دگرگون شده‌اند و از روش مبتنی بر حفظ کردن معلم‌محور به روش فعال بر مبنای آموزش روش تفکر و چگونگی بهره‌گیری از امکانات موجود تبدیل شده‌اند.

در سـال‌های اخیر شـاهد تحول گسـترده در کتاب‌های درسـی و نیز گسـترش بسته‌های آموزشی شـامل کتاب‌های مختلف کمک‌آموزشـی، مجلات، نرم‌افزارهای چندرسـانه‌ای، اسباب‌بازی‌های آموزشی و غیره هستیم. به کمک این بسته‌ها می‌توان کیفیت آموزش را بهبود بخشـید و شاگردان را هرچه بیشتر در فرایند آموختن سهیم ساخت.

خوشبختانه گنجینه‌های علمی جهانی نیز دیگر در انحصار افراد خاص نیست و همگان می‌توانند با آگاهی از روش استفاده از آن‌هـا بهره‌مند شـوند. بنابرایـن، آموزش‌ها بایـد بر مبنای آموختن مهارت لازم جهت بهره‌گیری از این امکانات باشد.

حال ببینیم بسـته‌های آموزشی موجود در کشور ما تا چه حد توسعهٔ این روش، یعنی آموختن مهارت، اهتمام می‌ورزند. شک نیسـت که تلاش‌های فراوانی در جهت توسعهٔ بسته‌های آموزشی مفید به عمل آمده است که می‌توانند به شاگردان در رسیدن به این هدف کمک کنند و می‌توان نمونه‌های جالبی از آن‌ها را مشاهده کرد.

اما، متأسفانه این بسته‌ها و اگرچه به‌فور خریداری می‌شوند اما آن‌طور که باید و شاید مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و ابتکار عمل در دسـت کسانی اسـت که با تبلیغ فراوان موادی را در اختیار شاگردان می‌گذراند که آن‌ها را به حفظ کردن طوطی‌وار مطالب وامی‌دارند و با جلوگیری از تفکر مانع از رشـد خلاقیت در آنان می‌شوند.

اگر بـه کتاب‌های کمک‌آموزشـی یا کمک‌درسـی که با شمارگان زیاد چاپ و درباره‌شان به‌طور گسترده تبلیغ می‌شود توجه کنیم، مشاهده خواهیم کرد که نه‌تنها شاگردان را به فکر کردن و استفادهٔ مؤثر از مطالب آموزشی تشویق نمی‌کنند، بلکه مانع از تفکر و به‌کارگیری امکانات ذهنی آنان می‌شوند.

برای من شـگفت‌انگیز است رسانهٔ ملی که خود را مسئول ترویج فرهنـگ پویای اسـلامی می‌داند کتاب‌های آموزشـی را تبلیغ می‌کند که محتوای آن‌ها سـؤالات پرتکرار از سـطح دبسـتان به بالا بـا ذکر تعداد تکرر آن‌هاسـت. ایـن کتاب‌ها شـاگردان را به چه کار تشـویق می‌کند؟ آیا غیر از آن اسـت که بـه آن‌ها می‌گوید جواب این سـؤال‌ها را حفظ کنید تا در امتحان قبول شـوید و مدرکی بگیرید بدون اینکه مهارت لازم و شایستگی آن را داشته باشـید؟ تعجب‌آورتر اینکه مسئولان آموزش کشـور هیچ‌گونه واکنشی به این تبلیغات از خود نشان نمی‌دهند. نتیجه آن می‌شود که به مطالب مفید و بدون تبلیغ توجهی نمی‌شـود و این مواد زیان‌آور به واسـطهٔ تبلیغ فراوان هرچه بیشتر رشد می‌کنند.

حاصل این کار آن اسـت که کشـورمان به‌رغم رشد قابل ملاحظهٔ آمار فارغ‌التحصیلان و منابع فراوانی که صرف این کار می‌شـود، به آنچه از این آمار انتظار می‌رود دسـت نمی‌یابد و به‌رغم منابع طبیعی و انسـانی فـراوان نمی‌تواند از آن‌ها بهرهٔ مناسب را بگیرد و از نعمت‌های فراوانی که خداوند در اختیارش قرار داده است به‌طور مؤثر استفاده کند.

اندیشـــ
جهانگیر ریاضی

مقدمه

اندیشهٔ پویا تفکری است که با عبور از مسیرهای خلاق و متفاوت، در تعامل با یک پدیده یا رویداد، ضمن طرح چرایی‌ها و پرسش‌های اساسی و کیفی، قوانین ناظر بر رفتار دینامیکی آن رویداد را می‌شناسد و با استفاده از آن قوانین رویداد را به سمت بستر دینامیکی زمان هدایت می‌کند. در واقع می‌توان گفت که نگرش پویا در جست‌وجوی یافتن بنیادی‌ترین «چرا»هایی است که پاسخ درست به آن‌ها می‌تواند راهگشای دستیابی به شیوه‌های زیستن کیفی انسان باشد. در مقابل اندیشهٔ پویا اندیشهٔ ایستا قرار دارد که رویدادها و پدیده‌ها را در شرایطی ایستا و غیردینامیکی به دور از هرگونه تعامل با سایر پدیده‌ها و امکان هرگونه تغییر، مورد بررسی قرار می‌دهد. در چنین نگرشی نمی‌توان انتظار طرح پرسش‌ها و چراهایی کیفی و خلاق را داشته باشیم.

کلیدواژه‌ها: اندیشه، اندیشه پویا، اندیشهٔ ایستا

تغییر موازنه بین اندیشهٔ پویا و اندیشهٔ ایستا

تعارض بین تفکر پویا و تفکر ایستا همواره وجود خواهد داشت و این تصور که می‌توان تمامی زمینه‌ها و بسترهای ایستایی را به یک‌باره از بین برد و پویایی را غالب نمود تصوری غیرواقعی است.

عناصر اندیشهٔ پویا و عملکرد آن در قالب رفتارهای کیفی و راهگشا و در فرایند دستیابی به آموزه‌های هدفمند و کیفی تحقق می‌یابند. به‌طور کلی می‌توان گفت که هر پدیده یا رویداد مجموعه‌ای توأم از عناصر پویا و ایستاست. مدیریت صحیح برای هدایت رویداد، در راستای رفتار پویا، مستلزم شناسایی و تقویت عناصر پویا در آن رویداد یا پدیده است.

تقویت این عناصر می‌تواند موازنهٔ بین پویایی و ایستایی را دستخوش تغییراتی هدفمند کند. به بیان دیگر آنچه روی می‌دهد تغییر موازنهٔ بین عناصر پویا و ایستا در یک مجموعه است. باتوجه به آنکه رفتار ایستا نسبت به رفتار پویا دارای عمری طولانی مبتنی بر پیشینه‌های لخت در قلمرو اندیشه و رفتار انسان‌هاست و با روحیهٔ تنبلی، سستی و تغییر گریزی انطباق دارد، به‌صورت تمایل غالب در انسان‌ها ظاهر می‌شود. در حالی‌که رفتار پویا نیازمند تلاش در جهت عبور از ایستایی و لختی پیشینه‌ای و فاصله گرفتن از عادت‌هایی است که انسان را از فرایند تغییر و انطباق با بستر دینامیکی زمان دور می‌کند. بنابراین اگر عرصهٔ تقابل بین رفتار ایستا و پویا درست مدیریت نشود، به یقین موازنه در جهت غلبهٔ عناصر ایستا تغییر خواهد کرد. از این منظر حفظ خصلت پویا در اندیشه و رفتار یک مجموعه، نیازمند تلاش مستمر و پیگیر بدون وقفه است. وقفه‌ها و کم‌کاری‌ها در این زمینه باعث مغلوب شدن به‌وسیله تمایلات ایستا خواهد گردید. محیط یادگیری باید بتواند مدیریت تغییر موازنه بین ایستایی و پویایی را در قلمروهای مختلف زندگی، به دانش‌پژوهان آموزش دهد. آموزه‌هایی که نبود آن‌ها باعث می‌گردد در هیچ یک از عرصه‌های تعامل انسان با جهان خارج، هزینه‌ها به سرمایه‌ای ماندگار تبدیل نشوند؛ چرا که از جمله ویژگی‌های اندیشه ایستا، عدم مدیریت در هدایت هزینه‌ها در فرایندهای تبدیل آن‌ها به سرمایه‌های انسانی است.

اندیشهٔ پویا و یافتن مسیرهای نو برای ورود به تعامل

صاحب تفکر ایستا برای تعامل با یک پدیده یا رویداد در جهان خارج، تنها یک مسیر کلیشه شده و تکراری را می‌شناسد و هیچ‌گونه تلاشی برای یافتن مسیرهای متفاوت یا ایجاد تغییر در مسیر کلیشه‌ای انجام نمی‌دهد. نمونهٔ آن رفتار معلمی با اندیشهٔ ایستا در محیطی آموزشی است که به‌دلیل نبود خلاقیت و نوآوری در آن سبب می‌شود. در چنین شرایطی نمی‌توان انتظار رفتار و واکنش‌هایی خلاق و پویا از

دانش‌آموزان داشت.

این رفتار تکراری در گستره‌ای از قلمروهای تعامل مانند: واژگان و ادبیات تعامل، شیوه‌های ارائهٔ مفاهیم، عدم توجه به تفاوت‌ها و تلاش در راستای یکسان‌سازی آن‌ها، چگونگی برخورد با پرسش‌های دانش‌پژوهان، شیوه‌های ارزشیابی و.... خود را نشان می‌دهد.

اندیشهٔ پویا، پویایی تعامل با یک پدیده یا رویداد را براساس کثرت و تنوع در مسیرهای ورود به تعامل توصیف می‌کند. این تفکر، یک پدیده یا رویداد را براساس رفتار دینامیکی آن ضمن تعامل با سایر پدیده‌ها و رویدادهای جهان خارج مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در واقع باید گفت که نمی‌توان از یک منظر محدود و مسیر کلیشه‌ای، رفتار دینامیکی یک پدیده را تحلیل نمود. مسیرهای مختلف ورود به تعامل با رویداد باعث می‌گردد جنبه‌های مختلف از رفتار و عناصر تشکیل‌دهندهٔ آن مشخص گردد.

در هر یک از این مسیرهاست که می‌توان با پرسش‌ها و چرایی‌های متفاوت و جدیدی مواجه گردید. پرسش‌ها و چرایی‌هایی با ماهیت دینامیکی که پاسخ به آن‌ها نیازمند درک کیفی و پویا از رفتار رویداد و پدیده است. این پاسخ‌ها و چگونگی‌ها می‌تواند بر رفتار دینامیکی آیندهٔ رویداد آثاری مثبت و مدیریت شده بر جای گذارد.

تنوع و کثرت در مسیرهای ورود به تعامل با رویداد براساس دست‌کاری در متغیرهایی است که با رویداد دارای اثر متقابل فعال هستند. این دست‌کاری و تغییر، رویداد یا پدیده را ناگزیر به انطباق با شرایط جدید می‌کند. از طرف دیگر ورود به تعامل از مسیرهای مختلف، زمینه‌های دست‌یابی به شناختی همه‌جانبه‌تر از عناصر رویداد و رابطه بین آن‌ها را فراهم می‌سازد. چنین شناختی در فرایند طرح چرایی‌ها و پرسش‌های حاصل از عبور از مسیرهای مختلف تعامل به‌دست می‌آید.

بنابراین می‌توان گفت که اندیشه پویا با نگاهی خلاق به مسیرهای مختلف ورود به تعامل با پدیده و رویداد، چرایی‌هایی را خواهد یافت که پاسخ کیفی به آن‌ها ارکان اصلی شناخت واقعی‌تر از رویداد را فراهم می‌سازند. بر مبنای همین شناخت است که به اتکای عناصر پویای پدیده یا رویداد، می‌توان آن را در راستای بستر دینامیکی زمان هدایت نمود. یعنی باتوجه به ضرورت‌ها، اولویت‌ها و نیازهای زیستن کیفی انسان در جهان امروز و فردا، رویدادها را با تفکری پویا مدیریت کرد. از این منظر یکی از اساسی‌ترین وظایف فرایند آموزش و یادگیری، آشنا نمودن دانش‌پژوهان با شیوه‌های پویای تعامل با پدیده‌ها و رویدادها و یافتن مسیرهای مختلف ورود به تعامل با آن‌هاست.

اندیشهٔ پویا و خروج از چرخه‌های نازیبای تکرار

اندیشهٔ پویا با رفتار مبتنی بر تکرار کلیشه‌ها و چرخه‌های ایستا سازگار نیست. به تکرار همه‌جانبهٔ خویشتن نمی‌پردازد و این تکرار را «افتخار» نمی‌داند! معلمی که هر سال در مواجه شدن با مخاطبان جدید، خویشتن و دانسته‌هایش را بدون کمترین تغییری تکرار می‌کند، رضایتی از جنس «اکنون ماندگی» را بیش از «فردایی شدن» تجربه خواهد کرد. چنین رفتاری با هیچ یک از نشانه‌های اندیشه و رفتار، پویا سازگاری ندارد.

اندیشهٔ ایستا مخاطبان را به ایستایی و باقی ماندن در اکنون فرا می‌خواند و تمام مسیرهای خروج از ایستایی را مسدود می‌کند. در حالی‌که تفکر پویا مسیرهای خروج از تکرار را جست‌وجو و تلاش می‌کند متغیرهایی را که بسترهای تکرارپذیری و کلیشه‌زدگی را فراهم می‌کنند، شناسایی و فرایند تقابل با آن‌ها را مدیریت کند. نباید فراموش کرد که خروج از چرخه‌های تکرار وقتی تحقق می‌یابد که بتوان جایگزین‌هایی مناسب و دارای ماهیتی پویا را برای قلمروهای تکرار تدارک دید. به بیان دیگر، نشانهٔ بارز خروج از تکرارها، داشتن تفکر و ایده‌های خلاق برای ارائهٔ آرایه‌هایی نو از متغیرهاست.

در واقع برای خارج شدن از چرخه‌های تکرار یا باید آرایه‌های تشکیل‌دهندهٔ لحظات زندگی موجود را دستکاری کرد و یا از آغاز در جست‌وجوی آرایه‌هایی کاملاً متفاوت و تجربه نشده بود. در هر صورت باید پذیرفت که این تغییر در آرایه‌ها خود به خود اتفاق نمی‌افتد و نیازمند برقراری تعاملی پویا و خلاق با شرایط موجود در راستای ایجاد تغییرات هدف‌مند است.

اندیشهٔ پویا تلاش می‌کند با توجه به عناصر تشکیل‌دهندهٔ شرایط موجود، آرایه‌های مختلفی را شبیه‌سازی کند. به بیان دیگر، احتمالات مختلف از چگونگی حضور عناصر و تعامل بین آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد. با تصور هر آرایه از عناصر در یک مجموعه، می‌توان تعامل آن را با سایر مجموعه‌های جهان خارج پیش‌بینی و تحلیل کرد. یعنی می‌توان گفت در صورت وجود آرایه‌ای از متغیرها با این ویژگی‌ها، چه تغییر اساسی در شرایط موجود ایجاد خواهد شد و این تغییرات کدام آثار بعدی را به‌دنبال خواهد داشت که این به معنای عدم پذیرش شرایط موجود به‌عنوان «تنها شکل ممکن از آرایهٔ متغیرها» است.

اندیشهٔ پویا در یک محیط آموزشی به ارائهٔ مفاهیم در یک قالب ایستا اکتفا نمی‌کند. بلکه می‌کوشد قالب‌هایی متنوع را با توجه به شرایط و تغییرات احتمالی آن مورد استفاده قرار دهد. این‌گونه است که کلیشه‌ها شکسته می‌شوند و امکان بروز خلاقیت و نوآوری در محیط آموزشی فراهم می‌گردد. سلطهٔ روش‌های تکراری و کلیشه‌ای باعث می‌گردد تفاوت‌ها مورد توجه قرار نگیرد و یکسان‌سازی به‌عنوان هدف اصلی دنبال گردد.

در حالی‌که اندیشهٔ پویا، پویایی یک مجموعه را در حضور تفاوت‌ها و تلاش برای یافتن مسیر انسجام و وحدت‌یافتگی آن‌ها می‌داند. از آنجایی که وحدت‌یافتگی عناصر دارای خصلت پویاست و در تعامل با بستر دینامیکی زمان دستخوش تغییرات

تنوع و کثرت در مسیرهای ورود به تعامل با رویداد براساس دست‌کاری در متغیرهایی است که با رویداد دارای اثر متقابل فعال می‌باشند

کیفی می‌گردد، می‌تواند منشأ آرایه‌هایی نو از متغیرها شود؛ آرایه‌هایی که مسیرهای خروج از کلیشه‌ها را هموار خواهد کرد.

اندیشهٔ پویا «خروج آگاهانه» و مدیریت‌شده از کلیشه‌ها را آموخته است. پس این حوادث و اتفاقات مدیریت نشده نیست که او را مجبور به خروج از کلیشه‌ها می‌کند! به یاد داشته باشیم که اگر تفکر ایستا در شرایط استثنایی بخواهد در ترکیب عناصر خود تغییری ایجاد کند، این تغییر ناشی از یک اتفاق، اجبار و الزام است و نه انتخابی آگاهانه! خروج آگاهانه براساس چرایی‌ها و علت‌های کیفی معنا می‌یابد و به‌دنبال خود چگونگی‌های راهگشا را خواهد داشت.

اندیشهٔ پویا: ایجاد تعامل بین رویداد و بستر دینامیکی زمان

اندیشهٔ پویا تلاش می‌کند از منظر بستر دینامیکی زمان به رویدادها و پدیده‌ها نگاه کند. یعنی زمینه‌های کاهش فاصله بین رویداد و بستر دینامیکی زمان را فراهم نماید. برای کاهش این فاصله لازم است عناصر پویای رویداد را با آنچه که امروز نیاز و ضرورت پویایی یک پدیده است منطبق ساخت. به بیان دیگر باید درک درستی از مفهوم بستر دینامیکی زمان داشت و رویداد را با آن درک و تحلیل کرد.

بستر دینامیکی زمان متشکل از مجموعه متغیرهای دارای خصلت دینامیکی است. به بیان دیگر بدون داشتن تعامل کیفی با این متغیرها نمی‌توان از فرایندهای پویا حرف زد. پس یکی از معیارهای مهم نزدیک شدن به بستر دینامیکی زمان، ایجاد تعاملی کیفی با متغیرها و پدیده‌های دارای ماهیت پویاست و مجموعهٔ آن‌ها می‌تواند رفتار دینامیکی جهان خارج را تبیین کند.

نزدیک شدن به بستر دینامیکی زمان به مفهوم «دنباله‌روی ناآگاهانه» از آن نیست! بلکه به مفهوم شناخت قوانین ناظر بر تغییرات دینامیکی این متغیرها و به‌کارگیری صحیح و با انعطاف آن‌ها در مسیر تقویت پویایی است. دستیابی به این شناخت با طرح چرایی‌ها و پرسش‌های دارای ماهیت پویا امکان‌پذیر می‌گردد.

اندیشهٔ پویا: تبدیل کثرت به وحدت

گام اول در تبدیل کثرت به وحدت یعنی یگانگی بخشیدن یا ایجاد انسجام بین عناصر متفاوت در یک مجموعه، پذیرش و شناخت این تفاوت‌ها به‌عنوان واقعیت‌هایی مستقل از تمایل ماست. اندیشهٔ پویا براساس نگاهی آگاهانه، هرگز تفاوت‌ها را نفی نمی‌کند. آن‌ها را می‌بیند، می‌پذیرد و اساس طراحی هر فرایند را، پذیرش و شناخت تفاوت‌ها می‌داند.

انسجام و وحدت‌یافتگی بین عناصر متفاوت، به معنی یکسان پنداشتن و یکسان دیدن آن‌ها نیست! یکسان دیدن و یکسان سازی تفاوت‌ها به معنی نادیده گرفتن و نفی آن‌هاست. تصور جهانی خالی از تفاوت‌ها و تنوع، اندیشه‌ای ناآگاهانه و غیرواقعی است. ذهنی که «چرایی» وجود کثرت و تفاوت‌ها را نیافته باشد، «چگونگی» مدیریت و هدایت مجموعهٔ شامل عناصر متفاوت را نخواهد یافت. چنین ذهنی پیش از آنکه به سازوکار ایجاد انسجام بین تفاوت‌ها بیندیشد، مسیر نفی و یکسان‌سازی آن‌ها را دنبال می‌کند!

اندیشهٔ پویا وجود کثرت و تفاوت‌ها را شرط اساسی و ضروری پویایی و حرکت منسجم به سمت اهداف مشخص می‌داند. به همین دلیل است که همیشه در جست‌وجوی «یافتن تفاوت‌ها» است. چراکه آرایهٔ کیفی از تفاوت‌هاست که می‌تواند مسیر فرایندها را برای دستیابی به اهداف کیفی هموار نماید. از طرف دیگر یکی از مهم‌ترین شرایط تحقق انسجام و وحدت‌یافتگی بین تفاوت‌ها، وجود اهداف مشترکی است که عناصر را در یک مجموعه ساماندهی می‌کند.

به بیان دیگر، وحدت‌یافتگی در مسیر تلاشی مشترک و جمعی در دستیابی به اهداف مشترک معنا می‌یابد. بدون آنکه در این مسیر، عناصر متفاوت تفاوت‌های خود را فراموش کنند و یا در نهایت به کلیشه‌ای یکسان شده تبدیل شوند. بنابراین درک «چرایی حضور تفاوت‌ها» در یک مجموعه، «چگونگی» و سازوکار ایجاد تعاملی پویا و وحدت‌طلب بین عناصر مجموعه را فراهم می‌سازد. باید توجه کرد که نادیده گرفتن اندیشه‌های متفاوت، متناظر است با تبدیل کثرت و تفاوت‌ها به تعارض و اختلاف. اندیشهٔ پویا در هدایت مجموعه‌ای از تفاوت‌ها به سمت اهداف معین، با توجه به ظرفیت و موقعیت هر یک از آن‌ها، از بیشینه توانمندی عناصر استفادهٔ فعال می‌کند.

به‌طور کلی در انطباق یک مجموعه با متغیرهای جهان خارج، لازم است که این مجموعه از قابلیت‌ها و توانمندی‌های مختلفی برخوردار باشد. وجود تفاوت‌ها در یک مجموعه با مدیریتی پویا متناظر با وجود توانمندی‌های مختلف در تعامل با متغیرهای جهان خارج است. به بیان دیگر از منظر اندیشهٔ پویا، توانایی و قدرت یک مجموعه، به کیفیت مدیریت تفاوت‌های عناصر تشکیل‌دهندهٔ آن بستگی دارد. مدیریت با تفکر ایستا با نفی تفاوت‌ها یا تبدیل آن‌ها به تعارض‌های درونی مجموعه، توانایی آن را در تعامل با متغیرهای بیرونی بسیار ضعیف خواهد ساخت.

چرایی‌ها و پرسش‌های پویا

اندیشهٔ پویا در رویارویی با یک پدیده یا رویداد مشخص، در پی یافتن متغیرهای اساسی و تعیین‌کننده در فرایند تغییر رویداد و قوانین ناظر بر آن است. بنابراین چرایی‌ها و پرسش‌هایی مرتبط با مراحل مختلف این فرایند را طرح خواهد نمود. چنین پرسش‌هایی دارای خصلتی پویا هستند یعنی از جغرافیای چرایی‌های اساسی و کیفی سرچشمه می‌گیرند و پاسخ به آن‌ها نیز از همین ویژگی پویا پیروی می‌کند و می‌تواند رفتار دینامیکی

معلمی که هر سال در مواجه شدن با مخاطبان جدید، خویشتن و دانسته‌هایش را بدون کمترین تغییری تکرار می‌کند، رضایتی از جنس «اکنون ماندگی» را بیش از «فردایی شدن» تجربه خواهد کرد

رویداد را توصیف کند. به عبارت دیگر، دستیابی به پرسش‌ها و چرایی‌های پویا، بخشی بسیار مهم از مدیریت کیفی یک رویداد در جهت اهداف معین است.

به اختصار می‌توان گفت که چرایی و پرسش پویا، نتیجه و محصول تعاملی کیفی بین اندیشهٔ پویا با یک پدیده یا رویداد است. در امتداد تعامل پویاست که چرایی‌ها و پرسش‌ها راهگشا طرح خواهد گردید. به یاد داشته باشیم که هرگاه رویداد یا پدیده‌ای در حالت ایستا مورد بررسی قرار گیرد، توانایی درک و شناخت رفتار دینامیکی آن را نخواهیم داشت. در چنین شرایطی است که جغرافیای پرسش‌ها و چرایی‌ها، جغرافیای ایستایی خواهد شد. برهمین اساس است که با توجه به پرسش‌های طرح شده توسط یک فرد، می‌توان به نوع نگرش و کیفیت تعامل او با پدیده یا رویداد پی برد.

از این منظر می‌توان گفت که مجموعهٔ پرسش‌ها و چرایی‌های طرح شده، در واقع نشانه‌های خارجی اندیشه‌های درونی فرد نسبت به یک پدیده یا رویداد است. از طرف دیگر باید گفت که چگونگی‌ها و راه‌حل‌ها در فرایند اثری متقابل با جغرافیای چرایی‌ها معنا می‌یابند. به‌طور کلی هر قدر رابطهٔ انسان با رویداد یا پدیده از عمق و کیفیت بیشتری برخوردار باشد، چرایی‌ها و پرسش‌های طرح شده در این رابطه عمیق‌تر خواهند بود. رابطهٔ کیفی و پویا با یک پدیده، به انسان این امکان را می‌دهد که به بخش‌های درونی‌تر دست بیابد و ناگفته‌های بیشتری را درک کند.

نگاه یک‌سویه به پدیده یا رویداد باعث می‌شود که انسان تنها بخشی محدود از رویداد را مورد توجه قرار دهد و از سایر بخش‌ها غافل بماند! چنین نگرش یک‌سویه‌ای باعث می‌گردد نتوان تمامی عناصر تشکیل‌دهندهٔ رویداد را به‌عنوان یک کل واحد، مورد بحث و ارزیابی قرار داد. همین امر باعث می‌گردد نتوان قوانین ناظر بر فرایند تغییرات پدیده یا رویداد را شناخت. چرا که بدون درکی گسترده از تمامی عناصر اساسی و تعیین‌کننده در فرایند تغییر یک پدیده، نمی‌توان به قوانین ناظر بر این تغییرات پی برد. به بیان دیگر باید گفت که نگاه یک‌سویه به رویداد، امتدادی است از تفکر ایستا نسبت به آن؛ تفکری که توانایی تحلیل رفتار دینامیکی رویدادها را ندارد.

اندیشهٔ پویا ایجاد ارتباط کیفی با رویداد یا پدیده‌ها را در قالب تعاملی یک‌سویه با هدف اثرگذاری بر روند تغییرات رویداد تلقی نمی‌کند! بلکه آن را به‌صورت رابطه‌ای متقابل بین خود و رویداد می‌داند که می‌تواند نگرش او را نسبت به رویدادهای جهان خارج دستخوش تغییر نماید. بنابراین طرح چرایی‌های پویا از یک طرف راهگشای فرایند تغییرات رویداد و از طرف دیگر بسترساز دستیابی به قلمروهای پویاتر برای اندیشیدن است.

به بیان دیگر طرح چرایی‌ها و پرسش‌های کیفی می‌تواند ذهن انسان را خلاق‌تر کند. همان طور که طرح پرسش‌هایی با ماهیت ایستا می‌تواند بسترساز تقویت اندیشه‌های ایستا در انسان گردد.

اندیشهٔ پویا ایجاد ارتباط کیفی با رویداد یا پدیده‌ها را در قالب تعاملی یک‌سویه با هدف اثرگذاری بر روند تغییرات رویداد تلقی نمی‌کند! بلکه آن را به‌صورت رابطه‌ای متقابل بین خود و رویداد می‌داند که می‌تواند نگرش او را نسبت به رویدادهای جهان خارج دستخوش تغییر نماید

اندیشهٔ پویا با طرح هر پرسش و چرایی کیفی، پنجره‌ای دیگر به طرف چشم‌اندازها و افق‌هایی جدید و تجربه نشده می‌گشاید! چشم‌اندازهایی که برای نگاه پویا امکان دستیابی به چرایی‌های تازه را فراهم خواهد نمود.

از این منظر می‌توان گفت که: اندیشهٔ پویا با طرح چرایی‌های کیفی، زمینه‌های بازتولید پرسش‌های جدید را فراهم می‌سازد. چرا که باقی ماندن در قلمرو چرایی‌ها و پرسش‌های تکراری و کلیشه‌ای، یکی از ویژگی‌های بارز تفکر ایستاست. به بیان دیگر حفظ رفتار پویا نیازمند تلاش در ایجاد تعاملی خلاق و پویا با متغیرهای جهان خارج در راستای یافتن چرایی‌های کیفی و راهگشاست.

اندیشهٔ پویا و «بازخوانی خویشتن»

بازخوانی در واقع گونه‌ای ارزیابی از مجموعه رفتارهای انسان در تعامل با خویشتن و جهان خارج است. این ارزیابی می‌تواند براساس طرح پرسش‌ها و چرایی‌های اساسی، به مفهوم واقعی خود نزدیک گردد. بنابراین اندیشهٔ پویا با طرح پرسش‌های کیفی در زمینهٔ رفتارهای مختلف، بسترهای ایجاد تغییرات کیفی را فراهم می‌سازد. فرایندی که در قلمرو اندیشه‌ای ایستا اتفاق نخواهد افتاد.

«بازخوانی یعنی دیدن خویشتن در امتدادی از آغاز تا اکنون برای یافتن خویشتن بهتر، برای دستکاری در خویشتن قبلی و جایگزین کردن خویشتن جدید...». زیبایی و آرامش این‌گونه بازخوانی، قبل از هر کس به خود فرد باز خواهد گشت! از آرامش خویشتن جدید، مناسبات جهان خارج نیز تأثیری آرام‌بخش خواهند گرفت. از منظر اندیشهٔ پویا، بازخوانی متناظر با مرور ایستای رویدادها و رفتارهای گذشته نیست! بازخوانی در واقع طرح «چرایی رویدادها و رفتارها» و یافتن پاسخ مناسب برای این چرایی‌ها و در نهایت دستیابی به «چگونگی» جایگزین نمودن رفتارهای بهتر است.

بازخوانی یعنی پاسخ به این پرسش که: «آیا مسیر صحیح رویدادها و رفتارها همان‌گونه است که اتفاق افتاده یا اینکه مسیر مناسب‌تری هم وجود دارد که ما آن را نیافته‌ایم؟». آیا بهترین شخصیت و رفتار همان است که تاکنون وجود داشته یا می‌توان شخصیت و رفتاری متفاوت را تصور کرد؟

اندیشهٔ پویا براساس دستیابی به سطوحی بالاتر از دانایی، به انسان شهامت و جسارتی می‌دهد که امکان «بازخوانی صادقانهٔ خویشتن‌اش» را از آغاز تاکنون داشته باشد و در این مسیر به‌دنبال بزرگنمایی توانایی‌های خود نیست. بلکه تلاش می‌کند بدون نگرانی از طرح حقایق، آینده‌ای مطلوب‌تر را طراحی کند.

«شهامت آگاهانه» نمی‌خواهد جسارت خود را به جهان خارج نشان دهد! بلکه جسارت بیان حدیث نفس خود را افزایش می‌دهد. او تلاش می‌کند رفتارهایی را که منشاء آسیب به خویشتن و مناسبات جهان خارج است و آرامش دیگران را از آن‌ها می‌گیرد، شناخته و رفتار بهتر را جایگزین آن‌ها نماید.

ارزشیابی مؤثر در فرایند آموزش فیزیک

علی‌رضا کیخا، زاهدان، دانشگاه فرهنگیان، پردیس شهید مطهری، گروه علوم تربیتی
پیروز صاحب‌زاده، زاهدان، دانشگاه فرهنگیان، پردیس شهید مطهری، گروه آموزش علوم تجربی

پژوهشی

چکیده

در تحقق بخشیدن آموزش‌های مورد نظر، عواملی چون محتوای آموزشی، روش‌های تدریس و توانمندی‌های شغلی و حرفه‌ای معلم مؤثرند، یکی از مهم‌ترین توانمندی‌های شغلی - حرفه‌ای معلم، توانایی او در ارزشیابی مؤثر آموزشی است. این مقاله به بررسی ابعاد ارزشیابی مؤثر در آموزش علوم تجربی و فیزیک، به‌عنوان بخشی از فرایند آموزش، در ارائه هر چه مؤثرتر آموزش‌های مورد نظر و دستیابی به اهداف آموزشی تبیین شده به مخاطبان می‌پردازد.

کلیدواژه‌ها: آموزش مؤثر، ارزشیابی خود، ارزشیابی پیشرفت تحصیلی، آزمون علمی، چک‌لیست

مقدمه

در عصری از تاریخ زندگی و تمدن بشری در کرهٔ خاکی که تولید و مبادلهٔ متنوع و وسیع علوم و فناوری حاصل از آن، از فعالیت‌های عادی زندگی روزمرهٔ بشر شده است[۱] و دنیای بزرگ و نامتناهی دیروز، امروز به واسطهٔ گسترش فناوری‌های مختلف همچون فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، به وسعتی در اندازهٔ یک دهکده، کوچک شده است[۲]، باید به آموزش چه چیزهایی به شهروندان جامعه جهانی[۳] اندیشید و بر آموزش کدام دسته از مفاهیم و مهارت‌های علمی تأکید ورزید؟ چه ملاکی را برای تعیین میزان صحت انتخاب هدف و شیوهٔ آموزش و ارائهٔ محتوای آموزشی انتخاب شده به مخاطبان اندازه‌گیری و میزان پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان را ارزشیابی کرد؟ آیا باید این اهداف و روش‌ها همچنان بدون تغییر باقی بمانند!؟

بدیهی است که برای تحقق هدف غایی آموزش علوم تجربی، یعنی آموختن برای اندیشیدن[۴] و تحقق اهداف کلی آموزشی باید از روش‌های تدریس فعال استفاده کرد و به یادگیری فعال دانش‌آموزان اندیشید. مراد از یادگیری فعال، آن نوع یادگیری است که یادگیرنده با فعالیت‌های خود به نحوی در تولید مفاهیم علمی مشارکت دارد و معلم فرصت‌های مناسب آموزشی را برای فعالیت‌های یادگیری دانش‌آموزان فراهم می‌کند[۵].

بحث و گفت‌وگو

ارزشیابی بخش مهمی از فرایند تدریس است. در یک آزمون کتبی ۲۰ نمره‌ای علی، ۱۰ گرفته است و در همین آزمون نمرهٔ تقی، ۹/۹۹ شده است، پس علی قبول است ولی تقی چون از ۱۰ کمتر گرفته مردود است! در این سنجش منحصراً نمرهٔ فعلی ملاک مطلوب بودن یا نبودن وضعیت تحصیلی دانش‌آموزان در مادهٔ درسی است.

در یک آزمون ۲۰ نمره‌ای دانستنی، رضا نمرهٔ ۹ گرفته است. اما آموزگار با توجه به سطح آزمون و عملکرد دیگر دانش‌آموزان، او را توانمندترین دانش‌آموز کلاس معرفی می‌کند، زیرا دیگر دانش‌آموزان در همین آزمون نمره‌های ۷-۶ گرفته‌اند.

جواد در آزمونی دیگر از این قبیل از ۲۰ نمرهٔ آزمون، نمره ۱۶ گرفته است البته نمره‌های دانش‌آموزان دیگر در این آزمون ۱۹-۲۰ بوده است، با این حال معلم جواد را مورد تشویق خود قرار می‌دهد زیرا او قبلاً در این‌گونه آزمون‌ها نمره ۱۰ یا ۱۲ گرفته است. پس حالا پیشرفت داشته است. این‌ها مثال‌هایی از ارزشیابی هستند. به‌عبارت دیگر در ارزشیابی برای قضاوت دربارهٔ وضعیت تحصیلی و تعیین پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان در یک مادهٔ آموزشی، برای تفسیر و تعبیر نمرهٔ دانش‌آموز در آزمون‌های سنجش عملکرد به مسائلی همچون سطح آزمون، عملکردهای گذشتهٔ دانش‌آموز و عملکرد دیگر دانش‌آموزان در آزمون و... توجه شده، به تفسیر نمره دانش‌آموز بر این اساس، ارزشیابی گفته می‌شود. حال اگر منظور از ارزشیابی را، اطلاع مقایسه‌ای از میزان دستیابی به هدف‌های مورد نظر آموزشی بدانیم روش‌ها و معیارهای امتحان سنتی و رایج در آموزشگاه‌ها، نمی‌توانند شیوهٔ مناسب قضاوت در مورد حدود این توانمندی‌ها باشد. هدف از تدریس هر درس و مفهوم آموزشی تحقق سه هدف کلی و کسب سه نتیجهٔ کلی است که عبارت‌اند از[۷]:

الف: دانستنی‌های ضروری؛ شامل اطلاعات و آگاهی‌های پایه و مورد نیاز در سواد علمی - فناورانه با عناوینی همچون گیاهان، جانوران، آتشفشان، آهنربا، الکتریسیته، اهرم و...[۶].

ب: کسب مهارت‌های ضروری؛ شامل مهارت‌های علمی، توانایی‌های علمی و عملی برای استفاده از روش علمی حل مسئله. برخی از این مهارت‌های علمی شامل مشاهده، برقراری ارتباط، کاربرد ابزار، اندازه‌گیری کردن، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری، تفسیر یافته‌ها، پیش‌بینی کردن، اجرای دستورالعمل، انجام آزمایش، طراحی تحقیق و... هستند.

ج: کسب نگرش‌های ضروری؛ مراد از نگرش‌ها، توانایی‌های درونی و انگیزشی در استفاده از روش علمی حل مسئله همچون کنجکاوی، علاقه‌مندی به علم و معلم، توجه به محیط زیست،

رعایت نظافت و بهداشت شخصی و عمومی، گوش کردن، نظریه دادن، قبول کردن، رد کردن، احساس مسئولیت، روحیهٔ همکاری و...[۹]. بنابرایـن هنگامـی که دانش‌آمـوز از طریق به‌کارگیری مهارت‌ها و کسب نگرش‌ها، دانشـی را فرامی‌گیرد: اولاً این یک یادگیری پایدار است و ثانیاً دانش‌آموز فرامی‌گیرد که چگونه یاد بگیرد[۱۰].

بدیهی اسـت که شـیوهٔ ارزشـیابی از دانش‌آموزان در این درس بایـد با توجه به هدف‌های سـه‌گانه آموزش علوم تعریف شـود. در ارائهٔ موفق آموزش‌های مورد نظر، محتوای آموزشـی، روش‌های تدریس، توانمندی‌های شـغلی و حرفه‌ای معلم مؤثر اسـت، معلم برای تعیین میزان موفقیت آموزش‌های ارائه شده باید به ارزشیابی محتوای آموزشی ارائه شده، ارزشیابی روش‌های تدریس مورد اسـتفاده در آموزش، ارزشـیابی خود و ارزشیابی عملکـرد دانش‌آموزان خود بپـردازد. ارزشـیابی در درس علوم تجربـی را می‌تـوان در دو مقولهٔ کلی ارزشـیابی معلم از خود و ارزشیابی معلم از عملکرد دانش‌آموزان بررسی کرد.

مهم‌ترین عامل اثربخشـی فعالیت‌های گوناگون آموزشی و پرورشـی در کلاس درس، توانمندی‌های شـغلی معلمان است. نمـرهٔ دانش‌آمـوزان در عملکردهـای مختلف و سـنجش‌های گوناگـون، قبل از آنکه نشـاندهنده توانمندی‌های دانش‌آموزان باشد، نشاندهندهٔ میزان موفقیت عملکرد آموزشی معلمان است. پس لازم اسـت معلم قبل از ارزشیابی و اظهارنظر دربارهٔ میزان موفقیت‌ها و پیشرفت‌های تحصیلی دانش‌آموزانش به ارزشیابی و اظهارنظر دربارهٔ خود و توانمندی‌های شغلی خود بپردازد.

روش‌های جدید آموزش علوم نقشی متفاوت از روش سنتی را بـرای معلمان در نظر می‌گیـرد. معلم علوم، در این روش باید دانش‌آمـوز را برای دنیایـی آماده کند که دائم در تغییر و تحول و توسـعه اسـت. در دنیای متحول تعلیم‌وتربیت، معلم به‌عنوان مدیر آموزشـی وظیفه‌ای دیگرگونـه را در کلاس به‌عهده دارد. [۱۱] وظیفهٔ معلم علوم تجربی فراهم آوردن شرایط، فرصت‌ها و ایجاد موقعیت‌های مناسب آموزشی برای کارکردن و دست‌ورزی دانش‌آموزان با اشـیاء و پدیده‌های طبیعـی و واقعی موجود در محیط اسـت تا از این طریق تجربیات دسـت اول کسب کنند. دانش‌آموزان در این شرایط فعال یادگیری یاد می‌گیرند که چگونه یاد بگیرند، از این‌رو لازم است معلم توانمندی‌های مناسبی داشته باشد تا بتواند به یاددهی فعال دانش‌آموزان خود بپردازد[۱۲].

در این فرایند ارزشیابی، معلم به ارزشیابی میزان آشنایی و مهارت و اسـتفادهٔ خود از روش‌های فعال و مناسب تدریس نیز می‌پردازد[۱۳]. فهرست پیشنهادهای زیر امکان می‌دهد که معلم در حین فعالیت‌های دانش‌آموزان، خود را نیز ارزیابی کند. معلم از خود می‌پرسد:

۱. بودجه‌بندی سالانه‌ای که برای کتاب درسی تهیه کرده‌ام چقدر مناسب است؟

۲. طرح درس روزانه‌ای که تهیه کرده‌ام چقدر مناسب است؟

۳. چقدر با روش‌های مختلف تدریس و محتوای آموزشـی کتاب آشنایی دارم؟

۴. چه فرصت‌هایی را برای کشف/ بازی/ درگیری غیررسمی با مواد و وسایل برای دانش‌آموزان فراهم کرده‌ام؟

۵. چقدر در کلاس سؤال آموزشی - پژوهشی می‌پرسم؟

۶. چقدر دانش‌آموزان را به پرسیدن تشویق کرده‌ام؟

۷. چه پرسش‌هایی را مطرح کرده‌ام که باعث شود شاگردان در مورد یافته‌ها و عقایدشان صحبت کنند؟

۸. آیا نوع برخورد من با پرسش‌های دانش‌آموزان به‌گونه‌ای بوده است که باعث شود خود آن‌ها به دنبال پاسخ بروند و پاسخ مستقیم را ارائه نکرده‌ام؟

۹. چقدر کارگروهی - یادگیری برای آن‌ها در نظر گرفته‌ام؟

۱۰. ...

در نظام‌های تعلیم‌وتربیت دو مدل ارزشـیابی آموزشـی با عناوین مدل ارزشـیابی عددی (کمی، نمره‌ای، امتحانی) و مدل ارزشـیابی پوشه‌ای (چک لیستی، کیفی، توصیفی) برای تعیین پیشرفت‌های تحصیلی دانش‌آموزان وجود دارد. در مدل ارزشیابی عددی، ملاک و میزان موفقیت، نمـرهٔ عملکرد دانش‌آموزان در آزمون‌های مختلف اسـت. در این مـدل اگر دانش‌آموز نمرهٔ ۱۰ گرفت قبول اسـت و همین ملاک موفقیـت دانش‌آموز و معلم به‌حساب می‌آید ولی اگر ۹/۹۹ گرفت ...؟! در این مدل ارزشیابی درواقـع میزان به‌خاطر سـپاری و یـادآوری، حافظه و اطلاعات حفظـی مورد آزمون قـرار می‌گیرند[۱۴]، ایـن مدل نمی‌تواند توانمندی‌هـای عملی و توانایی‌های نگرشـی دانش‌آموز و حتی اطلاعـات و توانایی‌های ذهنـی او را در مراتب عالی‌تر سـطوح شناختی ارزشیابی کند. وسیلهٔ ارزشـیابی، آزمون‌های کتبی یا شـفاهی و معمولاً سؤالات بسته پاسـخ از مطالب آموزشی ارائه شده است.

در مدل ارزشـیابی پوشـه ای، مدارک و چک‌لیسـت‌های ثبت مشاهدهٔ رفتار دانش‌آموزان در پوشه‌ای نگهداری می‌شود و مـلاک تعییـن موفقیت، عملکـرد آموزشـی دانش‌آموز در مقابل انتظارات آموزشـی مورد نظر آموزگار از اوسـت. در این مدل ارزشـیابی نه‌تنها میزان دانش‌های ذهنـی و توانایی‌های شـناختی دانش‌آموزان مورد ارزشیابی و تحقیق قرار می‌گیرند بلکه توانمندی‌های عملی و نگرش‌های دانش‌آموز نیز ارزشیابی می‌شـود. در این مدل ارزشیابی برای تحقیق میزان موفقیت و تحقق اهداف آموزشی علاوه بر آزمون‌های معمول، برای تعیین توانمندی‌های عملی فراگیر از چک‌لیسـت اسـتفاده می‌شود. مـلاک موفقیت در این مدل، عملکـرد کیفی و توانمندی‌های به‌دست آمده همراه با دانش‌های اوست.

این جدول (به‌دست آمده از بخشنامهٔ وزارتی) نشان می‌دهد که در ارزشیابی علوم تجربی باید چهار مقولهٔ اساسی، یعنی میزان

جدول ۱: راهنمای ارزشیابی مؤثر علوم تجربی

موضوع	نمره	محتوای ارزشیابی	روش ارزشیابی	زمان ارزشیابی
دانستنی‌ها	۵	مفاهیم، قوانین، تعاریف	طرح پرسش و فعالیت‌های مناسب	بعد از آموزش
مهارت‌ها	۵	مشاهده، جمع‌آوری اطلاعات، اندازه‌گیری، تفسیر، طراحی، تحقیق و...	تکمیل فهرست مشاهدهٔ مهارت‌ها با توجه به عملکرد دانش‌آموز به هنگام فعالیت‌ها	در حین فعالیت عملی و گروهی دانش‌آموزان
نگرش	۵	کنجکاوی، کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، توجه به محیط زیست و...	تکمیل فهرست ارزشیابی از نگرش‌ها با توجه به رفتار دانش‌آموز و ثبت مشاهده‌ها و نظرها	در حین فعالیت عملی و گروهی دانش‌آموزان
فعالیت‌های خارج از کلاس	۵	انجام آزمایش، ساخت وسیله، جمع‌آوری اطلاعات، تهیهٔ گزارش	گزارش‌های شفاهی یا کتبی در مورد فعالیت مورد نظر یا وسیله ساخته شده در ارتباط با فعالیت‌ها	موقع ارائهٔ فعالیت عملی به کلاس

دانستنی‌های علمی دانش‌آموز، میزان مهارت‌های علمی، میزان نگرش‌هـای علمی و میزان فعالیت‌های عملـی خارج از کلاس او اندازه‌گیری و ارزشـیابی شـود. ابزارهای اندازه‌گیری پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان در درس علوم تجربی باید علاوه بر آزمون، که برای اندازه‌گیری میزان دانسـتنی‌های علمـی دانش‌آموزان اسـتفاده می‌شود شامل چک‌لیسـت برای ثبت مشاهدهٔ رفتار و سپس ارزشیابی میزان رفتارهای علمی دانش‌آموزان در مقولات مهارت‌های علمی، نگرش‌های علمی و فعالیت‌های عملی خارج از کلاس نیز باشد.

سهم نمرهٔ هر کدام از این ۴ مقوله ۵ نمره (جمعاً ۲۰ نمره) اسـت. مراد از اصطلاح سهم نمره چیست؟ علی از آزمون بیست نمره‌ای دانستنی‌ها، ۱۶ گرفته است. برای تعیین نمرهٔ علی، باید نمرهٔ او را بر کل امتیاز آزمون تقسیم و سپس در امتیاز این بخش (یعنی ۵) ضرب کنیم. در این صورت نمرهٔ دانسـتنی‌های علمی علی، ۴ می‌شود.

برای اندازه‌گیری میزان دانسـتنی‌های علمی دانش‌آموزان از ابـزار آزمـون اسـتفاده می‌شـود. اصولاً آزمون‌های شـفاهی برای ارزشـیابی میزان موفقیت تحصیلـی دانش‌آموزان بهتر از آزمون‌های کتبی اسـت و پرسش‌های انشـایی، امکان بیشتری برای معلم فراهم می‌کند تا از عقاید و نظرهای دانش‌آموزان آگاه شـود. پرسش‌های دانستنی‌ها باید محدوده‌ای فراتر از حافظه را بپوشـاند، به‌عبارت دیگر پرسـش‌های درک مطلب و فکری نیز در آزمون دانسـتنی‌ها منظور شـود. زیرا پاسخ دادن به این‌گونه پرسش‌ها مسـتلزم تجزیه و تحلیل داده‌ها و ایجاد ارتباط میان چند عامل به‌منظور نتیجه‌گیری اسـت. بدیهی اسـت که پاسخ دادن به این‌گونه پرسش‌ها از عهدهٔ دانش‌آموزانی ساخته است که مطلب را بهتر درک کرده‌اند و عمیق‌تر فکر می‌کنند.

هنگامی که از دانش‌آموز می‌پرسـیم: ماشین چیست؟ این یک پرسـش حفظی و در سطح پایین حیطهٔ شناختی است. اما هنگامی که می‌پرسیم: آیا دکمهٔ پیراهن یا عینک آفتابی ماشین هسـتند؟ چرا؟ این یک پرسش در مرحلهٔ درک و فهم و سطوح بالاتر حیطهٔ شناختی است. مدار الکتریکی را تعریف کنید. یک پرسش در سطح دانش اسـت اما این پرسش: چگونه می‌توانید توضیح دهید که سیم‌کشی خیابان‌ها از نوع مدار الکتریکی متوالی است یا از نوع مدار الکتریکی موازی؟ این پرسش به سطوح بالاتر حیطهٔ شناختی مربوط می‌شود[۱۴].

اصـولاً در هر آزمون ارزشـیابی باید از هر دو نوع پرسـش استفاده کرد. تعداد هر نوع پرسش در آزمون بستگی به نوع، عمق و تنوع فعالیت‌های آموزشـی معلم و عمـق و تنوع فعالیت‌های یادگیری دانش‌آموزان دارد اما در هر حال آزمون‌های شـفاهی با پرسش‌های متنوع براساس جدول دو بعدی طرح پرسش ترجیح داده می‌شوند. در ارزشیابی مهارت‌های علمی و نگرش‌های علمی دانش‌آموزان از چک‌لیسـت اسـتفاده می‌شود. چک‌لیست، یک لیسـت و سـیاههٔ ثبت رفتار دانش‌آموزان است که معلم انتظار دارد براساس طرح درس روزانه و نوع فعالیت‌های دانش‌آموزان در حین کار عملی و گروهی که به آن‌ها می‌گوید از خود نشان دهند. معلم در کلاس درس در حین کار عملی و گروهی دانش‌آموزان بـه رفتارهای آن‌ها توجه می‌کند و مشـاهدهٔ رفتـار آن‌ها را در فهرستی که تهیه کرده است یادداشت می‌کند و نمره می‌دهد. به این فهرست، اصطلاحاً چک‌لیست می‌گویند. مثلاً اگر دانش‌آموز رفتـار علمی مورد نظر را کامل نشـان داد امتیاز ۱ را برای او در چک‌لیست ثبت و اگر رفتار را خوب نشان داد امتیاز ۰/۷۵، برای نمایش متوسط رفتار ۰/۵ و اگر رفتار مورد نظر را به خوبی نشان نـداد ۰/۲۵ و اگر رفتار مورد نظـر را بر عکس انجام داد برای او امتیاز ۰ را یادداشت می‌کنیم و اگر متوجه نشدیم که او در حین کار عملی چه رفتار علمی مهارتی یا نگرشی را از خود نشان داده برای او (تیره) گذاشته و آن انتظار را حذف می‌کنیم.

در ارزشـیابی علوم تجربی، همان‌طور که جدول ۱ نشـان می‌دهد سهم نمرهٔ آزمون‌های کتبی و شفاهی - با هر چند سؤال - فقط ۵ نمره و سـهم نمره چک‌لیسـت‌ها ۱۵ نمره است. پس لازم است برای انجام صحیح و کامل ارزشیابی پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان، برای ثبت رفتارهای مهارتی و رفتارهای نگرشی و فعالیت‌های عملی خارج از کلاس دانش‌آموزان چک‌لیست تهیه شـود، در این صورت به سه چک لیست (مهارت‌ها - نگرش‌ها - فعالیت‌ها) نیاز داریم، اما در همین یک شکل می‌توان هر سه نوع چک لیست را تهیه کرد.

در چک لیست، مهارت‌های علمی و نگرش‌های علمی را که انتظار داریم دانش‌آموز در حین کار عملی و گروهی از خود نشان بدهد در ستون‌های عمودی می‌نویسیم و در ستون‌های افقی نیز مشخصات دانش‌آموزانی را می‌نویسیم که می‌خواهیم رفتارهای آن‌ها را ثبت کنیم.

امتیاز حاصل از تقسیم امتیاز کسب شده بر تعداد انتظارات (هر انتظار یک امتیاز) به‌دست می‌آید و نمره از حاصل‌ضرب کسر امتیاز حاصل در سهم نمره (۵ نمره) تعیین می‌شود. مجموع نمره‌های دانش‌آموز در بخش دانستنی‌ها، مهارت‌ها، نگرش‌ها و فعالیت‌های عملی خارج از کلاس، نمره نوبت دانش‌آموز را تشکیل می‌دهد.

این چک‌لیست‌ها پس از ثبت نمرهٔ محاسبه شده در دفتر نمرهٔ کلاس در پوشه‌ای نگهداری می‌شود تا دربارهٔ توانمندی‌های دانش‌آموز برای ارتقای تحصیلی و یا... براساس آن‌ها تصمیم‌گیری شود.

در ارزشیابی مهارت‌ها و نگرش‌های علمی دانش‌آموزان لازم است به نکته‌های زیر توجه شود:

- استفاده از چک‌لیست و ثبت مشاهده رفتار دانش‌آموزان و ارزشیابی میزان مهارت‌های علمی و نگرش‌های علمی دانش‌آموزان در درس‌هایی صورت می‌گیرد که با فعالیت عملی و کارگروهی تدریس می‌شوند.

- برای هر جلسه درس فعالیت عملی و گروهی، معلم باید با توجه به عملکرد مورد انتظار در فعالیت‌های یادگیری مربوط به آن جلسه، یک فهرست ارزشیابی از مهارت‌ها و یک لیست ثبت مشاهدهٔ نگرش‌های علمی دانش‌آموز را تهیه کند. وی در این فهرست عملکرد مورد انتظار خود را به‌صورت چند جمله مشخص درج و امتیاز مربوط به هر عملکرد را برحسب اهمیت آن مشخص می‌کند.

- در هر جلسه درس، معلم فهرست مربوط به آن جلسه را برای تعداد محدودی از دانش‌آموزان پر می‌کند. در طول هر نوبت، برای هر دانش‌آموز حداقل سه بار فهرست ارزشیابی از مهارت‌ها امتیازگذاری می‌شود.

- چک‌لیست ثبت فعالیت‌های عملی خارج از کلاس دانش‌آموزان، در هنگام ارائهٔ فعالیت عملی به کلاس براساس رفتار دانش‌آموز در مقابل انتظارات علمی که در آن فعالیت عملی از او داشته‌ایم، تکمیل می‌شود.

چنانچه روند نمره‌های دانش‌آموز در زمینهٔ مهارت‌ها و نگرش‌ها حاکی از پیشرفت دانش‌آموز باشد آخرین نمره و در غیر این‌صورت میانگین نمره‌ها، نمرهٔ وی در بخش مهارت‌ها، نگرش‌ها و فعالیت‌های عملی خارج از کلاس است.

برای ارزشیابی مهارت‌های علمی ابتدا باید معنا و مفهوم مهارت و مراد از آموزش مهارت‌ها در فرایند آموزش علوم بحث و بررسی شود.

مهارت‌های علمی آن دسته از توانایی‌های علمی و عملی مربوط به حل مسئله و یادگرفتن راه‌های یادگیری هستند که می‌خواهیم دانش‌آموزان ما با انجام فعالیت‌های علمی - عملی و گروهی در موضوع‌های مختلف علوم تجربی آن‌ها را یاد بگیرند. مهارت‌هایی همچون مشاهده، برقراری ارتباط، کاربرد ابزار، اندازه‌گیری، جمع‌بندی، تفسیر، پیش‌بینی، اجرای دستورالعمل، طراحی تحقیق، انجام آزمایش، ... این دسته از مهارت‌ها با عنوان مهارت‌های فرایندی معرفی می‌شود (امانی طهرانی، ۱۳۷۸).

مهارت‌های علمی مورد نظر از آموزش را آموزگار با طراحی و اجرای فعالیت‌های آموزش‌های علمی - عملی مناسب همراه با عملی - کارگروهی دانش‌آموزان به آن‌ها آموزش داده است، ابزار تعیین میزان مهارت‌های علمی فراگیری شدهٔ دانش‌آموزان، چک‌لیست است. در جدول زیر برخی از مهارت‌های علمی مورد نظر در آموزش علوم تجربی و نوع رفتارهای نشان‌دهندهٔ هر رفتار نشان داده شده است.

جدول ۲: فهرست مهارت‌ها و رفتارهای نشان‌دهندهٔ هر مهارت

مهارت	نوع رفتار
مشاهده	- از حواس مختلف (متعدد) استفاده می‌کند. - به جزئیات اشیاء و اجسام توجه دارد. - تفاوت‌ها و شباهت‌ها را تشخیص می‌دهد. - به ترتیب وقوع اتفاق‌ها توجه دارد. - برای مشاهدهٔ جزییات از وسایل استفاده می‌کند. - ....
اندازه‌گیری	- در اندازه‌گیری‌ها، درصد خطا اندک است. - بیشتر از یک اندازه‌گیری انجام می‌دهد. - ....
کاربرد ابزار	- برای هر کار ابزار مناسب انتخاب می‌کند. - در کاربرد وسایل به نکات ایمنی توجه دارد. - ...
پیش‌بینی	- با استفاده از تجربیات گذشته و شواهد نظر می‌دهد. - بین پیش‌بینی و حدس و گمان تفاوت قائل می‌شود - ...
فرضیه‌سازی	- پیشنهاد او با شواهد موجود هماهنگ است. - پیشنهاد او با واقعیت‌های علمی ارتباط دارد. - در فرضیه‌سازی، دانش قبلی خود را به‌کار می‌گیرد. - می‌داند که برای هر مسئله، بیش از یک راه‌حل وجود دارد. - ...
طراحی تحقیق	- راه‌حل (آزمایش) ارائه می‌دهد. - متغیرهای کنترل شدنی را می‌شناسد. - مراحل کار را رعایت می‌کند. - ...
تفسیر یافته‌ها	- یافته‌ها را به‌طور منطقی به‌کار می‌برد تا به نتیجه‌گیری برسد. - میان یافته‌ها به جست‌وجوی الگو و ارتباط می‌پردازد. - از همهٔ یافته‌ها در نتیجه‌گیری استفاده می‌کند. - در نتیجه‌گیری دقت به خرج می‌دهد. - ...
برقراری ارتباط	- به‌طور روشن اظهار عقیده می‌کند. - از مشاهدات و آزمایش‌ها، یادداشت‌برمی‌دارد. - برای ارائهٔ اطلاعات،از نمودار و جدول استفاده می‌کند. - ...

در تمامی چک‌لیست‌های ارزشیابی مهارت‌های علمی در دروس مختلف علوم تجربی، نخستین و مهم‌ترین مهارت همیشه فهم صورت مسئله است!

یعنی به‌عنوان نخستین مهارت علمی در انجام هر فعالیت عملی از دانش‌آموزان انتظار داریم که صورت مسئله را بفهمند و بدانند که به دنبال چه هستند.

بقیهٔ انتظارات، همان مهارت‌های علمی هستند که امروز از آموزش درس مورد نظر قصد داشتیم به دانش‌آموزان ارائه کنیم.

به فعالیت علمی - عملی زیر که در کلاس علوم، برخی از دانش‌ها، مهارت‌ها و نگرش‌های علمی را آموزش می‌دهد، توجه کنید:

سناریوی آموزشی

هر گروه یک شمع، یک کبریت و یک بشقاب بردارد.

در گروه بحث کنید و بنویسید که شمع چه حالتی از ماده را دارد.

شمع را روشن کنید. کمی صبر کنید. چه مشاهده می‌کنید؟

در گروه بحث کنید و بنویسید که قطره‌های شمع چه حالتی از ماده را نشان می‌دهند.

در گروه بحث کنید و بنویسید که اندکی بعد از آنکه قطره‌های شمع در بشقاب قرار می‌گیرند چه حالتی از ماده را نشان می‌دهند.

در گروه بحث کنید و بنویسید که از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید.

چک‌لیست پیشنهادی برای ثبت رفتارهای مهارتی دانش‌آموزان در این فعالیت ارائه شده، به شرح زیر است.

حسن در این ارزشیابی ۳/۲۵، امتیاز گرفته است. با انجام محاسبهٔ تعیین نمره، براساس سهم نمره مهارت‌ها از بیست نمره معمول برای ثبت میزان پیش‌رفت تحصیلی دانش‌آموزان در دفتر نمره و یا کارنامهٔ تحصیلی، امتیاز حسن به نمره تبدیل و اکنون برای او نمرهٔ ۴/۵ در دفتر نمرهٔ کلاسی ثبت می‌شود.

در بحث ارزشیابی نگرش‌ها، بهتر است ابتدا به تعریفی از نگرش بپردازیم. پرورش نگرش‌های مثبت علمی - اجتماعی در دانش‌آموزان، بخشی مهم و اساسی از وظیفه معلمان در آموزش فرایندهای تفکر علمی است. این مورد به‌ویژه در آموزش علوم تجربی با توجه به ماهیت تفکر برانگیز آن باید مورد توجه بسیار قرار گیرد. کلاس درس علوم باید محل پرورش نگرش‌هایی مثل کنجکاوی، توجه به محیط زیست، مسئولیت‌پذیری، رعایت موارد ایمنی، ... و سرانجام توجه به شگفتی‌های جهان پیرامون و تفکر در مورد آن‌ها باشد، دانش‌آموزان نیز باید در این موارد ارزشیابی شوند. بنابراین، باید فهرست ساده و مختصری از نگرش‌ها تنظیم شود و دانش‌آموزان براساس موارد آن، ارزشیابی شوند. فهرست زیر نمونه‌هایی از رفتارهای نگرشی دانش‌آموزان را نشان می‌دهد.

این فهرست که، به تناسب نوع فعالیت متفاوت خواهد بود، فهرست ارزشیابی نگرش‌ها می‌خوانیم. طبیعی است که چون آموزش و کسب نگرش‌ها تدریجی است، وظیفهٔ معلمان در این مورد بسیار مهم و حساس است و باید بدانند چگونه این نگرش‌ها را از طریق تشویق، تذکر و فعالیت‌های مناسب پرورش دهند و آن‌ها را ارزشیابی کنند. در این مورد بهره جستن از همکاری والدین و سایر اولیای مدرسه بسیار مؤثر است، بهتر است خانواده‌ها نسبت به هدف پرورش نگرش‌ها در آموزش علوم فرزندان‌شان آگاه شوند تا با همکاری و همسویی با هدف‌های آموزشگاه، معلم را آموزش‌وپرورش - فرزندانشان یاری نمایند.

در چک‌لیست ارزشیابی نگرش‌ها، همیشه اولین و مهم‌ترین نگرش و انتظار، کنجکاوی است بقیهٔ انتظارات همان نگرش‌های علمی هستند که از آموزش درس مورد نظر با روش کارگروهی و فعالیت عملی انتظار داریم.

به‌عنوان مثال هنگامی که معلم فعالیتی تحت عنوان مشاهدهٔ برگ طراحی می‌کند. فهرست زیر می‌تواند حدود انتظارات معلم از دانش‌آموز دربارهٔ نگرش‌های علمی باشد.

۱. چقدر کنجکاو است؟

۲. آیا برگ‌های مختلفی را که از او خواسته شده به کلاس آورده است؟

۳. چقدر به کار گروهی علاقه‌مند است؟

۴. چقدر به رعایت نظافت و بهداشت توجه می‌کند؟

چک‌لیست ارزشیابی مهارت‌ها در درس فعالیت عملی تغییر حالات ماده کتاب علوم تجربی پایهٔ سوم تاریخ

نام / رفتار منتظره	چقدر صورت مسئله را فهمیده است؟	چقدر به جزییات اشیاء و موضوع توجه دارد؟	چقدر در کار با وسایل به نکات ایمنی توجه دارد؟	چقدر در نتیجه‌گیری دقت به خرج می‌دهد؟	امتیاز به‌دست آمده	نمرهٔ ارزشیابی مهارت‌ها از ۵ نمره
حسن	۰/۷۵	۱	۰/۵	۱	۳/۲۵	(۳/۲۵×۵) ÷ ۴=۴/۲۵
تقی	۱	۱	۱	۱	۴	(۴×۵) ÷ ۴=۵
علی	۱	۰/۵	۱	-	۲/۵	(۲/۵×۵) ÷ ۳=۴/۲۵
رضا	۰/۵	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۳	(۳×۵) ÷ ۴=۳/۷۵
جواد	-	۱	۰/۵	-	۱/۵	(۱/۵×۵) ÷ ۲=۳/۷۵

چک‌لیست ارزشیابی نگرش‌ها در درس فعالیت عملی تغییر حالت‌های ماده کتاب علوم تجربی پایهٔ سوم تاریخ

نام / رفتار منتظره	چقدر کنجکاو است؟	چقدر به شروع فعالیت علاقه‌مند است؟	چقدر پاکیزه و منظم کار می‌کند؟	چقدر، ایمنی را رعایت می‌کند؟	امتیاز	نمرهٔ ارزشیابی مهارت‌ها از ۵ نمره
حسن	۰/۷۵	۱	۰/۷۵	۱	۳/۵	(۳/۵×۵) ÷ ۴=۴/۲۵
تقی	۱	۱	–	۱	۴	(۴×۵) ÷ ۴=۵
علی	۱	۰/۵	۱	–	۲/۵	(۲/۵×۵) ÷ ۳=۴/۲۵
رضا	۰/۵	۱	۱	۰/۵	۳	(۳×۵) ÷ ۴=۳/۷۵
جواد	۱	۱	۰/۵	–	۲/۵	(۲/۵×۵) ÷ ۳=۴/۲۵

۵. چقدر در انجام کار گروهی، همکاری می‌کند؟

۶. ...

چک‌لیست زیر برای ثبت رفتارهای نگرشی دانش‌آموزان در این فعالیت تهیه شده است.

۳/۵، امتیاز کسب شده توسط حسن در این فعالیت عملی است. با انجام محاسبهٔ تعیین نمره، با توجه به سهم نمره نگرش‌ها از بیست نمره، امتیاز حسن به نمره تبدیل و اکنون برای او نمرهٔ ۴/۲۵ و برای تقی نمرهٔ ... در دفتر نمره و یا کارنامهٔ تحصیلی ثبت می‌شود. البته در عمل می‌توان چک‌لیست ارزشیابی نگرش‌های علمی دانش‌آموزان را ساده‌تر تهیه کرد. مهم این است که در طول هر نوبت، رفتار هر دانش‌آموز در زمینهٔ نگرش‌ها به دفعات مورد توجه قرار گرفته و لیست ارزش‌یابی از نگرش‌ها برای او در حین چندین فعالیت عملی - علمی تکمیل می‌شود.

فعالیت‌های عملی خارج از کلاس بخش مهمی از فعالیت‌های تکمیلی و فراآموزشی را به خود اختصاص می‌دهند. چک‌لیست ثبت فعالیت‌های عملی خارج از کلاس دانش‌آموزان، در هنگام ارائهٔ فعالیت عملی به کلاس براساس رفتار دانش‌آموز در مقابل انتظارات علمی که در آن فعالیت عملی از او داشته‌ایم، مشابه سایر چک‌لیست‌ها تهیه و تکمیل می‌شود. در این چک‌لیست‌ها، همیشه اولین انتظار، تحقیق کردن است.

در چک‌لیست فعالیت‌های عملی خارج از کلاس دانش‌آموزان انتظارات عبارت‌اند از مواردی همچون:

- چقدر تحقیق کرده است؟
- چقدر از منبع مناسب تحقیق کرده است؟
- چقدر اطلاعات را به شکل درخواستی (کتبی - شفاهی) به کلاس آورده است؟
- چقدر نمونه مناسب به کلاس آورده است؟
- چقدر برای ارائهٔ اطلاعات از نمایش (نمودار، جدول، ...) استفاده کرده است؟
- ...

این چک‌لیست‌ها نیز ۵ نمره ارزش دارند.

برای محاسبهٔ نمرهٔ ارزشیابی نوبت (نوبت اول -دی ماه و نوبت دوم - خرداد ماه) و اعلام نمرهٔ علوم تجربی دانش‌آموز و ثبت آن در کارنامه تحصیلی، نمرات دانش‌آموز در هر بخش را به ترتیب تاریخ زیر هم ردیف می‌کنیم، با توجه به دو حالت، دارا بودن نظم، اعم از نظم صعودی یا نظم نزولی، نمرهٔ پایانی به‌عنوان نمرهٔ نوبت و در صورت عدم وجود نظم در نمرات دانش‌آموز، میانگین نمرات محاسبه و به عنوان نمره نوبت اعلام می‌گردد.

۳. نتیجه‌گیری

با توجه به هدف‌های آموزش علوم در برنامهٔ جدید، ارزشیابی از دانش‌آموزان به شیوه‌ای که سال‌هاست در مدارس ما رایج است، نمی‌تواند روش مناسبی برای تعیین صلاحیت‌های علمی و شایستگی‌های عملی دانش‌آموزان برای ارتقای تحصیلی و موفقیت آموزشی باشد.

در ارزشیابی میزان موفقیت‌های دانش‌آموزان، ابتدا معلم باید توانمندی‌های حرفه‌ای و تخصصی خود را مورد ارزیابی قرار دهد و پس از کسب نمره مطلوب، به ارزیابی میزان موفقیت دانش‌آموزان خود در کسب توانمندی‌های آموزشی که او ارائه نموده است، بپردازد. در ارزشیابی دانستنی‌های علمی دانش‌آموزان پرسش‌های واگرا، تفکر برانگیز، سازنده و خلاق، انشائی و شفاهی ترجیح داده می‌شوند. آزمون‌های علوم تنها ۵ نمره ارزش دارند.

برای ارزشیابی میزان رفتارهای مهارتی و نگرشی دانش‌آموزان، زمانی که دانش‌آموزدر فعالیتی علمی به‌صورت عملی و گروهی است، معلم با استفاده از چک‌لیست ثبت رفتار، با مشاهدهٔ فعالیت‌های او، رفتارهای او را در چک‌لیست ثبت و وی را از بعد مهارتی یا نگرش خاصی ارزشیابی می‌کند. چک‌لیست‌ها ۱۵ نمره ارزش دارند! در هرحال، آموزش علوم به فرایند آموزش نظر دارد، یعنی اعتقاد دارد که اگر آموزش مفاهیم و دانستنی‌های علمی از مسیر پرورش مهارت‌ها و نگرش‌های ضروری بگذرد، تنها در این صورت است که دانش‌آموز برای حل مسائل اندیشیدن برای به کاربستن توانا شده‌اند و دانش‌آموز باسواد علمی - فناورانه به‌صورت یادگیرنده مادام‌العمر پرورش می‌یابد. یعنی شهروندی که مهارت‌های علمی زندگی برای زیستن همراه با سعادتمندی و رفاه را در هزارهٔ علم و فناوری‌های روزافزون قرن بیست‌ویکم داراست. لذا شیوه‌های ارزشیابی معلم علوم تجربی باید پشتیبان و توسعه‌دهندهٔ این نوع نگرش بر آموزش علوم باشد.

منابع

۱. قاسمی؛ علی‌حسین، **جهانی شدن، بایدها و نبایدها**، سمینار جهانی شدن و اطلاع‌رسانی، دانشگاه فردوسی، ۱۳۸۰.

۲. رجائی؛ فرهنگ، **پدیدهٔ جهانی شدن، وضعیت بشری و تمدن اطلاعاتی**، انتشارات آگاه. ۱۳۸۰. (عبدالحسین آذرنگ)

۳. یونسکو. **آموزش‌وپرورش برای قرن ۲۱**. تک‌نگاشت ۲۷، انتشارات پژوهشکده تعلیم‌وتربیت، ۱۳۸۲. (گروه مترجمان)

۴. یونسکو، **یادگیری، گنج درون**، انتشارات دفتر همکاری‌های علمی و بین‌المللی وزارت آموزش‌وپرورش، ۱۳۷۶.

۵. هارلن؛ وین، **نگرشی نو بر آموزش علوم تجربی**، انتشارات مدرسه. ۱۳۷۷. (شاهده سعیدی)

۶. صاحب‌زاده؛ بهروز، **آموزش علوم تجربی، دانش‌ها و مهارت‌ها**، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان، ۱۳۸۷.

۷. امانی‌طهرانی؛ محمود و همکاران، **آموزش علوم تجربی و...** . مجموعه مقالات: مجله رشد آموزش ابتدایی. انتشارات تکنولوژی آموزشی وزارت آموزش‌وپرورش، ۱۳۷۹.

۸. سیمیناهادی؛ تاباسوم، **آموزش علوم با هر آنچه در دست داریم**. مقاله. مجله رشد آموزش ابتدایی. دفتر انتشارات کمک آموزشی آموزش‌وپرورش. شماره ۶۱، ۱۳۸۳. (حسن سالاری)

۹. امانی‌طهرانی؛ محمود، **ابعاد وضعیت آموزش علوم در ایران**، شرکت صنایع آموزشی، ۱۳۷۶

آموزشی

ابزارهای جدید اندازه‌گیری شتاب گرانی زمین

رضا قلی‌پور
کارشناس ارشد فیزیک، شهرستان‌های استان تهران، شهرری

چکیده

امروزه با پیشرفت فناوری در زمینه‌های مختلف، اندازه‌گیری دقیق شتاب گرانی زمین لازم و ضروری است. در این مقاله شما با ابزارهای جدید و دقیق‌تر اندازه‌گیری شتاب گرانشی و بعضی کاربردهای آن آشنا خواهید شد.

کلیدواژه‌ها: گرانش، گرانی‌سنج‌ها، کاربردهای گرانی‌سنجی

مقدمه

اجرام تشـکیل دهندهٔ جهان ما همگی با نیرویی گرانشی یکدیگر را جذب می‌کنند. شـتاب گرانـی زمین (g) به فاصلـه از مرکز زمین، شـکل زمین، به چگالی لایه‌های تشکیل دهندهٔ آن و به طول و عرض جغرافیایی و دوران زمین، ارتفاع آن نقطه، زمان اندازه‌گیری، کشند، جرم بین ایسـتگاه‌ها، سطح مبنا و جرم‌های مکان‌نگاری بستگی دارد که در گرانی‌سنجی در نظر گرفته می‌شود. شتاب گرانی معمول در زمین به‌طور قابل ملاحظه‌ای از یک نقطه به نقطه دیگر فرق می‌کند. این تغییرات با دقت کافی قابل پیش‌بینی و اندازه‌گیری است.

تاریخچهٔ اندازه‌گیری شتاب گرانی زمین

اولین بار **گالیله** در حدود سال ۱۵۸۹ م. تأثیر شتاب گرانی زمین بر روی اجسام با وزن‌های مختلف را کشف کرد. پس از او نیز **کپلر** قوانین حرکت سیارات را اثبات کرد و به‌دنبال او **نیوتون** قوانین عمومی گرانی زمیـن را در ۱۶۸۵ م. گزارش داد. پیر بوگر طی سـال‌های ۴۵-۱۷۳۵ بسیاری از روابط اساسـی گرانی‌سنجی از جمله تغییرات شتاب جاذبه با ارتفاع و عرض جغرافیایی را به‌دسـت آورد. اولین دستگاه اندازه‌گیری میدان جاذبه (آونگ مرکب) در ۱۸۱۷م. توسـط کاپیتان **هنری کیتر** ابداع شـد. در ۱۹۰۱ م. اولین برداشـت گرانی‌سنجی توسط رونالدفون اوتـوس روی دریاچـهٔ یخی والاتون انجام شـد و به‌تدریـج این روش مطالعاتی گسـترش یافت. اولین اکتشاف ژئوفیزیکی نفت در ۱۹۲۲ م. با اندازه‌گیری‌های گرانی‌سنجی اجرا شد [۱]. اولین گرانی‌سنجی هوایی در ۱۹۶۰ م. انجام شد. از ۲۰۰۵ م. گرانی‌سنجی به روش تحلیل داده‌ها[1] صـورت می‌گیرد. با توجه به نیاز علوم مختلـف، روش‌های اندازه‌گیری شـتاب گرانی زمین امروزه کامل‌تر و دقیق‌تر شـده‌اند، اما همهٔ آن‌ها از اصول معینی پیروی می‌کنند.

انواع گرانی‌سنج[2]ها

در فعالیت‌های علمـی، تحقیقاتی و فناوری بـرای اندازه‌گیری g معمولاً از گرانی‌سنج‌های زیر استفاده می‌شود:

۱. گرانی‌سنج مطلق (Absolute Gravimeter)
۲. گرانی‌سنج نسبی (Relative Gravimeter)
۳. گرانی‌سنج وردن (Worden Gravimeter)
۴. گرانی‌سنج رومبرگ (Gravimeter Romberg)
۵. گرانی‌سنج ابررسانا (Superconducting Gravimeter)

۱. گرانی‌سنج مطلق

این نوع گرانی‌سنج می‌تواند مقدار حقیقی شتاب گرانی را با اندازه‌گیری سـرعت افتادن یک جرم، به‌وسیله پرتوهای لیزر اندازه‌گیری کند. اگر چه این گرانی‌سنج‌ها با دقت‌های یک صدم تا یک هزارم میلی‌گال[3] اندازه‌گیری می‌کنند اما، گران، سنگین و حجیم هستند. گرانی‌سنج مطلق (FG-۵) می‌توانـد با دقت 10^{-9} در یـک تا دو روز بدون تأثیر از اثرات محیطی g را اندازه‌گیری کند. شکل ۱ نمونه آن را نشان می‌دهد.

شکل ۱: گرانی‌سنج مطلق (FG-۵)

۲. گرانی‌سنج نسبی

این نوع گرانی‌سنج‌ها تغییرات شتاب گرانی بین دو محل را اندازه می‌گیرند. در این دسـتگاه‌ها یک جرم به کار می‌رود که به انتهای یک فنر متصل اسـت. این نوع از گرانی‌سنج‌ها می‌توانند

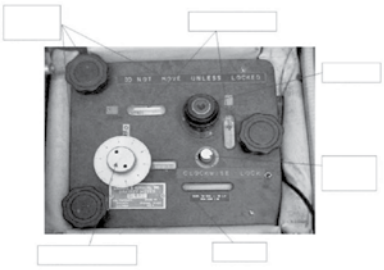
شـتاب گرانی را با دقت یک صـدم میلی‌گال[3] در ۵ دقیقـه اندازه‌گیری کنند. یک گرانی‌سنج نسبی می‌تواند در کنار نزدیک‌ترین ایستگاه مطلق گرانی‌سنجی، برای پایه‌گذاری ایستگاه‌های شبکه‌ای و اینترنتی گرانی به‌کار رود. گرانی‌سنج‌های نسبی در نقاط گرهٔ شبکه گرانی مطلق قرار می‌گیرند. آرایه‌ای از گرانی‌سنج مطلق می‌توانند پایگاه‌های مرجع برای GPS باشند و می‌توانند مطالعات علمی مانند تغییر شکل مناطق زلزله زده، بالاآمدگی سطح دریا و نظارت بر توده‌های هیدرولوژی را حمایت کنند.

۳. گرانی‌سنج وردن

این نوع گرانی‌سنج (شکل ۲) کاملاً مکانیکی و نوری است و می‌تواند تنها با یک باتری قلمی برای تاباندن نور به عدسی‌های ضخیم کار کند و در آن از فنر با طول ثابت شده و وزنهٔ متصل به یک فنر مدرج کردن و ورنیه مقیاس برای اندازه‌گیری شتاب گرانی استفاده شده است. [۲]

شـــکل ۲:
گرانی‌سنج وردن

۴. گرانی‌سنج رومبرگ



شکل ۳: گرانی‌سنج رومبرگ

گرانی‌ســنج رومبرگ رایج‌ترین نوع گرانی‌ســنج اســت که در اکتشــاف مورد اســتفاده قرار می‌گیرد و دارای دستگاه جرم- فنر اســت. تناسب بین کشــش فنر و شــتاب گرانی، مقدار g را نشان می‌دهد. این نوع از گرانی‌ســنج قادر اســت تغییرات شتاب گرانی را یک قســمت از هزار میلیون اندازه‌گیری کند که این دقت برابر ۰/۰۰۱ میلــی‌گال اســت. این گرانش‌ســنج‌ها به‌گونــه‌ای طراحی شــده‌اند که بتواننــد تغییرات ویژهٔ میدان گرانشــی را اندازه‌گیری کننــد.[۲]

۵. گرانی‌سنج ابررسانا

گرانی‌ســنج‌های ابررســانا حســاس‌ترین ابزارهایی هستند که تغییرات سطحی زمین را در بسامد پایین اندازه می‌گیرند. در حال حاضر در حدود ۲۵ عدد گرانی‌سنج ابررسانا در شبکه جهانی در حال کار و گسترش است و می‌توانند در زمینه ثابت گرانش عمومی و امواج گرانشــی به آزمایش بپردازند. در یک گرانی‌ســنج ابررسانا به‌جای وزنه فنر در گرانی‌سنج‌های

شـــکل ۴:
گرانی‌سنج ابررسانا

مکانیکی، یک کرهٔ ابررســانا در میدان مغناطیسی ناشی از یک سیم‌پیچ ابررســانا معلق و در حال تعادل اســت. قطر آن در حدود ۲/۵ سانتی‌متر و جرم آن بین ۴ تا ۸ گرم اســت، با تنظیم جریان‌های ســیم‌پیچ معلق ضریب سختی مغناطیسی در اطراف صفر تنظیم می‌شود. حرکت جزئی جرم بر اثر تغییر گرانش محیط به‌وســیلهٔ حسگرهای خازنی که جرم را احاطه کرده‌اند، نظارت می‌شود. در عمل جرم در همان وضعیت اولیهٔ خود از طریق یک دستگاه بازخوردی نگهداری می‌شود. جریان‌های سیم‌پیچ معلق با ضریب سختی بسیار کوچک مغناطیسی گرانی‌سنج ابررسانا، بسیار پایدارند و در اندازه‌گیری گرانی بسیار حساس‌اند. حساسیت گرانی‌سنج ابررسانا در یک مکان آرام، بسیار خوب و تقریباً برابر یک نانوگال یا 10^{-11} متر بر مجذور ثانیه در سال است و در بسامدهای متغیر، کار می‌کند. در حال حاضر این دستگاه جدیدترین گرانی‌سنج ابررساناست و با حساسیت نانوگال و با دقت بالا، می‌تواند تغییرات زمانی هر یک از مؤلفه‌های مؤثر در تغییر زمانی گرانی و بعضی از اثرهای جدید ویژه گرانشی[4] را تعیین کند. امروزه این ابزارها در اندازه‌گیری میدان جاذبه با دقت‌های بسیار بالا به‌کار برده می‌شوند. با استفاده از به‌روزترین گرانی‌سنج ابررسانا با دقت نانوگال می‌تــوان هر پدیدهٔ قابل تصوری را کــه روی گرانی تأثیر می‌گذارد مورد مطالعه و بررسی قرار داد[۳].

جدول ۱. دقت نسبی در اندازه‌گیری شتاب گرانی

وسیلهٔ اندازه‌گیری	دقت نسبی	سطح
آونگ سادهٔ ریاضی	$10^{-4} \div 10^{-3}$	mGal
آونگ فیزیکی مخصوص	10^{-5}	
آونگ‌های وارون		
گرانی‌سنج‌های کوارتز	$10^{-7} \div 10^{-6}$	
گرانی‌سنج‌های روزآمد (LCR)	$10^{-8} \div 10^{-7}$	
گرانی‌سنج‌های لیزری مطلق	10^{-8}	µGal
گرانی‌سنج‌های ابررسانا	10^{-11}	nGal

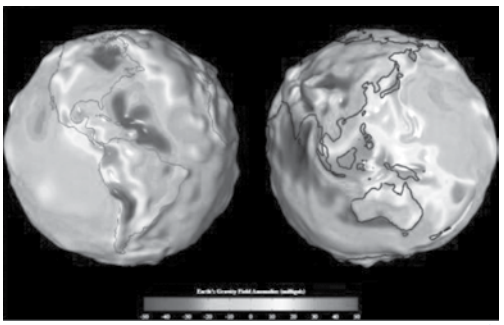
جدول ۱، پیشرفت در دقت نسبی گرانی‌سنج‌های مختلف را نشان می‌دهد[۴]. قرائت گرانی خطوط ایستگاه‌های شبکه چندمنظوره ایران توسط گرانی‌سنج‌های نســبی انجام می‌گیرد. در سازمان نقشه‌برداری کشور سه دستگاه گرانی‌سنج نسبی ۳M-CG و سه دستگاه گرانی‌سنج نسبی CG-۵ موجود است[۵]. در شکل ۵ می‌توان دید.

شکل ۵: گرانی‌سنج سازمان نقشه‌برداری

کاربردها

اندازه‌گیری میدان گرانی از فضا

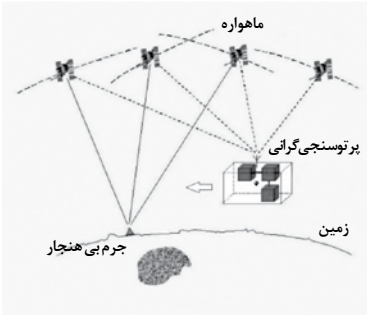
گرانی‌سنجی ماهواره‌ای (شکل ۶) می‌تواند تغییرات جرم آب‌های زیرزمینی، مانند دستگاه‌های دینامیکی آب درون بستر دریاچه‌ها، را بررسی کند. گرانی‌سنجی ماهواره‌ای می‌تواند در کامل‌تر و دقیق‌تر شدن الگوی زمین پیمایی به‌کار رود.



شکل ۶: مطالعه میدان گرانی زمین از فضا

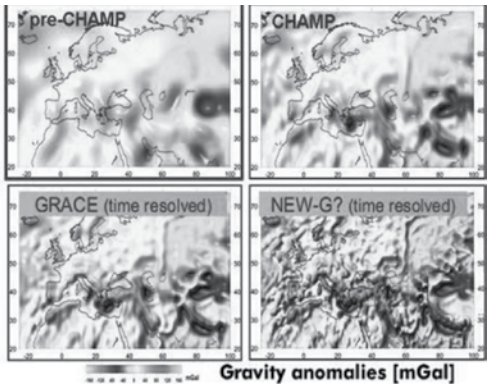
تحقیقات مربوط به میدان‌های پتانسیلی، به زمین‌شناسان به‌طور غیرمستقیم کمک می‌کند تا زیر سطح زمین را با استفاده از ویژگی‌های مختلف سنگ‌ها مطالعه کنند. تحقیقات گرانشی می‌تواند در پیدا کردن گسل‌های محلی، معادن و چاه‌های نفت و منابع آب‌های زیرزمینی به‌کار برده شوند. بررسی‌های میدان پتانسیل گرانشی، گران نیست و مزیت آن این است که می‌تواند خیلی سریع مناطق وسیع از سطح زمین را پوشش دهد.

گرانی‌سنجی می‌تواند به بهبود استانداردسازی ارتفاع، GPS ، و سطح متوسط آب آزاد کمک کند (شکل ۷). به روز کردن شبکه گرانی‌سنجی مطلق برای مدیریت تغییر گسل در منطقهٔ زلزله‌خیز، بالا آمدن آب، نظارت توده هیدرولوژیکی و کنترل داده‌های گرانشی ضروری است. با مأموریت انقلابی سه ماهوارهٔ گرانشی به‌نام‌های CHAMP، GRECE و GOCE در دهه گذشته مطالعه میدان گرانشی زمین با سرعت زیاد در حال پیشرفت است. با اندازه‌گیری تغییرات میدان جاذبهٔ زمین در نقاط مختلف و با توجه به وابستگی میدان گرانشی و چگالی توده‌های مختلف زیرسطحی، با ثبت میدان جاذبه می‌توان مواد معدنی با چگالی بیشتر یا کمتر از سنگ‌های درونی آن‌ها را کشف کرد این روش را می‌توان در سطح زمین یا در داخل تونل‌های زیرزمینی اجرا کرد. در اکتشافات، این روش به‌همراه روش مغناطیس‌سنجی به‌عنوان یک ابزار شناسایی توانمند به‌کار می‌رود که ارزان‌تر از لرزه‌نگاری است. در مطالعات مهندسی و در باستان‌شناسی به‌ویژه برای کشف حفره‌های



شکل ۷: اصول گرانی سنجی ماهواره‌ای و ارتباط ماهواره به ماهواره، پرتو سنجی گرانشی زمین

زیرزمین کاربرد ویژه دارد. گرانی‌سنج‌ها همهٔ پدیده‌هایی را که روی گرانی زمین تأثیر دارند اندازه می‌گیرند. خیلی از این پدیده‌ها بیشتر، از عوامل شناخته شده مانند چرخش زمین، مکان‌نگاری، تغییرات جزرومد هستند. گرانی بر اثر چشمه‌های معلوم می‌تواند به‌وسیلهٔ الگوهای واقعی محاسبه شود و تأثیر چشمه‌های نامعلوم از آن داده‌های گرانشی که به آن بی‌هنجاری گرانشی گفته می‌شود به‌دست آید. این می‌تواند به زمین‌شناسان کمک کند تا چشمه‌های نامشخص و مهمی را که در توزیع بی‌قاعدهٔ سنگ‌های زیرزمینی و با چگالی‌های مختلف تأثیر دارند تعیین کنند. یک نقشهٔ گرانی بااستفاده از اندازه‌گیری‌های عددی در سطح منطقهٔ مورد نظر ساخته می‌شود و تغییرات گرانی در نقشه به‌وسیلهٔ رنگ‌های مختلف که رنگ‌های گرم مانند قرمز و نارنجی، مناطقی با مقادیر گرانی زیاد را نشان می‌دهد و رنگ‌های سرد مانند آبی و سبز بیانگر مقادیر با گرانی کمتر هستند (شکل ۸). همچنین خط پربندهای نقشه نشان دهندهٔ مناطقی است که دارای مقدار گرانی یکسان هستند. تعیین نقشه گرادیان میدان گرانشی با استفاده از روش‌های ریاضی و داده‌کاوی می‌تواند در تفسیرهای دقیق زمین‌شناسی به‌کار برده شود.[۶]



شکل ۸: بی‌هنجاری‌های گرانی (mGal)

محاسبه دقیق شتاب گرانی در حرکت ماهواره‌ها و اجسام متفاوتی که دارای حرکت دورانی هستند، در صنایع خودروسازی و حرکت ماشین‌ها، محاسبه فشار مایعات و گازها و تأیید نظریه‌های فیزیک گرانش ضروری است. همچنین در تحقیقات کشاورزی، میکروبیولوژی، هوا و فضا، پرتاب ماهواره بسیار ضروری است. به‌روز کردن اندازه‌گیری g در صنایع راهبردی مانند تهیه نقشه‌های ظریف برای زیردریایی‌ها مورد نیاز است.

نتیجه‌گیری

ارائه روش‌های دقیق اندازه‌گیری g در آموزش فیزیک نیاز امروز فناوری است و باعث رشد علم فیزیک و ارتباط بهتر دانشگاه‌ها و مدارس با صنعت خواهد شد.

پیشنهاد

اندازه‌گیری دقیق و ایجاد نقطه و فراوانی اندازه‌گیری‌های دقیق محلی g و مدرج کردن آن، باعث می‌شود زمین‌پیمایی ایران دارای دقت اندازه‌گیری بالا باشد. بنابراین فعالیت‌های ظریف در فناوری نو از کارایی و ضریب اطمینان بالاتری برخوردار خواهد شد.

پی‌نوشت‌ها

۱. تحلیل داده‌ها: داده‌پردازی (Data Processing)
۲. گرانی‌سنج: (Gravimeter) ابزار اندازه‌گیری شتاب گرانی یا همان جاذبهٔ زمین
۳. گال: (Gal) یکای عملیاتی شتاب گرانی زمین و برابر یک سانتی‌متر بر مجذور ثانیه است. ($1Gal=1cm/s^2$)
۴. مانند تغییر زمانی ثابت گرانی، که در ۱۹۳۷ م. توسط دیراک برنده جایزه نوبل (۱۹۳۳م.) پیشنهاد شد که می‌تواند گرانی زمین را به مقدار ۰/۱ میکروگال بر سال کاهش دهد و دیگری انبساط زمین است که توسط زمین‌شناسان مجارستانی در ۱۹۷۰ پیشنهاد شده و می‌تواند جاذبه زمین را به اندازهٔ ۰/۲ میکروگال بر سال کاهش دهد.

منابع

[1] http://www.ngdir.ir
[2] Diadaptasi;D., Gravity Methods, Kursus ES 304 -Geophysical Prospecting, Earth Science Department, University of Melbourne, Australia (2004)
[3] Shiomi; S., Progress of Theoretical Physics Supplement No. 172, (2008)
[4] VÖlgyesi; L., Some possible physical reason of time variation of Earth's gravity field (a possible proof of time change of gravitational constant). Australia, August 26-22 (2005)
[5] http://www.ncc.org.ir
[6] Hill;P.,Science for a changing world. FS- 239-95, October, (1997)

نقد

آزمایشگاه مجازی، آری یا نه؟

خدیجه حسن‌بیگ‌زاده کلور
دبیر فیزیک منطقه ۵ تهران

اشاره

با ورود رایانه و نرم‌افزارهای رایانه‌ای به عرصهٔ زندگی انسان‌ها، تحول عمیقی در جنبه‌های مختلف آن صورت گرفته است. جنبه‌هایی مانند جنبه‌های اجتماعی، سیاسی، اقتصادی، فرهنگی و... که در این میان حیطهٔ آموزشی نیز از این تأثیر بی‌نصیب نمانده است. آموزش مجازی[1] که امروزه در اکثر نقاط دنیا مورد توجه مسئولان آموزشی قرار گرفته است، از جمله مهم‌ترین این تأثیرات به‌شمار می‌رود. آموزش مجازی خود به دو حیطهٔ مجزا و گاه پیوستهٔ نظری[2] (موضوع درس) و عملی[3] (موضوع آزمایشگاهی) تقسیم می‌شود. موضوع مورد بحث در این نوشتار کوتاه حیطهٔ دوم یعنی آزمایشگاه مجازی است که ضمن بیان معایب و محاسن استفاده از آن در آموزش علومی مثل فیزیک، خواهیم دید که نرم‌افزارهای آموزشی مربوط به آن‌ها، تنها در صورتی مفید خواهد بود که استفاده کنندگان از آن، یک نگاه واقع بینانه به آزمایشگاه و به آنچه که مورد آزمایش قرار می‌گیرد، داشته باشند.

کلیدواژه: آزمایشگاه مجازی، رایانه، نرم‌افزارهای رایانه‌ای

آزمایشگاه مجازی

در ابتدای ورود به بحث آزمایشگاه مجازی، بد نیست یک تعریف جامع علمی از اصطلاح «فضای مجازی» داشته باشیم تا درک بهتری از آن به‌دست آوریم. وایتل (جامعه شناس کانادایی) تعریفی سه جزئی از فضای مجازی را ارائه می‌کند:

۱. فضای روانی - خیالی که در آن افکار مجذوب توهمی رؤیاگونه می‌شود.

۲. دنیای مفهومی تعاملات شبکه‌ای شده بین افراد و آفریده‌های معنویشان و هر چیزی که با این شبکه‌ها و تعاملات همراه است.

۳. حالتی از اندیشه که توسط افراد مرتبط با هم، و به‌وسیلهٔ بازنمایی‌های دیجیتال زبان و تجربهٔ حسی به اشتراک گذاشته می‌شود. افرادی که از نظر مکان و زمان از یکدیگر جدا ولی از طریق شبکه‌هایی از ابزار فیزیکی به یکدیگر متصل هستند. به‌طور کلی این فضا حاصل ارتباطات و تعاملات بین افراد در فضایی است که از ویژگی‌های مکان و جسم سنتی برخوردار نیست بلکه از جنس کدهای اطلاعاتی است. (وایتل ۱۹۹۷، نقل از دوران ۱۳۸۲، ص ۲۱)

با این توضیح، مفهوم آزمایشگاه مجازی معمولاً در مقابل آزمایشگاه واقعی قرار می‌گیرد و چنین تعریف می‌شود: آزمایشگاهی که برخلاف آزمایشگاه‌های رایج، که در آن استفاده از دست و ابزارهای آزمایشگاهی دسترس‌پذیر معمول است، از نرم‌افزارهای رایانه‌ای و در قالب یک لوح فشرده در ارائهٔ یک مفهوم علمی استفاده می‌شود که به طریق آزمایشگاهی طراحی شده، و به صورت نمایش انیمیشن است. اگرچه به‌نظر می‌رسد هدف اولیه از طرح چنین آزمایشگاهی، کمک به فراگیری بهتر مفاهیم انتزاعی و غیرقابل دسترس توسط ادراکات حسی موجود در کتاب‌هاست اما به مرور زمان این نرم‌افزارها به‌خاطر دارا بودن محاسن و ویژگی‌های به‌ظاهر بی‌بدیلی که در ادامه به آن اشاره خواهیم کرد، به صورت مقوله‌ای اصلی در آزمایشگاه درآمده‌اند و در نتیجه فضای واقعی جای خود را به فضای مجازی داده است.

اینکه استفادهٔ تام و تمام از این ابزارها تا چه حد می‌تواند در پیشبرد فرایند یادگیری مؤثر باشد، چیزی نیست که مورد توافق همهٔ استفاده کنندگان و معلمان باشد، برخی معتقدند که در دنیای کنونی و با پیشرفت روزافزون اینترنت و فضای مجازی، استفاده از چنین ابزاری به‌خاطر جذابیتی که دارد برای دانش‌آموزان مناسب‌تر است. اما برخی دیگر معتقدند با توجه به نیاز به زیرساخت‌های نامناسب برای استفاده از چنین ابزاری، از جمله مکان مناسب، شرایط تحقق اهداف آموزش و... و با تمسک به برنامهٔ آموزش کلاسیک، کاربرد چنین آزمایشگاه‌هایی هدر دادن وقت و فرصت است و لذا ترجیح می‌دهند که در حد امکان از آزمایش‌هایی در قالب «کار با دست» استفاده کنند. گروه دیگری که اکثریت را به خود اختصاص می‌دهند، با بهانه کمی وقت و حل مسئلهٔ بیشتر در

کلاس، نه معتقد به آزمایشگاه مجازی‌اند و نه معتقد به آزمایشگاه واقعی. اما به‌رغم وجود این رویکردهای مختلف، چنین به نظر می‌رسد که آزمایشگاه مجازی دارای محاسن چشمگیری در امر آموزش است و مقوله‌ای نیست که به راحتی بتوان آن را نادیده گرفت. از جملهٔ محاسن آن، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

محاسن استفاده از آزمایشگاه مجازی[۴]:

۱. ارائه مطالب بیشتر (آزمایش‌های بیشتر) در مدت زمان کوتاه‌تر.

۲. دسترسی‌پذیری آسان و کنترل دقیق آزمایش: می‌توان در هر قسمت از آزمایشی که نیازباشد برای تکرار و اصلاح به عقب بازگشت و موقعیت‌ها را به دلخواه تغییر داد.

۳. آزمایشگاه مجازی، سبب تقویت قوای ذهنی و انتزاعی دانش‌آموزان می‌شود و آن‌ها را با مفاهیم انتزاعی آشنا می‌کند که عملاً در دنیای واقعی به چشم نمی‌خورد. به عنوان مثال: حیطهٔ مربوط به دنیای زیراتمی: واکنش‌های هسته‌ای، مدل اتمی، تابش جسم سیاه، همجوشی و... به نظر می‌رسد نرم‌افزارهای آزمایشگاهی مهم‌ترین نقش خود را در این حیطه انجام می‌دهند و تأثیری مثبت در شناسایی حیطهٔ فراتجربه یا متافیزیک[۵] داشته باشند.

۴. مشکلات موجود بر سرراه تأسیس یا استفاده از آزمایشگاه واقعی را می‌توان از مهم‌ترین و عمده‌ترین عوامل موجود در تمایل دبیران به آزمایشگاه مجازی دانست. مشکلاتی که از عمده‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: نبودن وسایل لازم آزمایشگاهی، خرابی وسایل، به تعداد نبودن وسایل، فضای نامناسب و ناکافی آزمایشگاه برای کلیهٔ دانش‌آموزان، مشکل نظارت بر دانش‌آموزان در آزمایشگاه در ارزشیابی‌ها و... (البته نباید مسئلهٔ مهارت نداشتن معلمان در استفاده از وسایل آزمایشگاهی را نیز از یاد برد).

۵. وجود حساسیت‌های اندازه‌گیری در به‌دست آوردن نتیجه مطلوب از یک آزمایش و عدم دقت لازم در دستگاه‌های اندازه‌گیری[۶] و یا خطای شخص آزمایش کننده.

۶. استفاده از شبکهٔ الکترونیکی برای اتصال همهٔ دانش‌آموزان به یک برنامهٔ اصلی، در اینجا مانور دبیر برای ارزشیابی پایانی و تکوینی تک‌تک دانش‌آموزان در قبال آزمایشگاه واقعی از درجهٔ بالاتری برخوردار است. پرسش‌هایی از متن درس و آزمایش بر صفحهٔ نمایش می‌آید که دانش‌آموز به آن جواب می‌دهد و بدون حضور معلم از درست یا نادرست بودن آن آگاه می‌شود.

مشکلات و موانع استفاده از آزمایشگاه مجازی

۱. اهمیت نظریه‌های علمی، به لحاظ تجربی بودن آن‌ها است. به‌ویژه؛ پیشرفت در علم فیزیک مدیون و مرهون فعالیت‌های تجربی آزمایشگاهی دانشمندان است تا اینکه بتوانند سازگاری بین نظریه و عالم واقع و به دنبال آن آگاهی دربارهٔ محیط پیرامون خود به‌دست آورند. دورشدن از فعالیت‌های عملی و تجربی، سبب دور شدن دانش‌آموزان از واقعیت‌های پیرامونی آن‌ها خواهد شد.

۲. در حیطهٔ آزمایشگاه مجازی، دانش‌آموزان از تعداد کمتری از ادراکات حسی خود برای فراگیری آزمایشی و درک مطلب استفاده می‌کنند. به دیگر سخن، ادراکات شنیداری، دیداری در مقابل لمس‌کردن در دنیای واقعی؛ بنابراین تأثیرگذاری به همان نسبت کاهش خواهد یافت.

۳. نبود یک زیر ساخت مناسب برای مهارت‌یابی و کار با دست دانش‌آموزان، که می‌تواند تأثیر منفی در آیندهٔ کاری آن‌ها، مثلاً در استفاده از ابزار مهندسی، داشته باشد.

۴. نبود ارزشیابی دقیق از جانب دبیر: هر چند که کنترل بالاتری در این‌گونه فضاها وجود دارد. به نظر می‌رسد اشکال بزرگی در این ارزشیابی وجود داشته باشد و آن اینکه، برای بسیاری از دانش‌آموزان مهارت کار با رایانه ضعیف‌تر از مهارت کار با وسایل آزمایشگاهی است.

۵. عدم یادگیری عمیق از مفاهیم تجربی: این آزمایش فکری را درنظر بگیرید. که پدر و مادری، از بدو تولد و دوران کودکی فرزند خود، او را از لمس آب داغ و فلزات داغ و... منع کرده باشند. حال اگر از این فرد بپرسیم که مفهوم گرما چیست؟ پاسخی مناسب برای این پرسش نخواهد داشت. چون هیچ تصور روشنی از آن در ذهن خود ندارد. به‌همین قیاس چون بسیاری از مفاهیم و روابط متقابل انسان و محیط در عالم واقع رخ می‌دهند، بهترین روش برای آموزش آن‌ها تجربه کردن از طریق آزمایش واقعی خواهد بود. با توجه به موارد بالا نتیجه می‌شود که:

۱. در آزمایشگاه واقعی، ضریب خلاقیت[۷] دانش‌آموزان نسبت به آزمایشگاه مجازی بالاتر است.

نبود یک زیر ساخت مناسب برای مهارت‌یابی و کار با دست دانش‌آموزان می‌تواند تأثیر منفی در آیندهٔ کاری آن‌ها، مثلاً در استفاده از ابزار مهندسی، داشته باشد

۲. خطا در آزمایشـگاه واقعی بیشتر است و این خود موجب ایجاد مسئله در ذهن دانش‌آموزان و زمینه‌ساز تلاش بیشتر آن‌ها برای کم شدن و یا از بین بردن خطا می‌شود.

۳. در آزمایشگاه واقعی برخلاف آزمایشگاه مجازی، دانش‌آموزان خود به فرضیه‌سازی می‌پردازند.

۴. در آزمایشـگاه واقعی، فعالیت گروهی به لحاظ اجتماعی ملموس‌تر از آزمایشگاه مجازی است.

۵. در آزمایشـگاه مجازی فرصت کافی برای حل مسـئله و مشورت باهم موجود ندارد، به‌عنوان مثال انجام بعضی از آزمایش‌ها در فضـای آزاد مانند حرکت پرتابه و زمان‌سـنجی توسـط خود دانش‌آمـوزان یا آزمایش‌های زمان‌بر که بـه صورت کار در منزل توصیه می‌شـود فقط در فضاهای واقعی قابل حصول است. مانند تغییرات افزایشی ناخالص مثل نمک در یک مدت معین در حجم معینی از آب و یا تغییرات دمایی در طول یک روز برای یک آزمایش معین و رسم تغییرات برروی کاغذ میلی‌متری.

۶. دسـتکاری متغیرهای مورد آزمایش در آزمایشگاه واقعی در ابعادی گسـترده‌تر صورت می‌گیرد و هر چند که خطر خطای بیشتری به‌دنبال دارد اما می‌تواند به دانش بیشتری بینجامد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر مبنای تفاوت‌های مطرح شـده و تأثیـر و نتایج آن‌ها این رهیافت پیشـنهاد می‌شـود که با مرکزیت آزمایشگاه واقعی یک آزمایشگاه مجازی به عنوان برنامه کمک آموزشی و نه بر عکس در نظر گرفته شود. در حیطهٔ مفاهیم تجربی و مشاهده‌پذیری همانند گرما و مکانیک، اندازه‌گیری‌ها، الکتریسیته و... وجود یک آزمایشگاه واقعی برای تفهیم مطالب امری لازم به نظر می‌رسد؛ اما در حیطهٔ مفاهیم انتزاعی و مشاهده‌ناپذیر همانند دنیای زیر اتمی و دنیای نجوم بهترین گزینه، اسـتفاده از آزمایشگاه مجازی و نرم‌افزارهای آزمایشـگاهی است. بنابراین، آزمایشـگاه مجازی می‌تواند مکمل آزمایشگاه واقعی باشد تا با استفاده بهینه از آن، قوای ذهنی، حسی و حرکتی دانش‌آموزان فعال گردد. امروزه، بسیاری از بزرگان عرصهٔ تعلیم‌وتربیت، در امر آموزش و یادگیری بر فعالیت‌های عملی تأکید می‌کنند. به عنوان مثال؛ مارک واریس (۲۰۰۶) در کتاب آموزش فناورانه چنین می‌گوید:

«یادگیری همراه با عمل بهترین روش است. این روش یادآور ارتباط بین استادان و شاگردان در قرون وسطی است. در آن دوره اسـتادان مهارت‌ها را بیشـتر با اجرای مهارت‌ها به شاگردان یاد می‌دادند تا آنکه شاگرد فقط با مشاهده آن‌ها را یاد بگیرد. به نوعی، استاد آن‌قدر به تصحیح عملکرد شاگردان می‌پرداخت تا وی بر یک مهارت تسلط یابد. کتاب‌های درسی برای یاددهی و یادگیری علم و دانش که به‌صورت نوشـتاری و یا ارائه شفاهی در کلاس است، کفایت نمی‌کنند» (De Varies, M, ۲۰۰۶, p۴۷).

پی‌نوشت‌ها

1. Virtual Education
2. Theoretical
3. Practical
4. Virtual lab
5. Metaphysical
6. System of measurement
7. Lateral thinking

منابع

1. De Varies, Marc J (2006), Teaching about technology, Springer Publisher.
۲- دوران، بهـزاد (۱۳۸۲)، هویت ملی و تعامل در فضای سایبرنتیک، نامهٔ پژوهش، سال هفتم، دورهٔ جدیدش۶.

تاریخ علم

انتشار صوت در «قراضه طبیعیات» (قسمت اول)

غلامحسین رحیمی
استاد گروه مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت‌مدرس
rahimi_gh@modares.ac.ir

چکیده

مبحث فهم صوت و تولید و انتشـار و آشکارسـازی آن از پدیده‌های مهم و کمابیش پیچیدهٔ طبیعی به‌شـمار می‌رود؛ به همین علت، کمتر دانشـمندی در تمدن‌های باسـتانی و میانه بـه آن پرداخته اسـت. در این میان، کتـاب قراضهٔ طبیعیات، منسـوب به ابوعلی‌سـینا، در فرازهایی، به سـبک پرسـش و پاسـخ، این مهـم را مورد بحث قرار داده اسـت. در این مقاله، با بررسـی سـابقهٔ صوت در آرا و نظریات دانشمندان پیشین و بازنویسـی متن نظریات ابن‌سینا درباره پدیدهٔ صوت، نکات علمـی منـدرج در آن، با زبان علمـی روز و مبتنی بر قواعد و مبانی فیزیک معاصر، این موضوع تشریح می‌شود.

ابوعلی‌سـینا بر پاره‌ای از اصول انتشار موجیِ صوت کاملاً آگاهی داشـته اسـت و با توجه به مثال‌هایی که ارائه می‌کند، مشخص می‌شود که از طبیعت موجی صوت و نحوه انتشار آن در اجسام جامد، مایع و گاز نیز آگاهی داشته است.

کلیدواژه‌ها: ابن‌سینا، قراضهٔ طبیعیات، انتشار صوت، موج

طرح مسئله

ما در این مقاله، بحث اصلی خود را به موضوع علمی و مهم پدیدهٔ انتشـار صوت، بدان‌گونه که در قراضهٔ طبیعیات منسوب به ابن‌سـینا آمده است، معطوف کرده‌ایم. موضوع ماهیت صوت و نحوهٔ انتشـار آن و نیز سـازوکار شـنیدن و درک صدا، مطلب پیچیده‌ای اسـت. به همین دلیل برخلاف پاره‌ای از مسائل دیگر طبیعیات، مانند جسـم و حرکت، چندان مورد توجه واقع نشده اسـت و در این زمینه منابع کم و اطلاعات اندکی از دانشمندان تمدن‌های باستانی، عصر قرون وسطی و تمدن اسلامی بر جای مانده است.

کتـاب قراضهٔ طبیعیات، در فصل چهارم، به وضوح به بحث دربارهٔ این پدیده مهم پرداخته است. خوشبختانه برخلاف پاره‌ای از نظریـات دیگر مندرج در این کتاب که بر پایهٔ علمی کمابیش

نادرست توصیف شده‌اند، نظریه‌های ابرازشده در خصوص پدیدهٔ صوت مطابق با موازین علمی امروز، قابل توصیف و تشریح است. انگیزهٔ اصلی ما از پرداختن به این مطلب نیز همین نکته است.

در مقالـه حاضر، نویسـنده ابتدا به معرفی فشـرده کتاب قراضهٔ طبیعیات می‌پردازد. سـپس سابقهٔ بررسی صوت را در آرا و نظریات دانشمندان پیشین مرور می‌کند. در بخش سوم، متن نظریات ابن‌سینا در خصوص پدیدهٔ صوت را، که به‌صورت پرسش و پاسخ است، با استفاده از کتاب‌های قراضه طبیعیات و دانش‌نامهٔ علایی، با ادبیات جدید بازگو می‌کند. آن‌گاه، نکات علمی مندرج در نظریه ابن‌سینا با زبان علمی روز را تشریح می‌نماید و در انتها، از نکات مطرح شده نتیجه‌گیری کلی به عمل می‌آورد.

معرفی کتاب قراضه طبیعیات

قراضهٔ طبیعیات کتابی اسـت به زبان فارسی و منسوب به ابوعلی حسین بن‌عبدالله بن سـینا (۴۲۸-۳۷۰ هـ ق/ ۱۰۳۷-۹۸۰م) دانشمند مشهور ایرانی سده‌های چهارم و پنجم هجری.

مرحوم دکتر غلامحسـین صدیقی، مصحـح کتاب قراضهٔ طبیعیات، مقدمه مسـتوفایی بر آن نوشته‌اند که عمدتاً ناظر بر نـکات ادبی کتاب‌های علمی و فنی به زبان فارسـی اسـت، لذا اگرچه برای علاقه‌مندان به موضوع بسـیار مفید اسـت اما ربط آن به محتوای کتاب قراضهٔ طبیعیات اندک است. از ۹۲ صفحه مقدمهٔ مصحح، عملاً کمتر از پنج صفحه به معرفی محتوای کتاب مربوط می‌شود که آن هم عمدتاً برگرفته از متن اصلی است.

شـیوهٔ طرح مطالـب در کتاب جالب اسـت. مؤلف از روش پرسش و پاسخ استفاده می‌کند. مصحح محترم در این خصوص می‌نویسـد: «... شیوهٔ سؤال و جواب در تألیف مؤلفان و مصنفان ایران معمول بوده چنانکه طفرنامه منسوب به بزرگمهر و رسالهٔ شش فصل ابوجعفر محمد بن ایوب طبری در اسطرلاب و کتاب التفهیم‌الاوائـل صناعئ التنجیم ابوریحان بیرونـی و... بر طریق سؤال و جواب ساخته شده است» (ابن‌سینا، ۱۳۸۳، ص۶۲- ۶۱).

کتاب قراضهٔ طبیعیات یک رسـالهٔ علمی به زبان فارسـی به‌شـمار می‌رود که قدمت آن به بیش از ده سده پیش می‌رسد. چنانچه محتوای کتاب با مبانی علمی امروز مقایسه شود، شاید نتـوان برای آن ارزش زیادی قائل شـد. اما اگر در فضای علمی سده‌های چهارم و پنجم هجری مورد ارزیابی قرار گیرد، بسیاری از مباحث آن ارزشمند است.

مؤلف کتاب قراضه طبیعیات، متن را در چهار فصل تدوین کرده است، به قرار زیر:

فصل اول؛ اندر مسائل حیوانی (مشتمل بر ۱۶ باب یا پرسش و پاسخ)

فصل دوم؛ اندر مسـائل نباتی (مشتمل بر ۸ باب یا پرسش و پاسخ)

فصل سوم؛ اندر مسـائل معدنی (مشتمل بر ۱۰ باب یا ۱۰ سؤال و جواب)

فصل چهارم؛ اندر مسـائل نوادر (شـامل ۱۶ باب یا سؤال و جواب) (همان، ص ۵).

نگارندهٔ این مقاله، ترجیـح می‌دهد که، به بیان امروزین، از عنوان «مباحث منتخـب در علوم طبیعی» برای نامیدن جدید کتاب اسـتفاده کند. لازم به ذکر است که قراضه به معنای ریزه و خرده و تکه اسـت و این نام‌گذاری بدان معناست که مؤلف در پی ارائهٔ یک بحث کامل (به عنوان مثال درباره مسـائل حیوانی) نیست؛ بلکه توجه خود را در پاسخ به سؤالاتی متمرکز کرده که احتمالاً بیشـتر محل رجوع و پرسش بوده است. از این رو در هر فصل، مباحث منتخب را به سبک پرسش و پاسخ مطرح می‌سازد. مطالب کتاب در محـدوده طبیعیات قرار می‌گیرد که مجموعه علوم تجربی را شـامل می‌شده اسـت. البته، طبیعیات لزوماً به معنـای دانش تجربی به‌معنـای امروزی نبوده اسـت. به‌عنوان مثال، در طبیعیات شـفای ابن‌سـینا، موضوع مورد بحث، جسم طبیعی و عوارض متعلق به آن اسـت، اما شیوهٔ طرح بسیاری از مسائل مبتنی بر استدلال عقلی و سبک فلسفی، و نه مشاهده و تجربه، است. در مقابل، کتاب‌هایی مانند آثار علوی (هواشناسی) اِسفَزاری، سهلان ساوی و محمد مسعودی و میزان‌الحکمهٔ خازنی و نظایر آن در محدودهٔ طبیعیات قرار می‌گیرد و سـبک نگارش آن‌ها به کتب علمی جدید نزدیک‌تر اسـت. قراضهٔ طبیعیات نیز از سنخ اخیر است.

بـر طبق تقسـیم‌بندی دانش‌های امـروزی مباحث قراضهٔ طبیعیات به شیوهٔ زیر تفکیک شده است:

فصل اول، مسائلی پیرامون زیست‌شناسی یا بیولوژی؛

فصل دوم، مباحثی درخصوص گیاه‌شناسی؛

فصل سوم، مباحثی در حوزهٔ دانش شیمی؛

فصل چهارم، مطالبی در حوزهٔ فیزیک؛

از این میان، موضوع مورد بحث مقالهٔ حاضر بررسـی سؤال و جواب در خصوص پدیدهٔ تولید، انتشـار و آشکارسازی صوت، یعنی موضوعی متعلق به مبحث فیزیک است. دلیل اصلی ما از پرداختن به این موضوع، شیوه‌ای است که مؤلف کتاب در توضیح پدیـدهٔ صوت اتخاذ کرده کـه کاملاً با مبانی جدیدِ علمی صوت سازگار است. با بررسی‌های انجام شده، چنین تحلیل و برداشتی برای نخستین‌بار صورت گرفته است.

پیشینه تحقیق

در خصوص سـابقـهٔ صوت، برخـلاف مباحث دیگر فیزیک به‌ویژه حرکت، اطلاعات زیادی در کتب و رسـاله‌های قدیم پیدا نمی‌شود. تنها می‌توان گفت که چون صوت همراه با موسیقی و از مباحث مهم فیزیک به‌شمار می‌رفته است. مطالب اولیه درباره

مرحوم دکتر غلامحسین صدیقی، مصحح کتاب قراضهٔ طبیعیات، مقدمه مستوفایی بر آن نوشته‌اند که عمدتاً ناظر بر نکات ادبی کتاب‌های علمی و فنی به زبان فارسی است

نمی‌توان گفت که در گذشته همان بحث و جدل علمی که در خصوص ماهیت نور وجود داشت، پیرامون صوت نیز وجود داشته است؛ به این معنا که صوت، همچون نور، یک پدیدهٔ ذره‌ای یا مفهومی موجی است

صوت عمدتاً به موسیقی مربوط می‌شود.

مطالعات اولیه در خصوص طبیعت صدا را به فیثاغورس[1] (۵۰۰- ۵۸۰ ق.م.) منسوب می‌کنند (Dampier, ۱۹۶۱,P.۱۷). زیرا وی بود که موفق شد یک تک‌ساز[2] اختراع کند که متشکل از یک چارچوب صوتی با پل متحرک و یک ساز یا زه کشیده شده روی آن بود. با استفاده از این وسیله فیثاغورس دریافت که دو ساز کشیده شده، با نسبت طولی ۱ به ۲، نتی را تولید می‌کنند که با یک اُکتاو جدا شده‌اند. ساز بلندتر نت کوتاه‌تری را تولید می‌کند (Linsay, ۱۹۴۵, P. xi-xxv). با این حال، اهمیت ایدهٔ فیثاغورس در خصوص ارتباط صوت با اعداد تا سده‌ها پس از آن مشخص نشد.

نمی‌توان گفت که در گذشته همان بحث و جدل علمی که در خصوص ماهیت نور وجود داشت، پیرامون صوت نیز وجود داشته است؛ به این معنا که صوت، همچون نور، یک پدیدهٔ ذره‌ای یا مفهومی موجی است. چرا که در خصوص طبیعت ذره‌ای صوت چندان مطالب جدی‌ای وجود ندارد. اما، احتمالاً انسان زمانی که امواج آب را مشاهده می‌کرده، به طبیعت موجی صوت می‌اندیشیده است. البته این تشابه، دقت علمی ویژه‌ای می‌طلبید. نوشته‌های ارسطو (۳۲۲- ۳۸۴ ق. م.) مبین آن است که وی به طبیعت مکانیکی امواج صوتی که در محیطی مانند هوا منتشر می‌شود، پی برده بوده است. در مقاله‌ای منسوب به وی به نام «پیرامون شنیدن اشیا» (Loveday and Forster, ۱۹۸۴, P. ۱۲۲۶-۳۶) از حرکات انبساطی، انقباضی و فشرده شدن هوا سخن گفته شده و به نوعی بر موج طولی اشارهٔ مجملی دارد.

در دورهٔ تمدن اسلامی نیز مطالبی در خصوص پدیدهٔ صوت نگاشته شده است. به‌عنوان مثال در رسائل اخوان‌الصفا اشاراتی به این موضوع شده است. ابن‌سینا در طبیعیات دانشنامه نیز مطلبی در خصوص صوت دارد که در ادامه به آن اشاره خواهیم کرد. حکیم ابونصر فارابی نیز در رسالهٔ موسیقی خود به ماهیت صوت اشاره می‌کند و قطب‌الدین شیرازی هم، با ذکر قول فارابی و ایرادهایی که اُرموی بر آن وارد کرده است ضمن رد ایرادها، نظر خود را دربارهٔ ایجاد و انتشار صوت بیان می‌کند (قطب‌الدین شیرازی، ۱۳۸۷، ج ۱، ص ۳۵-۴۳).

ابن‌سینا در بخش اول رسالهٔ مخارج الحروف یا اسباب حدوث الحروف، در چگونگی پدید آمدن آواز (صوت) سخن می‌گوید و پدید آمدن موج صوتی را ناشی از کوب و کند می‌داند[3]. با توجه به تفصیل و دقت مطالب قراضهٔ طبیعات در این خصوص، دیگر متعرض مباحث ابن‌سینا در رسالهٔ مخارج الحروف نمی‌شویم (ابن‌سینا، ۱۳۴۸، ص ۶۳).

متأسفانه نویسندگان تاریخ علم، سابقهٔ بررسی علمی و فنی پدیدهٔ صوت را به ارسطو محدود می‌کنند و آن را تا سدهٔ شانزدهم میلادی متوقف می‌دانند و در واقع وجود رکود کامل و عدم فعالیت علمی در این خصوص را طی حدود ۲۰۰۰ سال تأکید می‌کنند (Caleon & Subramaniam, ۲۰۰۷, P. ۱۷۳-۱۷۹). حال آنکه در این مدت، دانشمندان مسلمان، هر چند محدود، به پدیدهٔ تولید و انتشار صوت توجه داشته و توصیف علمی مناسبی از این پدیده نموده‌اند. لازم به ذکر است که مقالهٔ فوق حاوی برداشت و حتی غلط‌های فاحش در خصوص تاریخ علم است. احتمالاً در غرب، گالیله (۱۶۴۲- ۱۵۶۴م.) نخستین دانشمندی باشد که درخصوص صوت مطلبی را در کتاب مشهورش با عنوان «گفتار در باب دو دانش جدید» نوشت (Galileo, ۲۰۰۱, P.۹۹-۱۰۲). برداشت نگارندهٔ این مقاله بر آن است که نظریهٔ ابن‌سینا در خصوص صوت هنوز دقیق‌تر از گالیله است، چرا که گالیله کماکان خود را بر همان مقایسهٔ امواج صوتی با امواج آب، محدود کرده و به تعمیم ابن‌سینا دست نیافته است.

شاید بتوان نیوتون (۱۷۲۷- ۱۶۴۲م.) را نخستین دانشمندی دانست که به طریق علمی طبیعت موجی صوت را توضیح داده است. کار وی را دانشمندانی مانند رابرت بویل (۱۶۹۱- ۱۶۲۷م.)، رابرت هوک (۱۷۰۳- ۱۶۳۵ م.)، جوزف ساویر (۱۷۱۶- ۱۶۵۳ م.)، هلمهلوتز (۱۸۹۴- ۱۸۲۱ م.) و به‌ویژه ریلی[4] (۱۹۱۹- ۱۸۴۲م) که در کتاب خود به نام «نظریه صوت» به مطالعهٔ انتشار امواج صوتی در جامدات و به‌خصوص در فصول اول، ششم، هفتم و هشتم آن به ارتباط دقیق صوت و ارتعاش در اجسام توجه کرد و به صورت‌بندی ریاضی آن دو همت گماشت (rayleigh, ۱۸۹۴) - ادامه دادند و آنچه را که امروزه دانش‌آموزان و دانشجویان در کتب فیزیک امواج صوتی و یا مطالب تخصصی‌تر مانند مکانیک برخورد می‌خوانند، پایه‌ریزی کردند. مقالهٔ زیر بحث جالبی را در خصوص صوت، عمدتاً از منظر فلسفی، مطرح می‌کند، که چندان به موضوع مقالهٔ حاضر مربوط نمی‌شود، اما مطالعهٔ آن به علاقه‌مندان توصیه می‌شود (Pasnan, ۱۹۹۹,P.۳۰۹-۳۲۴).

پیش از اینکه بحث اصلی مقاله مطرح شود، مناسب است که تعریف موج[5] را از فرهنگ (واژه‌نامه) وبستر مرور کنیم: «موج نوعی اغتشاش یا تغییر است که به نحوی گسترش یابنده انرژی را از یک نقطه به نقطهٔ دیگر در محیط منتقل می‌کند و می‌تواند به‌صورت یک تغییر شکل کشسان یا تغییر فشار، یا شدت الکتریکی یا مغناطیسی، پتانسیل الکتریکی یا دما باشد». البته با توجه به انواع صوت، به تعاریف مفصل‌تری از موج اشاره خواهد شد.

نظریهٔ ابن‌سینا دربارهٔ صوت

ابن‌سینا در کتاب قراضه طبیعیات در قالب پرسش و پاسخ،

سه سؤال در خصوص ماهیت موج و ایجاد و انتشار آن مطرح می‌کند. آنچه در زیر می‌آید، بازنویسی متن ابن‌سینا با ادبیات جدید است که بدون هیچ‌گونه حذف و اضافه توسط نگارنده انجام شده است[۶]. ابن‌سینا این مباحث را در باب سوم، پنجم و دهم از کتاب قراضه طبیعیات آورده است (ابن‌سینا، ۱۳۸۴، ص ۸۶-۱۰۴).

باب سوم (پرسش). چون بر بعضی از ظرف‌های رویین بکوبی، چرا صدای آن به گوش می‌رسد و چون دست به طرف آن بگیری منقطع می‌شود، اما قلع و سرب به خلاف آن است؟

پاسخ. مطلب در خصوص صوت و انواع و علت‌های آن بسیار و موضوع دشوار و پیچیده است.

اگر در پی گفتن جامع مطلب باشیم، مبحث بسیار طولانی و از حد این کتاب خارج می‌شود. بنابراین، باید فشرده گفت. اما اینکه صوت چیست؟ گفته‌اند که برخورد یا کوفتن هوا است. به نظر من علت صوت برخورد جسمی با جسم دیگر است تا آنکه ذرات (کالبد، ذات) جسم دوم متحرک شود و مادامی که این ذرات متحرک باشند، صوت از آن پدید می‌آید و صدا ایجاد می‌شود و چون ساکن گردد، صوت نیز قطع می‌شود. مثال آن، همانند توده‌ای از هوای فشرده است که از محفظه تنگی به‌طور ناگهانی بیرون جهد و با توده هوای دیگری برخورد کند. در این پدیده برخورد لایه‌های هوا به شکل کروی صورت می‌گیرد و هر لحظه بزرگ‌تر می‌شود. به عبارت دیگر، در اطراف منبعِ تولید صوت، حرکتی موجی شکل و گسترش یابنده ایجاد می‌شود و مادامی که این حرکت باشد، از آن صوت پدید می‌آید و چون حرکت به پایان رسد، صوت نیز قطع می‌شود. موجدار شدن هوا را می‌توان با این مثال توضیح داد که چون سنگی در آب انداخته شود، در اطراف محل برخورد، دوایری به وجود می‌آید و موج ایجاد می‌شود تا زمانی که تمام شود.

اکنون اگر بر ظرفی رویین و یا کاسهٔ مسی کوبیده شود، ظرف مرتعش[۸] می‌شود. مثال حرکت ارتعاشی آن است که چون نیزه را بجنبانی حرکت‌هایی در آن ایجاد می‌شود که یکی در پی دیگری است. اگر ماده یکنواخت باشد، یعنی به لحاظ رقیق یا غلیظ بودن در اعتدال باشد، از آن صوتی طولانی‌تر ایجاد شود (مدت ارتعاش آن بیشتر به طول می‌انجامد). چرا که کالبد (ذات) آن متحرک (مرتعش) می‌شود و به همه جا منتشر می‌گردد. چون دست به نیزه گرفته شود حرکت به محیط منتقل نمی‌شود و حرکت از آن منقطع می‌گردد. مثال آن مانند جریان آب جوی است که مسیر آن را بسته باشند. اگر قطعه بسیار بزرگ و سنگین از روی یا آهن باشد، از آن صوت مذکور (در بالا) پدید نیاید، چرا که یک ضربت زدن به آن موجب ایجاد یک حرکت می‌شود. یعنی حرکت ارتعاشی در آن به وجود نمی‌آید تا از آن صوت ممتد حادث شود. اما اجزای قلع نرم و متخلخل است؛ به این علت از آن، این صدا برنمی‌خیزد و همچنان است سرب که بر آن نوعی تری (بسیار سنگین) غالب است تا از آن صدایی نیاید. مثال دیگر، اگر بر تار یا زه تر زخمه‌ای زده شود، صدایی ایجاد نمی‌شود اما اگر خشک باشد، صوتی پدید می‌آید. همین مطلب برای طبل تر و خشک نیز صادق است؛ یعنی اگر تر یا بسیار خشک باشد، صدای آن به طول نمی‌انجامد، بلکه باید از نظر تری معتدل باشد، همچنان که زه یا تار ساز است. بنابراین، معلوم شد که علت صدای ظروف رویین و نیز دیگر ظرف‌ها از چیست.

باب پنجم. چرا فردی که بر بالای بلندی باشد، صدای کسی را که در گودی است بهتر از حالتی می‌شنود که وی در گودی باشد و فرد مورد نظر بر بالای بلندی قرار گرفته باشد؟

جواب. علت این است که صوت برخورد لایه‌های هواست، حال چنانچه حرکت موج هوا (از بالا) به سمت زمین باشد، چون این حرکت جبری است (ناشی از نیروی قاسر)، از این رو هم جهت با حرکت طبیعی هوا نیست. چنانچه حرکت موج هوا به‌سوی بالا باشد، این حرکت با حرکت طبیعی هوا، که به‌سمت بالاست، هم‌جهت خواهد بود. چرا که مکان طبیعی هوا به سمت بالا است. بنابراین، موج هوا و حرکت آن از بالا به پایین (زیرسو) کمتر (کندتر) است و از پایین به بالا (برسو) بیشتر (تندتر) خواهد بود. به این علت است که فردی که بر بلندی باشد، صدا را بهتر از کسی که در پایین قرار گرفته است، می‌شنود.

باب دهم. چرا صداها در صحرا شنیده نمی‌شوند و در کوه شنیده می‌شوند؟

جواب - چون صوت حالتی است که از برخورد لایه‌های هوا ایجاد می‌شود، برخوردی که موجب متحرک شدن هوا شده و این حرکت موجی است. چون در صحرا آوازی داده شود، لایه‌های هوا با یکدیگر برخورد پیدا می‌کنند و هوا متحرک می‌شود. این حرکت موجی آن قدر ادامه می‌یابد و از منبع تولید صدا دور می‌شود و به ضعف می‌گراید تا کلاً ساکن شود. چون صوت تابع (مترادف) حرکت هواست، با سکون هوا، صوت نیز قطع می‌شود. بدین علت است که از فاصله دور صدا در صحرا شنیده نمی‌شود.

اما چون در کوه آوازی داده شود، لایه‌های هوا برخورد پیدا می‌کنند و هوا بین دو کوه به حرکت درمی‌آید و چون به کوه مقابل برخورد می‌کند، کوه مانند یک حایل و مانع موجب انعکاس (مندفع) صوت می‌شود و موج در همان جهتی که با کوه برخورد

اگر بر تار یا زه تر زخمه‌ای زده شود، صدایی ایجاد نمی‌شود اما اگر خشک باشد، صوتی پدید می‌آید. همین مطلب برای طبل تر و خشک نیز صادق است؛ یعنی اگر تر یا بسیار خشک باشد، صدای آن به طول نمی‌انجامد

کرده در همـان جهت باز می‌گردد و چون صوت مترادف حرکت هواست، از این رو، صوت نیز باز می‌گردد و انسان فکر می‌کند که گویا فرد دیگری است که آواز می‌دهد. مثال این انعکاس و بازتاب، موج ایجاد شده در آب به علت انداختن سنگی در آن است که امواج آب بر اثر برخورد سـنگ با آب حرکت می‌کند تا به کنارهٔ حوض برسـد و پس از برخورد با لبهٔ حوض، بازمی‌گردد و موج در همان جهت تابیده باز تابیده می‌شـود و این انعکاسِ موج توسط چشم دیده و حس می‌شـود. مثال دیگر، انعکاس نور اسـت که چون بر یک جسـم صیقلی تابانیده شود، مانند آنکه اگر نور خورشید بر سـطح صاف و صیقلی بتابد، منعکس می‌شود. بنابراین معلوم شد که صدا انعکاس صوت است که در کوه راه حرکت آن بسته می‌شود و امکان گذشتن و امتداد نمی‌یابد.

بوعلی در دانشـنامهٔ علایی آورده: «شـنیدن مربوط به صدا اسـت. علت صدا (صوت) موج زدن هوا اسـت. تموج ناشـی از حرکت شـدید و سریع هوا اسـت. به عبارت دیگر، اگر جسمی را بر جسـم دیگر بکوبند، موجب جهش هوا می‌شود. برخوردی (جهیدن) سخت و شتابنده در لایه‌های هوا ایجاد می‌شود یا این موج در جسـمی ایجاد می‌شود که جسمی دیگر به آن برخورد پیدا می‌کند. چون این برخورد شدید و شتابنده باشد موجی در آن ایجاد می‌شـود. انتشار موج پهن شونده یا انبساطی با شتاب زیاد است. اکنون چون این موج به گوش رسد، داخل حفرهٔ گوش می‌شود و در نتیجه هوای ساکن داخل گوش را نیز موّاج می‌کند. این موج هوای داخل گوش (پردهٔ گوش را مرتعش کرده) و عصب شنوایی را آگاه می‌سازد» (ابن‌سینا، ۱۳۳۱، ص ۸۵-۸۶).

تعریف و توصیف ابن‌سینا از امواج صوتی

در این بخش مهم‌ترین نکاتی را که مؤلف قراضهٔ طبیعیات در خصوص پدیدهٔ انتشار صوت مطرح می‌کند، توضیح می‌دهیم و برای مفیدتر کردن مطلب، از متون فیزیک جدید نیز تا حدی استفاده می‌کنیم.

موج چیست؟ صوت کدام است؟

فرض کنید که در کنار اسـتخری نشسته‌اید و سنگی را به داخل آب پرتاب می‌کنید. در اثر برخورد سـنگ با آب، چین و شکن‌هایی ایجاد می‌شـود که به‌صورت دوایری به‌طرف دیواره اسـتخر حرکت می‌کنند. ایـن، احتمـالاً متداول‌ترین نمایش مفهوم موج اسـت. ابن‌سینا از این تشـابه و قیاس امواج آب با امواج صوتی به نیکی اسـتفاده می‌کند که در ادامه به آن اشاره می‌شـود. لازم به ذکر اسـت که مولکول‌هـای آب در محدودهٔ ناحیهٔ معینی از فضا حرکت نوسـانی دارند، اما مولکول‌ها، تمام مسیر به طرف دیوارهٔ استخر را نمی‌پیمایند. به‌عبارت دیگر آنچه که حقیقتاً حرکت می‌کند، درون‌مایه یا انرژی اسـت و نه ماده. مناسب است در این‌جا توضیحات بیشتری داده شود.

به‌طـور کلی، برای انتقال نیرو (قـوه) و انرژی (درون‌مایه) دو روش وجـود دارد: یکی مـاده (ذره) و دیگری موج. این دو مفهـوم در فیزیک از اهمیت کلیدی برخوردارند؛ چرا که آن‌ها با زندگی روزانه انسـان گره خورده‌اند. به‌رغم این پیوند، این دو مفهوم کاملاً متفاوت‌اند. ذره بخش بسیار کوچکی از ماده تلقی می‌شـود که قابلیـت انتقال انـرژی را دارد، اما موج یک توزیع گسـترده از انرژی تلقی می‌شـود که فضایی را که از آن عبور می‌کند، پر کرده است.

ابن‌سـینا تعریف نسـبتاً واضحی از موج می‌دهد. نخست نظر پیشینیان را ذکر می‌کند و آن اینکه صوت (صدا) ناشی از برخورد (لایه‌های) هوا اسـت. بلافاصله نظر خود را در خصوص صوت بیان می‌کند که عملاً تعمیم علمی نظر گذشتگان است و به تعریف و معرفی صوت در دانش جدید فیزیک بسیار نزدیک می‌شـود. وی صوت را ناشـی از برخورد جسمی بر جسم دیگر می‌داند تا جسم دوم متحرک شود. اما در این‌جا معنای تحرک، تحرک مکانی نیست، که در آن جسم به صورت یکپارچه جابه‌جا می‌شود یا دوران می‌کند؛ بلکه ذرات آن به جنبش درمی‌آید که ابن‌سـینا از عبارت «متحرک گردد اندر ذات خویش» استفاده می‌کند. به عبارت دیگر، پیدایش صوت ناشی از اثر (دینامیکی) یک عامل خارجی روی جسـم مورد نظر اسـت به‌گونه‌ای که ذرات جسـم دوم به حرکت درآیند. بنابراین، ابن‌سـینا، دقیقاً مطابق با تعاریـف امروزی اولاً، تعریف مـوج صوتی را به تمام محیط‌های مادی، اعم از گاز و مایع و جامد تعمیم می‌دهد که هوا یکی از این محیط‌ها اسـت؛ ثانیاً، حرکت را به ذرات جسم منتسب می‌سازد. در این ارتباط با توجه به سؤالاتی که بعداً ذکر می‌کند، دقیقاً مراد وی از حرکت ذرات، حرکت ارتعاشی ناشی می‌شـود. سـوم اینکه صدا، موج صوتی است و از حرکت ذرات جسم ناشی می‌شود.

در اینجا لازم به توضیح است که چنانچه نیروهای وارد شده به جسمی در فاصله زمانی بسیار کوتاه وارد شوند، پدیدهٔ ارتعاش و نیز ایجاد و انتشار امواج تنشی رخ می‌دهد که به مبحث مکانیک برخورد مربوط می‌شود. موضوع مورد بحث ابن‌سینا، اِعمال این‌گونه نیروها است؛ یعنی نیروهای ضربه‌ای که در اثر برخورد جسم مورد نظر به سازهٔ هدف ایجاد می‌شود. امواج داخل جسم ناشی از ضربه یا برخورد (قَرع) است که تمام ذرات جسم را متأثر می‌سازد. توجه شـود که مؤلف کتاب قراضهٔ طبیعیات یکی از منابع ایجاد امواج صوتی را ارتعاش اجسام جامد می‌داند. حرکت ارتعاشی جسم جامد لایه هوای مجاور خود را متأثر می‌سازد. اکنون، چون هوا به ارتعاش درآید، به‌عبارت دیگر در حرکت رفت و برگشتی سریع باشد، صوت ایجاد می‌شود. صوت از طریق حرکت موجی به گوش ما می‌رسد. همان‌طور که قبلاً گفتیم در این حرکت مادهٔ حامل انرژی حرکت نمی‌کند، بلکه آنچه حرکت می‌کند انرژی حاصل از منبع ارتعاشی است که با موج حرکت می‌کند.

پی‌نوشت‌ها

1. Pythagoras
2. Monochord
۳. رسالهٔ مخارج الحروف را ابن‌سینا حدود ۴۱۴ هـ. نوشـته اسـت. این رسـاله توسـط پرویـز خانلری به فارسی ترجمه و منتشر شده است.
4. Rayleigh
5. Wave
۶. یـادآوری می‌شـود که گزینش معادل‌هـای اسـتفاده شـده برای بازنویسی متن کتاب، با استفاده از فرهنگ فارسی دکتر معین صورت گرفتـه اسـت بنگرید بـه: معین، ۱۳۷۱.
۷. بـه تعبیـر ابن‌سـینا، حرکت اطرادی- پی یکدیگر شدن، جنبش پیاپی.

منابع

۱. ابن‌سـینا، حسـین‌بن عبدالله، **قراضهٔ طبیعیات**، مقدمه و حواشی و تصحیـح غلامحسـین صدیقی، انجمـن آثـار و مفاخـر فرهنگی، ۱۳۸۳.
۲. ـــــ، **طبیعیات دانشنامه علایی**، بـا مقدمه و حواشـی و تصحیح محمد معین و سید محمد مشکوه، انجمن آثار ملی، ۱۳۳۱.
۳. ـــــ ، **رسـاله مخـارج الحـروف یـا اسـباب حـدوث الحـروف**، ترجمـه پرویـز ناتـل خانلری، تهران، بنیاد فرهنگ ایران، تهران، ۱۳۴۸، چاپ دوم.
۴. قطب‌الدین شیرازی، محمودبن ضیاءالدین مسعود، **رساله‌موسیقی از دریّ‌التاج لغره‌الدباج**، تصحیح نصرالله ناصح‌پور، تهران، انتشـارات فرهنگستان هنر، ۱۳۸۷.
۵. معین، محمد، **فرهنگ فارسی**، تهران، انتشارات امیرکبیر، ۱۳۷۱.
6. Caleon I.S. & Subramaniam R., From Pythagoras to Sauvear: tracing the history of ideas about the nature of Sound, Phys. Educ. 42 (2), 2007, P. 173-179.
7. Dampier W., A History of Science and its Relations with Philosophy and Religion, Cambridge University Press, 1961.
8. Galilei G., Dialogues Concerning Two New Sciences, William Andrew Pub., 2001, P. 99-102.
9. Halliday D. et al, Fundamental of Physics, John Wiley & Sons, 2001.
10. Linsay R.B., "Historical development of acousties to the time of Rayleigh, The Theory of Sound, ed. Raleigh J. W. S., Dover Pub., 1945, pp xi-xxv.
11. Loveday T. and Forster E.S., On Things heard, The Complete Works of Aristotle", The Revised Oxford Translation, Vol. 1. ed. Barnes J., Princeton Uni. Press, 1984, pp 1226-36.
12. Pasnan R., "What is Sound?", The Philosophical Quarterly, Vol. 49, No. 196, July 1999, pp 309-324.
13. Rayleigh J.W.S., "The Theory of Sound", Dover Pub., (originally published at 1894)

انرژی زمین گرمایی چیست؟

دیکسون وفائلی
ترجمهٔ رضا ملکی

آموزشی

مقدمه

گرما نوعی انرژی است و انرژی زمین گرمایی در لغت به معنای گرمای موجود در درون زمین است که باعث وقوع پدیده‌های زمین‌شناختی در مقیاس سیاره‌ای می‌شود. امروزه غالباً واژهٔ انرژی زمین گرمایی به بخشی از گرمای زمین گفته می‌شود که انسان می‌تواند آن را استخراج و از آن بهره‌برداری کند.

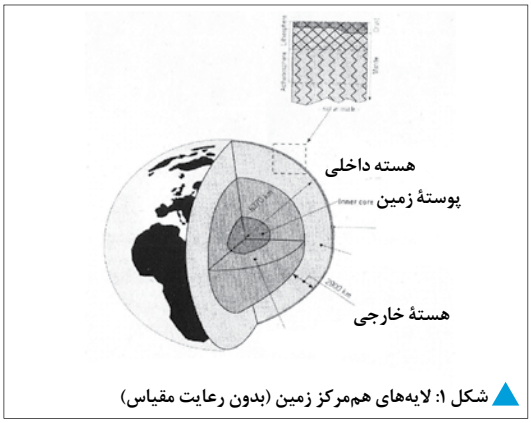
کلیدواژه‌ها: زمین گرمایی، مواد پرتوزا، لایه‌های زمین

۱-۱. تاریخچهٔ انرژی زمین گرمایی

وجود آتشفشان، چشمه‌های آب گرم و دیگر پدیده‌های گرمایی بی‌شک گذشتگان ما را از این حقیقت آگاه ساخته بوده که بخش‌های خاصی از اعماق زمین داغ است. با این حال تا قرن‌های شانزدهم و هفدهم اطلاعات چندانی در این زمینه وجود نداشت، تا اینکه اولین معادن تا عمق چند صد متری سطح زمین حفر شد و انسان براساس درک فیزیکی ساده‌ای فهمید که دمای زمین با عمق آن افزایش می‌یابد.

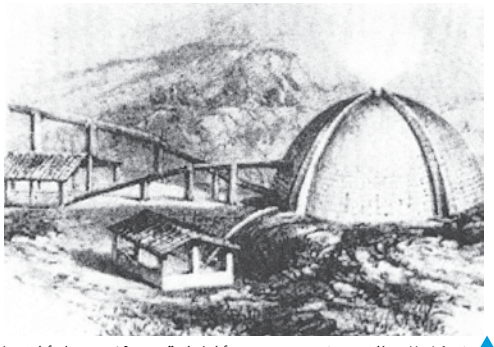
احتمالاً نخستین اندازه‌گیری‌ها به‌وسیلهٔ دماسنج را دوجنسان[۱] در سال ۱۷۴۰ در معدنی نزدیک بلفورت[۲] در فرانسه انجام داد. در سال ۱۸۷۰ از روش‌های علمی پیشرفته‌ای برای مطالعهٔ رفتار گرمایی زمین استفاده می‌شد، اما تا ورود به قرن بیستم و پی بردن به نقش مهم گرمای پرتوزاد (تابش ناشی از واپاشی مواد پرتوزا)، راز پدیده‌هایی همچون توازن گرمایی و تاریخچهٔ گرمایی زمین درک نشد. تمام مدل‌های پیشرفتهٔ گرمای زمین براساس گرمای تولید شده در اثر واپاشی ایزوتوپ‌های پرتوزای اورانیم (U^{235},U^{238})، توریم (Th^{232}) و پتاسیم (K^{40}) با عمر طولانی - که در اعماق زمین یافت می‌شوند - پایه‌ریزی شده است. اما هیچ فرضیهٔ قابل قبولی که به‌طور واقع‌گرایانه براساس مدل‌های موجود طرح‌ریزی شده باشد، وجود نداشت، تا اینکه در دههٔ ۱۹۸۰ میلادی پژوهشگران دریافتند هیچ تعادلی بین گرمای تولید شده از واپاشی مواد پرتوزا در اعماق زمین و گرمای منتشر شده از سطح آن به محیط اطراف برقرار نیست و کرهٔ زمین به آهستگی در حال سرد شدن است. در سال ۱۹۸۸ میلادی در یک ایده برای پدیده‌ها و میزان درگیری آن‌ها استیسی[۳] و لوپر[۴] محاسباتی انجام دادند که براساس آن کل جریان گرمای خروجی از زمین (رسانش، همرفت و تابش) 42×10^{12} W برآورد شده است. از این مقدار 8×10^{12} W از پوسته[۵] که فقط ۲ درصد از کل حجم زمین را تشکیل می‌دهد، اما دارای مقادیر فراوانی از ایزوتوپ‌های پرتوزاست، خارج می‌شود؛ $32/3\times10^{12}$ W از لایهٔ میانی[۶] که ۸۲ درصد از کل حجم زمین را تشکیل می‌دهد خارج می‌شود؛ و $1/7\times10^{12}$ W نیز از هسته[۷] که ۱۶ درصد از کل حجم زمین را اشغال کرده و حاوی ایزوتوپ‌های پرتوزا نیست، خارج می‌شود. شکل ۱، طرح ساده‌ای از ساختار درونی زمین را نشان می‌دهد.

چون گرمای ناشی از واپاشی مواد پرتوزا در لایهٔ میانی زمین در حدود 22×10^{12} W برآورد شده است، لذا آهنگ سرد شدن این بخش از زمین $10/3\times10^{12}$ وات است. در برآوردهای اخیر که بر مبنای تعداد بیشتری از داده‌ها صورت گرفته است، کل جریان (دبی) گرمایی زمین تقریباً ۶ درصد بیشتر از رقم ارائه شده توسط استیسی و لوپر در سال ۱۹۸۸ است. در هر حال فرایند سرد شدن لایهٔ میانی زمین هنوز بسیار آهسته صورت می‌گیرد، به‌گونه‌ای که دمای لایهٔ میانی در طول سه میلیارد سال گذشته بیشتر از ۳۵۰ °C ۳۰۰- کاهش نیافته و اکنون دمای نواحی مرکزی آن در حدود ۴۰۰۰ °C است. با این فرض که میانگین دمای سطح زمین را ۱۵ °C در نظر بگیریم، کل گرمای موجود در زمین، به میزان $12/6\times10^{24}$ MJ خواهد بود و سهم پوسته از این مقدار $5/4\times10^{21}$ MJ است. بنابراین می‌توان مشاهده کرد که انرژی گرمایی زمین بسیار زیاد است، اما تنها بخش کوچکی از آن می‌تواند توسط بشر مورد بهره‌برداری قرار گیرد. تاکنون بهره‌برداری انسان از این انرژی محدود به مناطقی بوده است که شرایط زمین‌شناسی آن این اجازه را به شارهٔ عامل (آب در حالت مایع یا بخار) می‌داده تا گرما را از لایه‌های داغ در اعماق به سطح زمین یا نزدیکی‌های آن انتقال دهد و بدین‌ترتیب منابع زمین گرمایی را به وجود آورد. به هر حال روش‌های جدید در آینده‌ای نزدیک می‌تواند چشم‌انداز جدیدی را در این بخش به روی پژوهشگران بگشاید.



▲ شکل ۱: لایه‌های هم‌مرکز زمین (بدون رعایت مقیاس)

در بسیاری از حوزه‌های زندگی، کاربردهای عملی مقدم بر پژوهش‌های علمی و پیشرفت‌های فناورانه است؛ یک مثال خوب در این مورد بخش زمین گرمایی است. در اوایل قرن نوزدهم، استخراج شاره‌های زمین گرمایی با هدف بهره‌برداری از محتوای انرژی آن‌ها صورت می‌گرفت. در آن زمان یک کارخانهٔ شیمیایی در کشور ایتالیا در ناحیه‌ای که هم اینک لاردرلو[8] نامیده می‌شود، راه‌اندازی شد تا با استفاده از آب‌های بوره‌ای داغی که به‌طور طبیعی یا از طریق حفاری چاه‌های کم‌عمق به بیرون جریان می‌یافتند، اسید بوریک تولید کند. با تبخیر آب‌های بوریکی در دیگ بخارهای آهنی که گرمای مورد نیاز خود را از طریق سوزاندن چوب درختان جنگل‌های مجاور تأمین می‌کردند، اسید بوریک تولید می‌شد. در سال ۱۸۲۷ فرانچسکو لاردرل[9]، بنیانگذار این صنعت، دستگاهی را طراحی کرد که در آن به‌جای سوزاندن چوب درختان جنگل‌ها که به‌سرعت رو به نابودی می‌رفتند، از گرمای موجود در شاره‌های بوریک برای گرمایش دیگ‌های بخار استفاده می‌کرد. (شکل ۲)



شکل ۲: «تالاب پوشیده» در نیمهٔ اول از قرن ۱۹ در منطقهٔ لاردرلو، ایتالیا که از آن برای گردآوری آب‌های گرم بوریک و استخراج اسیدبوریک استفاده می‌شد.

استخراج بخار طبیعی آب با هدف بهره‌برداری از انرژی مکانیکی آن در همان زمان آغاز شد. از بخار آب زمین گرمایی برای بالا بردن مایعات در بالابرهای گازی قدیمی و بعدها در پمپ‌های رفت و برگشتی و گریز از مرکز و جرثقیل‌هایی استفاده می‌شد که به نوعی با عملیات حفاری در ارتباط بودند یا در صنایع محلی تولید اسید بوریک کاربرد داشتند.

بین سال‌های ۱۹۱۰ و ۱۹۴۰ بخار کم‌فشار در این بخش از توسکانی[10] به‌منظور گرم کردن ساختمان‌ها و گلخانه‌های صنعتی و مسکونی مورد استفاده قرار گرفت. کشورهای دیگر نیز شروع به توسعهٔ منابع زمین گرمایی خود در مقیاس صنعتی کردند. در سال ۱۸۹۲ اولین دستگاه زمین گرمایی منطقه‌ای گرمای عملیات خود را در بویز[11]، آیداهو[12] (ایالات متحده آمریکا) آغاز کرد. در سال ۱۹۲۸، ایسلند، یکی دیگر از پیشگامان در استفاده از انرژی زمین گرمایی، نیز شروع به بهره‌برداری از مایعات زمین گرمایی خود (عمدتاً آب‌های گرم) برای مقاصد داخلی گرمایشی نمود.

اولین تلاش برای تولید برق از بخار آب زمین گرمایی در سال ۱۹۰۴ میلادی نیز در منطقهٔ لاردرلو انجام پذیرفت. موفقیت این آزمایش ارزش صنعتی انرژی زمین گرمایی را به خوبی نشان داد و آغاز یک شکل از بهره‌برداری بود که به‌طور قابل توجهی از آن زمان به بعد به‌منظور توسعه مورد استفاده قرار گرفت. تولید برق در «لاردرلو» یک موفقیت تجاری بود. تا سال ۱۹۴۲ ظرفیت برق زمین گرمایی نصب شده به ۱۲۷۶۵۰ KW رسیده بود. دستگاه نمونه‌ای که در کشور ایتالیا راه‌اندازی شد، به‌سرعت توسط کشورهای دیگر الگوبرداری شد. نخستین چاه‌های زمین گرمایی در سال ۱۹۱۹ در «بپو[13]» ژاپن و در ادامه در سال ۱۹۲۱ در «کالیفرنیا» (ایالات متحدهٔ آمریکا) حفر شدند. در سال ۱۹۵۸ بهره‌برداری از یک نیروگاه زمین گرمایی کوچک در نیوزیلند آغاز شد، و یک نیروگاه دیگر در سال ۱۹۵۹ در مکزیکو شروع به‌کار کرد. در سال ۱۹۶۰ نیز در ایالات متحدهٔ آمریکا و به‌دنبال آن در بسیاری از کشورهای دیگر، در سال‌های پس از آن.

۱-۲. وضعیت کنونی بهره‌برداری از منابع زمین گرمایی

پس از جنگ جهانی دوم، با این تصور که انرژی زمین گرمایی از نظر اقتصادی قادر به رقابت با سایر انواع انرژی است، توجه بسیاری از کشورها به این انرژی معطوف شد. وارداتی نبود و در برخی موارد، تنها منبع انرژی در دسترس محلی بود.

اسامی برخی کشورها که از انرژی زمین گرمایی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می‌کنند، در جدول ۱ آمده است که نشان‌دهندهٔ ظرفیت نصب شدهٔ برق زمین گرمایی در سال ۱۹۹۵ (۶۸۳۳ MW)، در سال ۲۰۰۰ (۷۹۷۲ MW) و افزایش آن بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ میلادی است. همچنین جدولی مشابه، کل ظرفیت نصب شده تا سال ۲۰۰۳ (۸۴۰۲ MW) را نمایش می‌دهد. قدرت زمین گرمایی نصب شده در کشورهای در حال توسعه در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ از کل سهم جهانی به ترتیب برابر با ۳۸ درصد و ۴۷ درصد ارائه شده است. استفاده از انرژی زمین گرمایی در کشورهای در حال توسعه یک روند جالب توجه در طول سال را به نمایش گذاشته است. در پنج سال بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۷۹ ظرفیت نصب شدهٔ برق زمین گرمایی در این کشورها از ۷۵ تا ۴۶۲ MW افزایش یافته است. در پایان دورهٔ پنج ساله بعدی (۱۹۸۴) این رقم به ۱۴۹۵ MW رسید که نشان‌دهنده میزان افزایش ۵۰۰ درصد و ۲۲۳ درصد در طی این دو دوره است. در شانزده سال بعدی، از ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰، تقریباً بیش از ۱۵۰ درصد افزایش وجود دارد. انرژی زمین گرمایی نقش نسبتاً قابل توجهی بازی در توازن انرژی برخی از مناطق بازی می‌کند؛ به‌عنوان مثال در سال ۲۰۰۱ انرژی الکتریکی تولید شده از منابع زمین گرمایی نشان‌دهنده ۲۷ درصد از کل برق تولیدی در فیلیپین، ۱۲/۴ درصد در کنیا، ۱۱/۴ درصد در کوستاریکا و ۴/۳ درصد در السالوادور است.

با توجه به مصارف غیرالکتریکی انرژی زمین گرمایی، جدول ۲ ظرفیت نصب شده (۱۵۱۴۵ MW) و مصرف انرژی (TJ/year ۱۹۰۶۹۹) در سراسر جهان را برای سال ۲۰۰۰ ارائه می‌دهد. در آن سال ۵۸ کشور گزارش کردند که نوع استفاده‌شان

مســـتقیم است در حالی‌که در سال ۱۹۹۵ این رقم ۲۸ و در سال ۱۹۸۵، ۲۴ بوده است. تعداد کشورهایی که دارای استفادهٔ مستقیم هستند به احتمال بسیار زیاد از آن زمان به بعد افزایش یافته است، همان‌گونه که کل ظرفیت نصب شـــده و مصرف انرژی افزایش یافته است.

رایج‌ترین اســـتفاده‌های غیرالکتریکی در جهان (برحسب ظرفیت نصب شـــده) عبارت‌اند از: پمپ‌های گرمایی (۳۴/۸۰ درصـــد) اســـتحمام (۲۶/۲۰ درصد) گرمایش فضـــا (۲۱/۶۲ درصـــد) خانه‌های ســـبز (۸/۲۲ درصد) آبزی پـــروری (۳/۹۳ درصد) و فرایندهای صنعتی (۳/۱۳درصد).

جدول۱. ظرفیت نصب شدهٔ تولید انرژی زمین‌گرمایی در سطح جهان از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ (Hutler, ۲۰۰۱) و در پایان سال ۲۰۰۳

کشور	سال ۱۹۹۵ MW	سال ۲۰۰۰ MW	سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ افزایش بر MW	سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ افزایش بر حسب درصد	سال ۲۰۰۳ MW
آرژانتین	۰/۶۷	–	–	–	–
استرالیا	۰/۱۵	۰/۱۵	–	–	۰/۱۵
اتریش	–	–	–	–	۰/۲۵
چین	۲۸/۷۸	۲۹/۱۷	۰/۳۹	۱/۳۵	۲۸/۱۸
...	...	...	...	...	...
تایلند	۰/۳	۰/۳	–	–	۰/۳
ترکیه	۲۰/۴	۲۰/۴	–	–	۲۰/۴
آمریکا	۲۸۱۶/۷	۲۲۲۸	–	–	۲۰۲۰
جمع	۶۸۳۳/۳۵	۷۹۷۲/۵	۱۷۲۸/۵۴	۱۶/۷	۸۴۰۲/۲۱

جدول ۲. استفاده‌های غیرالکتریکی انرژی زمین گرمایی در جهان (۲۰۰۰): توان گرمایی نصب شده (MW) و استفاده از انرژی (TJ/year). منبع: Lund and Freeston (۲۰۰۱)

کشور	توان MW	انرژی TJ/year
الجزایر	۱۰۰	۱۵۸۶
آرژانتین	۲۵/۷	۴۴۹
ارمنستان	۱	۱۵
استرالیا	۳۴/۴	۳۵۱
اتریش	۲۵۵/۳	۱۶۰۹
بلژیک	۳/۹	۱۰۷
بلغارستان	۱۰۷/۲	۱۶۳۷
کانادا	۳۷۷/۶	۱۰۲۳
جزایر کارائیب	۰/۱	۱
شیلی	۰/۴	۷
چین	۲۲۸۲	۳۷۹۰۸
کلمبیا	۱۳/۳	۲۶۶
کرواسی	۱۱۳/۹	۵۵۵
جمهوری چک	۱۲/۵	۱۲۸
دانمارک	۷/۴	۷۵
مصر	۱	۱۵
فنلاند	۸۰/۵	۴۸۴
فرانسه	۳۲۶	۴۸۹۵
گرجستان	۲۵۰	۶۳۰۷

آلمان	۳۹۷	۱۵۶۸
یونان	۵۷/۱	۳۸۵
گواتمالا	۴/۲	۱۱۷
هندوراس	۰/۷	۱۷
مجارستان	۴۷۲/۷	۴۰۸۶
ایسلند	۱۴۶۹	۲۰۱۷۰
هندوستان	۸۰	۲۵۱۷
اندونزی	۲/۳	۴۳
فلسطین (رژیم اشغالگر صهیونیستی)	۶۳/۳	۱۷۱۳
ایتالیا	۳۲۵/۸	۳۷۷۴
ژاپن	۱۱۶۷	۲۶۹۳۳
اردن	۱۵۳/۳	۱۵۴۰
کنیا	۱/۳	۱۰
کره	۳۵/۸	۷۵۳
لیتوانی	۲۱	۵۹۹
مقدونیه	۸۱/۲	۵۱۰
مکزیک	۱۶۴/۲	۳۹۱۹
نپال	۱/۱	۲۲
هلند	۱۰/۸	۵۷
نیوزیلند	۳۰۷/۹	۷۰۸۱

نروژ	۶	۳۲
پرو	۲/۴	۴۹
فیلیپین	۱	۲۵
لهستان	۶۸/۵	۲۷۵
پرتغال	۵/۵	۳۵
رومانی	۱۵۲/۴	۲۸۷۱
روسیه	۳۰۸/۲	۶۱۴۴
صربستان	۸۰	۲۳۷۵
جمهوری اسلواکی	۱۳۲/۳	۲۱۱۸
اسلوونی	۴۲	۷۰۵
سوئد	۳۷۷	۴۱۲۸
سوئیس	۵۴۷/۳	۲۳۵۶
تایلند	۰/۷	۱۵
تونس	۲۳/۱	۲۰۱
ترکیه	۸۲۰	۱۵۷۵۶
انگلستان	۲/۹	۲۱
ایالات متحده آمریکا	۳۷۶۶	۲۰۳۰۲
ونزوئلا	۰/۷	۱۴
یمن	۱	۱۵
جمع	۱۵۱۴۵	۱۹۰۶۹۹

پی‌نوشت‌ها

1. De Gensanne
2. Belfort
3. Stacey
4. Loper
5. Crust
6. Mantle
7. Core
8. Larderello
9. Francesco Larderel
10. Tuscany
11. Boise
12. Idaho
13. Beppu

تجربهٔ آموزشی

روش‌های ماتریسی در اپتیک پیرامحوری

محمدرضا فرزان‌نیا، دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک اتمی مولکولی دانشگاه صنعتی سهند
سیدفرشاد اختریان‌فر، دانشجوی دکترای نانو فیزیک دانشگاه کاشان

چکیده

استفاده از روش‌های ماتریسی برای تحلیل و تفسیر ویژگی‌های جسم و تصویر در یک دستگاه اپتیکی، یکی از کامل‌ترین روش‌های موجود در فیزیک نور است. در تحلیل و تفسیر یک دستگاه اپتیکی به روش ماتریسی برای هر نوع حالت جسم و آینه، روش حل از سه مرحله تشکیل شده است: انتقال پرتو نور تا ابزار اپتیکی، تأثیر ابزار اپتیکی روی پرتو- که می‌تواند عدسی، آینه و یک سطح شکست‌دهنده باشد (مرز)- و دوباره انتقال پرتو بعد از تأثیر ابزار اپتیکی و تشکیل تصویر.

کلیدواژه‌ها: ماتریس انتقال و ماتریس آینه کاو، رابطهٔ بزرگنمایی و تصویر در روش ماتریسی.

مقدمه

برای استفاده از روش‌های ماتریسی ابتدا باید برای هر مرحله از انتقال پرتو، برخورد پرتو به مرز انتقال دوبارهٔ پرتو ماتریس هر کدام را معرفی و نحوه عملکرد این روش را بررسی کرد. در این روش تلاش بر این است که با مقایسه روش موجود در کتاب درسی و روش پیشنهاد شده کارایی، قدرت تفسیر و برتری روش ماتریسی را به روشنی نشان دهیم. ماتریس انتقال پرتو را به این صورت معرفی می‌کنیم: $\begin{pmatrix} ج & ۱ \\ ۰ & ۱ \end{pmatrix}$ که در این ماتریس همهٔ اجزا ثابت و تنها متغیر ماتریس L یعنی فاصلهٔ جسم از ابزار اپتیکی است. این ماتریس مستقل از ابزار اپتیکی است.

همان‌طور که اشاره کردیم برای سه نوع ابزار اپتیکی، عدسی، آینه و سطح شکست ما فقط آینه کاو را معرفی می‌کنیم که ماتریس آن به این صورت است: $\begin{pmatrix} ۱ & ۰ \\ \frac{۲}{د} & ۱ \end{pmatrix}$ که در این ماتریس همهٔ اجزا ثابت و تنها متغیر ماتریس R یعنی شعاع آینه کاو خواهد بود.

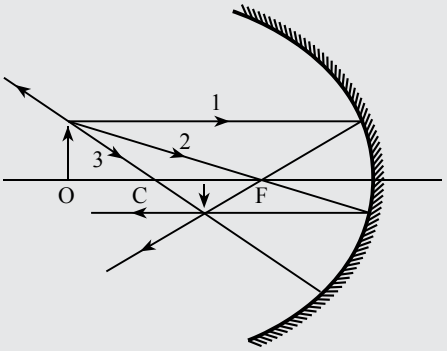
ماتریس انتقال پرتو که بعد از برخورد به آینه کاو معرفی می‌شود دوباره مستقل از ابزار اپتیکی و به این صورت است: $\begin{pmatrix} و & ۱ \\ ۰ & ۱ \end{pmatrix}$ که دوباره همهٔ اجزای ماتریس ثابت و تنها مقدار X یعنی فاصله تصویر تشکیل شده تا ابزار اپتیکی متغیر است.

فرایند تشکیل تصویر در آینهٔ کاو

نحوهٔ ماتریس‌نویسی را برای یک دستگاه اپتیکی شامل جسم، آینهٔ کاو و نحوهٔ تشکیل تصویر را معرفی و نتایج را بررسی می‌کنیم.

اگر انتقال پرتو تا مرز را مرحلهٔ (۱) و برخورد پرتو به مرز را (آینه کاو) مرحلهٔ (۲) و انتقال دوبارهٔ پرتو را مرحلهٔ (۳) در نظر بگیریم، ماتریس‌نویسی را به‌صورت (۱) (۲) (۳) از چپ به راست می‌نویسیم، که نشان‌دهندهٔ رعایت ترتیب اثر در فرایند اپتیکی است.

ماتریس نهایی ما شامل چهار جزء است که همهٔ ویژگی‌های تصویر وابسته به جسم و ضریب شکست محیط را داراست. اگر ماتریس نهایی به‌دست آمده را به‌صورت $\begin{pmatrix} ب & ا \\ پ & ب \end{pmatrix}$ نشان دهیم، عبارت B=۰ مکان تصویر و اگر بزرگنمایی را با m نشان دهیم بزرگنمایی برابر A=m خواهد بود. از طرفی در ماتریس نهایی بعد از قرار دادن تمام اعداد در مینان حاصل $\frac{ف_ک}{ک_.}$ = ب -پ ا =مغ ع نسبت ضریب شکست ورودی به خروجی را نشان خواهد داد.



$$\begin{pmatrix} 1 & و \\ 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-2}{د} & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & چ \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-\frac{2و}{د} & (1-\frac{2چ}{د})و+چ \\ \frac{-2}{د} & 1-\frac{2چ}{د} \end{pmatrix}$$

برای شکل بالا مثال زیر را بررسی می‌کنیم. اگر فاصلهٔ جسمی از آینهٔ کاو به شعاع ۸cm برابر ۱۲cm باشد، ویژگی‌های تصویر و نسبت ضریب شکست محیط ورودی و خروجی را به‌دست می‌آوریم.

حال با توجه به مطالب شرح داده شده داریم: $ک=1-\frac{2و}{د}$

و $و=\frac{-دچ}{2چ-د}$ با قرار دادن اطلاعات مسئله در این روابط داریم:

$$ک=1-\frac{2و}{د}=1-\frac{2\times6}{8}=-0/5$$

$$و=\frac{-دچ}{2چ-د}=\frac{-12\times8}{8-24}=6$$

تفاوت اطلاعات به‌دست آمده را با روش کتاب درسی را بررسی می‌کنیم:

$$\frac{1}{گ}=\frac{1}{ل}+\frac{1}{غ}\Rightarrow\frac{1}{ل}=\frac{1}{4}\Rightarrow ل=6\ \&\ ک=\frac{ل}{گ}\Rightarrow ک=\frac{6}{12}=0/5$$

تفاوت آشکاری در بزرگنمایی مشاهده می‌شود. معنی علامت منفی در رابطه بزرگنمایی به این صورت است که در شکل بالا اگر مرکز آینه کاو را منطبق بر محور مختصات x و y کنیم، به‌صورت آشکار چون طرف جسم را جهت مثبت محور مختصات تعریف کرده‌ایم، علامت مثبت به‌دست آمده برای مکان تصویر تأییدکننده درستی علامت تصویر است اما نوک پیکان تصویر در شکل، کاملاً مشخص می‌کند که سمت پایین محور منفی است و به همین دلیل علامت منفی رابطه بزرگ‌نمایی، نشان‌دهندهٔ وارونگی تصویر نسبت به جسم را نشان می‌دهد. برای تعیین نسبت ضریب شکست محیط ورودی به خروجی با قرار دادن تمامی اعداد به‌دست آمده در ماتریس نهایی خواهیم داشت:

$$\begin{pmatrix} \frac{-1}{2} & 0 \\ \frac{-2}{8} & -2 \end{pmatrix}\Rightarrow غ_{ع}=\frac{ف_{ک}}{ک_{.}}=(\frac{-1}{2})(-2)-(0)(\frac{-1}{4})=1$$

که نشان می‌دهد کل دستگاه در محیط با ضریب شکست یکسان قرار دارد.

در مثال زیر مقایسه و کارایی روش ماتریسی را برای یک مسئله دیگر از شکل بالا را بررسی می‌کنیم. در آینه کاو بزرگنمایی تصویر برابر $m=0/6$ و فاصلهٔ جسم از تصویر حقیقی خود برابر 24^{cm} است. فاصلهٔ کانونی آینه را به‌دست می‌آوریم.

رابطهٔ زیر که از نتایج روش موجود در کتاب به‌دست آمده است فاصلهٔ کانونی را به این صورت محاسبه می‌کند:

$$m=0/6$$

$$پ=24\Rightarrow غ=\frac{پ_{ک}}{|1-ک_{ع}|}=\frac{(0/6)(24)}{|0/36-1|}=22/5$$

حال با استفاده از روابط ماتریسی و دانستن این ویژگی که تصویر حقیقی مقدار عددی مثبت و بزرگنمایی منفی دارد، داریم:

$$ک=1-\frac{2و}{د}\Rightarrow -0/6=1-\frac{2و}{د}\rightarrow 1/6=\frac{2و}{د}$$

$$x=0/8R$$

از طرفی می‌دانیم $و=\frac{-دچ}{2چ-د}$ و $x=0/8R$ داریم:

$$0/8د=\frac{-دچ}{2چ-د}\Rightarrow 0/8د-1.6چ=-دچ$$

$$0/8د=0/6چ\Rightarrow چ=\frac{4}{3}د$$

چون تصویر حقیقی است، پس جسم و تصویر در یک طرف‌اند، پس فاصلهٔ جسم از تصویرش تفاضل مقدار عددی آن دو است، پس داریم:

$$ک_{ع}=22/5=غ_{ک}\Rightarrow 45=د\Rightarrow 24=د(\frac{8}{10}-\frac{4}{3})\rightarrow 24=و-چ$$

اما آنچه اینجا به روشنی نمایان است، توانایی ما در به‌دست آوردن مکان جسم و مکان تصویر و همچنین توانایی در به‌دست آوردن نسبت ضریب شکست محیط پرتو ورودی بر خروجی است که در روش کتاب درسی توانایی محاسبهٔ آن‌ها را نداریم.

$$چ=60_{ع}=36_{ک}=\frac{ف_{ک}}{ک_{.}}=1$$

اگر در این مورد ویژگی تصویر از نظر حقیقی یا مجازی بودن مشخص نبود، آن گاه فقط شعاع آینه باید مورد سؤال قرار می‌گرفت که در این صورت می‌توان مسئله را به دلخواه برای تصویر مجازی یا حقیقی نوشت با این تفاوت که برای تصویر حقیقی، مقدار عددی بزرگنمایی را منفی و برای تصویر مجازی باید مثبت در نظر می‌گرفتیم. با این تفاوت که برای حالت تصویر مجازی فقط مکان تصویر و جسم متفاوت از حالت حقیقی خواهد بود، اما مقدار عددی شعاع همچنان یکسان محاسبه می‌شود.

نتیجه‌گیری

استفاده از روش ماتریسی برای حل مسائل اپتیک علاوه‌بر کاربردی کردن مبحث ماتریس دورهٔ دبیرستان، توانایی درک معنای فیزیک و ریاضیاتی عبارت‌های مسئله را برای دانش‌آموزان آسان می‌کند و همچنین در این مقاله به‌جای استفاده از روش‌های متعدد موجود، تنها از یک روش مشخص و قانونمند برای حل تمامی مسائل معرفی شده است.

منابع

1. Introduction to Optics Frank L.Pedrotti, Leon S. Pedrotti, Prentice Hall, 1993.
2. Optics, Eugene Hecht, Alfred Zajak, Addison-Wesley, 1974.

بررسی اثربخشی آموزش مکانیک

نرم‌افزار اینتراکتیو فیزیک، بر اهداف آموزشی دوبعدی حیطه شناختی

مجتبی جهانی‌فر، استان چهارمحال و بختیاری
نسرین طاهری اصغری، استان قزوین

چکیده

در این پژوهش سعی بر آن داشتیم تا ضمن معرفی نرم‌افزار Interactive Physics و نحوه کار آن، با استفاده از روش آموزش به کمک رایانه میزان تأثیرگذاری آن را بر پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان با تکیه بر اهداف آموزشی و بعدی حیطه‌شناختی بسنجیم. از روش تدریس در حد تسلط به همراه رایانه برای آموزش و از آزمون استاندارد FMCE جهت اندازه‌گیری میزان پیشرفت در اهداف آموزشی بهره بردیم. در ابعاد دانش مانند: دانش‌آموز واقعی و دانش مفهومی و دانش روندی تفاوت آشکاری بین روش آموزش مستقیم و روش آموزش به کمک رایانه دیده نشد اما در ابعاد فرایند شناختی مانند: فرایند شناختی تحلیل کردن و فرایند شناختی ارزشیابی کردن، روش آموزش به کمک رایانه برتری محسوسی در پیشرفت تحصیلی شاگردان را نشان داد.

کلیدواژه‌ها: آموزش فیزیک، حرکت‌شناسی، نیروشناسی، آموزش براساس رایانه، اهداف دوبعدی حیطهٔ شناختی، فرایند شناختی، بعد دانش کد مقاله (PACS) gb . ۰۱/۴۰

معرفی نرم‌افزار

۱. مقدمه

علم فیزیک و به تبع آن سایر شاخه‌ها و علوم وابسته به آن طی سال‌های اخیر جهش چشمگیری به لحاظ محتوا و پاسخ به مجهول‌های بشر داشته‌اند و پیشرفت روزافزون آن قابل انکار نیست. از جمله قدیمی‌ترین و رایج‌ترین شاخه‌های علم فیزیک مکانیک است. مکانیک، همواره قسمت جدانشدنی علوم و مباحث مربوط به آن، چه به لحاظ نظری و چه به لحاظ کاربردی، و مورد توجه دانشمندان و شهروندان بوده است. بدون شک در برنامه درسی علوم همه کشورهای جهان مکانیک جایگاه خاصی دارد و با توجه به کاربرد وسیع آن همواره مورد توجه برنامه‌ریزان آموزشی و درسی است.

از این رو بر آن شدیم تا با استفاده از یک نرم‌افزار تعاملی به آموزش مؤثر مکانیک بپردازیم و تأثیر آن را بر اهداف مختلف آموزشی شاگردان بسنجیم. پژوهش حاضر که با هدف کلی اثربخشی آموزش براساس رایانه انجام گرفته دارای خرده اهداف زیر است:

- معرفی نرم‌افزار تعاملی فیزیک (Interactive Physics) و نحوه کار با آن
- استفاده از آزمون استاندارد FMCE برای بررسی میزان یادگیری مکانیک
- مطالعه اثربخشی استفاده از نرم‌افزار Interactive Physics در برآوردن اهداف آموزشی دوبعدی حیطهٔ شناختی

۲. پیشینه و روش پژوهش

پژوهش‌های صورت گرفته برای مطالعه اثربخشی روش آموزش به کمک رایانه

وقتی از رایانه برای ارائهٔ مواد آموزشی استفاده شود به آن آموزش براساس رایانه[1] می‌گویند. در این روش شاگران می‌توانند، به کمک آموزش‌هایی که رایانه به آن‌ها می‌دهد، با سرعت شخصی خود، مهارت‌ها و کاربردهای ویژه‌ای را بیاموزند. این یادگیری مستلزم پاسخ‌دهی آشکار و درگیری فعال با مواد یادگیری است (۱).

آموزش براساس رایانه بسیار انعطاف‌پذیر است و به کمک آن می‌توان هدف‌های سطوح مختلف را آموزش داد. کروکشانک جنکینس و متکالف (۲۰۰۶) در این باره می‌گویند: بعضی از برنامه‌های رایانه‌ای مفاهیم تازه را به خوبی آموزش می‌دهند، برنامه‌های دیگر یادگیرندگان را در تکالیف خلاق و حل مسئله درگیر می‌کنند. [۲]

جهانی‌فر، طاهری اصغری و کرد نوقابی (۱۳۹۰) و همچنین جهانی‌فر، طاهری اصغری (۱۳۹۱) دربارهٔ حضور رایانه برای کمک به معلمان فیزیک این‌گونه نظر می‌دهند:

استفاده از رایانه و توانایی‌های آن

یک رایانه با نرم‌افزار موجود در آن دستیار بسیار خوب و پرکار معلم خواهد بود. اگر می‌خواهید شور، هیجان و از طرفی فناوری آزمایشگاه‌های پیشرفته را به کلاس درس خود وارد کنید از رایانه کمک بگیرید.

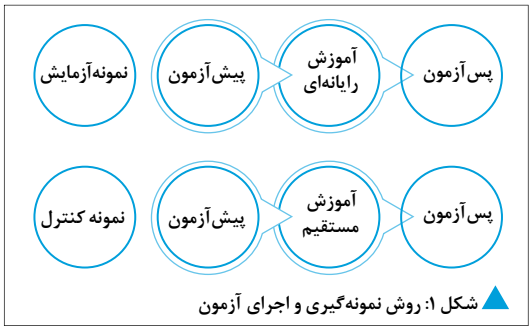
دمبو (۱۹۹۴) در بررسی پژوهش‌های انجام شده درباره اثربخشی این روش آموزشی، نتیجه‌گیری کرده است که آموزش براساس رایانه وقتی به صورت مکمل آموزشی به کلاس می‌رود اثربخش‌تر از زمانی است که به جای آموزش کلاسی مورد استفاده قرار بگیرد [۵].

۳. روش و ابزار پژوهش

۳-۱. جامعه آماری و روش نمونه‌گیری

جامعهٔ آماری این پژوهش دانش‌آموزان پسر و دختر سال چهارم رشته ریاضی و تجربی دبیرستان‌های بخش خان‌میرزا واقع در استان چهارمحال و بختیاری بودند که اعضای آن نزدیک به ۱۱۰ دانش‌آموز بود و ما با نمونه‌برداری سهمیه‌ای دو گروه ۲۵ نفری را در گروه‌های آزمایش و گواه جایگزین کردیم و چون

انتخاب غیرتصادفی و انتصاب تصادفی بوده اســت این پژوهش از نوع نیمه‌تجربی است و اندازه‌گیری به‌صورت پیش و پس‌آزمون و با گروه گواه انجام گرفته است. گروه آزمایش روش آموزش براساس رایانه و گروه گواه آموزش مستقیم را تجربه کرده‌اند. شکل ۲ نحوه اجرای روش‌ها و همچنین اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

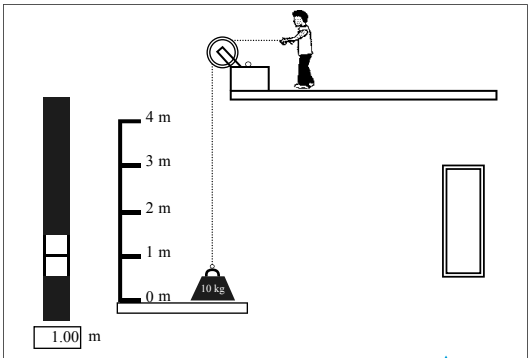


شکل ۱: روش نمونه‌گیری و اجرای آزمون

از روش‌های آمار توصیفی از جمله شــاخص گرایش مرکزی میانگین برای مقایسه کلی دو گروه و همچنین از فنون طبقه‌بندی و محاسبه فراوانی‌ها برای دسته‌بندی میزان پیشرفت در هر کدام از اهداف آموزشی بهره گرفتیم.

۳-۲ نرم‌افزار تعاملی Interactive Physics

نرم‌افــزار اینتراکتیو فیزیک۳ محصول شــرکت فناوری‌های طراحی شبیه‌ســازی[۴] اســت که در یک محیط تعاملی قصد دارد بســیاری از آزمایش‌های مکانیک را شبیه‌ســازی و اجرا کند. این نرم‌افزار می‌تواند اندازه‌گیری‌هایی همچون سرعت، شتاب و انرژی را به خوبی انجام دهد و نمودار هر یک را برحسب زمان رسم کند. شکل ۳ نمایی از صفحه اصلی این نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



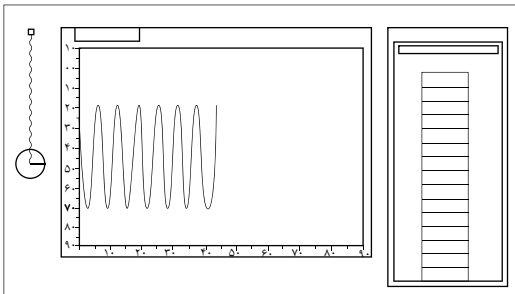
شکل ۲: نمایی از نرم‌افزار Interactive Physics

نســخه ســال ۲۰۰۵ این نرم‌افزار طبق گفته تارنمای اصلی شرکت تولیدکننده دارای قابلیت‌های جدید زیر است: [۶].

● **منــوی جدید ورلد:** در این منــو می‌توانید جهان اطراف و مجازی خود را از نظر شــاخص‌های گرانشی، الکتروستاتیکی و مغناطیسی تا حد دلخواه تغییر دهید، می‌توانید شرایط گرانشی درون کرهٔ مریخ یا فضای بین ستارگان را به‌خوبی از نظر پارامترهای گرانشی شبیه‌سازی کنید و آزمایش‌های حرکت را به‌طور مجازی روی کرات مختلف انجام دهید.

● **منوی کپچر:** دارای امکان فیلم‌برداری از آزمایشگاه مجازی و بازپخش دوبارهٔ آن برای صرفه‌جویی در وقت و ایجاد موقعیت‌های جدید است.

● **منــوی اندازه‌گیری و رســم نمودار:** در این منو شــما می‌توانید هر موقعیت دلخواه حرکت‌شناسی را خلق و نمودارهای مکان، سرعت و شتاب زمان آن را رسم کنید.


شکل ۳: شبیه‌سازی نوسان توسط نرم‌افزار Interactive Physics

شکل ۳نمایی از حرکت نوسان وزنه - فنر را که توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است نشان می‌دهد.

۳-۳- آزمون استاندارد FMCE

این آزمون در اوایل دهه ۹۰ میلادی توســط دو پژوهشــگر آمریکایی بــا نام‌های رونالــد تورنتون و دیوید ســوکولوف[۵] برای سنجش یادگیری و مکانیک مقدماتی طراحی و ساخته شده است و به آزمون FMCE [۶] مشــهور است. این آزمون در مجله انجمن معلمان فیزیک آمریکا در ســال ۱۹۹۷ به چاپ رســیده و دارای اهداف جزئی و کلی به شرح جدول ۲ می‌باشد. [۷]

جدول ۲:اهداف جزئی آزمون FMCE

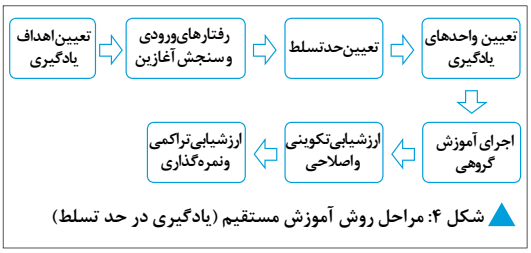
اهداف کلی	برخی اهداف جزئی
سنجش دانش حرکت‌شناسی	حرکت یکنواخت و شتابدار، نمودارهای حرکت، شناخت حرکت از روی نمودار
سنجش دانش نیروشناسی	قوانین نیوتن در حرکت، شناخت نیروها و استفاده از نمودارهای جسم - آزاد برای توصیف حرکت

روایی و پایایی این آزمون در سال ۲۰۰۲ طی یک رسالهٔ دکترا توسط سوزان راملو در دانشگاه کولومبوس اوهایو به اثبات رسیده و ابزاری مناسب برای اندازه‌گیری مفاهیم نیرو و حرکت‌شناسی است.

۳-۴ روش‌های تدریس اجرا شده در پژوهش

معروف‌ترین روش آموزش مســتقیم، آموزش برای یادگیری در حد تســلط یا تدریس تســلطی نام دارد. این روش برخاســته از اندیشــه‌های جان کارول و بنجامین بلوم است. طبق این مدل یادگیری، یادگیری امری آموزشگاهی و پدیده‌ای مبتنی بر زمان است. یعنی هرچه زمان یادگیری بیشتر باشد مقدار یادگیری بیشتر است. بلوم این الگوی نظری را به یک الگوی عملی برای یادگیری

تبدیل کرده اســت [۱]. علت نام‌گذاری این روش به آموزش برای یادگیری در حد تسلط این است که معلم، برای اطمینان از اینکه دانش‌آموزان به سطح مورد نظر در یادگیری رسیده‌اند. از پیش یک معیار یا ملاک برای آنان تعیین می‌کند که آن را ملاک حد تسلط[۷] می‌نامند. اسلاوین (۲۰۰۶)



شکل ۴: مراحل روش آموزش مستقیم (یادگیری در حد تسلط)

حد تسلط را چنین تعریف کرده است: «استانداردی است که دانش‌آموزان باید به آن برسند تا یقین شود که در موضوع یا مهارت مورد نظر به حد چیرگی رسیده‌اند» [۸]. شکل ۵ مراحل مختلف آموزش مستقیم به روش یادگیری در حد تسلط را نشان می‌دهد.

روش یادگیری در حد تســلط همــان روش معمول و موفق دبیران برجسته اســت که در بسیاری از مراکز آموزشی متوسطه و راهنمایی و حتی دانشگاهی استفاده می‌شود. این روش براساس الگوی عمومی آموزش سازمان یافته و مبنای آن طراحی آموزشی معلم‌محور اســت. در این پژوهش در هــر دو گروه آزمایش و گواه از روش آموزش مســتقیم بهره گرفتیم، با این تفاوت که در گروه آزمایش اســاس کار نرم‌افزار رایانه‌ای اســت و بیشتر توضیح‌ها و تفسیرها به کمک شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای صورت گرفته است. در ایــن پژوهش نیز گروه آزمایش به روش یادگیری در حد تســلط که مراحل آن در شــکل ۵ آمده آموزش دیده است، در این روش فصل‌های اول و دوم کتاب فیزیک ســال چهارم دورهٔ متوسطه به مدت ۸ جلســهٔ ۹۰ دقیقه‌ای آموزش داده شــد. تفاوت عمدهٔ این روش با روش‌های حد تســلط رایج در اســتفاده از رایانه در ایجاد شبیه‌سازی‌ها و تفسیر نمودارها و حرکت‌ها بوده است.

۴. نتایج و تحلیل‌های آماری پژوهش

پــس از انجام مراحل نمونه‌گیری و اجرای روش‌های تدریس برای نمونه‌های پژوهش و همچنین اجرای پیش‌آزمون و پس‌آزمون و تلخیص داده‌ها و پس از آن استفاده از روش‌های مختلف آماری نتایجی به شرح ذیل حاصل شد:

الــف. بدون توجه بــه طبقه‌بندی اهداف آموزشــی دو بعدی، هــر دو روش تدریس به کار رفته در پژوهش، باعث رشد یادگیری در موضوع مکانیک شدند.

با بررســی نتایج پیش‌آزمــون و پس‌آزمون FMCE متوجه شدیم که هرگاه طبقه‌بندی اهداف آزمون نادیده گرفته شود و تنها نمره کل آزمون را مورد بررســی قرار دهیم، تأثیرگذاری در هر دو روش تدریس به کار رفته مشاهده خواهد شد و هر دو روش باعث ایجاد تغییرات در یادگیری شده‌اند. به مقادیر جدول ۳ دقت کنید:

این نتایج بدون توجه به طبقه‌بندی دوبعدی به دســت آمده و حاکی از یادگیری در هر دو نمونه به‌صورت تقریباً یکسان است.

این نشان می‌دهد که هر دو روش تدریس انتخاب شده برای برآوردن هدف کلی آزمون، که همانا یادگیری جنبه‌های مختلف مکانیک است، مناسب هستند و باعث ایجاد یادگیری کلی یکسانی می‌شوند ولی بدون توجه به طبقه‌بندی اهداف آموزشی و سطوح مختلف یادگیری. در قسمت‌های بعد خواهید دید که در صورتی که اهداف آزمون را جزئی‌تر کرده به سطوح مختلف یادگیری توجه کنیم نتایج متفاوتی حاصل خواهد شد.

ب. روش آموزش در حد تسلط حداکثر توانسته است اهداف و ســطوح آموزشــی دوبعدی را تا حد دانش روندی و فرایند به کار بســتن بالا برد در صورتی که روش آموزش براساس رایانه قادر به ارتقای اهداف و سطوح آموزشی مورد نظــر دوبعدی تا حد دانش فراشــناختی و فرایند تحلیل و ارزشیابی کردن است.

برای توضیح بهتر این نتیجه پس از برگزاری آزمون FMCE پرســش‌های آزمون را برحسب طبقه‌بندی دوبعدی به پنج دسته تقسیم کردیم به‌طوری که هر دسته یکی از سطوح و اهداف مورد نظر ما را می‌سنجید. جدول ۴ چگونگی این دسته‌بندی را به خوبی نمایش می‌دهد.

پس از بررســی پیش‌آزمــون و پس‌آزمــون FMCE نتایج حاکی از برتری روش براســاس رایانه در برآوردن اهداف آموزشی ســطح بالا همچون تحلیل و ارزشیابی بود و نمونهٔ آزمایش که به

جدول ۳: مقایسه یادگیری نمونه‌های گواه و آزمایش

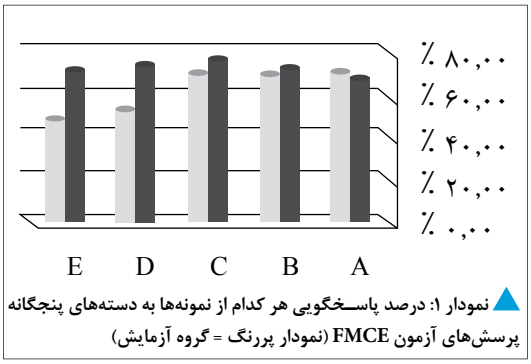
	۱	۲
میانگین پیش‌آزمون	۴/۵	۳/۹۵
میانگین پس‌آزمون	۱۲/۳	۱۲/۶
رشد (یادگیری)[۸]	۷/۸	۸/۶۵

جدول ۴: دسته‌بندی پرسش‌های آزمون FMCE

	هدف آموزشی اندازه‌گیری شده توسط دسته		برخی سؤال‌های عضو
دسته	بعد دانش	بعد فرایند	۱و۷و۱۱و۱۳و۱۸و۲۴
A	دانش‌آموز واقعی	فرایند به یاد آوردن	۲و۳ و۴ و ۹ و ۲۰
B	دانش مفهومی	فرایند فهمیدن	۵ و۶ و۸ و۱۰و۱۲و۲۷و ۲۸
C	دانش روندی	فرایند به کار بستن	۱۴و۱۵و۱۶و۲۲و۲۳و۲۹
D	دانش مفهومی	فرایند تحلیل کردن	۱۷و۱۹و۲۱و۲۵و۲۶
E	دانش فراشناختی	ارزشیابی کردن	۱و۷و۱۱و۱۳و۱۸و۲۴

روش آموزش براساس رایانه آموزش دیده بودند در پاسخ‌گویی به پرسش‌های دسته‌های D و E موفق‌تر عمل کرده‌اند ولی نمونهٔ گواه که روش آموزش در حد تسلط را تجربه کرد با وجود موفقیت نسبی در پاسخ‌گویی به پرسش‌های دسته‌های A و B و C موفقیت چشمگیری در پاسخ‌گویی به پرسش‌های دسته‌های D و E نشان نداد. نمودار ۱ درصد پاسخ‌گویی نمونه‌های گواه و آزمایش را به هر دسته از پرسش‌ها نشان می‌دهد.

لازم به توضیح است که درصدهای بیان شده در بالا میزان رشد پاسخ‌گویی به پرسش‌های هر دسته قبل و بعد از اجرای روش‌های تدریس است که خود نشانگر برتری روش تدریس استفاده شده در نمونه آزمایش در ارتقای اهداف آموزشی سطح بالا همچون تحلیل کردن و ارزشیابی است.



نمودار ۱: درصد پاسخ‌گویی هر کدام از نمونه‌ها به دسته‌های پنجگانه پرسش‌های آزمون FMCE (نمودار پررنگ = گروه آزمایش)

۵. تحلیل نتایج پژوهش

آنچه گذشت طرحی نیمه‌تجربی برای مطالعهٔ اثربخشی استفاده از یک نرم‌افزار تعاملی در تدریس مکانیک بود. در این پژوهش دو نمونهٔ مختلف تحت تأثیر دو روش متفاوت قرار گرفتند که شرح آن در قسمت‌های قبل بیان شد. نتایج حاکی از برتری روشی بود که براساس رایانه طرح‌ریزی شده است.

اگر به اهداف جزئی آزمون FMCE توجهی نشود و تنها نمره کل را میانگین گرفته و با هم مقایسه کنیم، خواهیم دید که تأثیر هر دو روش تفاوت چشمگیری با هم ندارند و هر دو روش استفاده شده قادرند رشد تقریباً یکسانی را به‌وجود آورند. اما اگر اهداف جزئی آزمون را مشخص و سپس با استفاده از طبقه‌بندی اهداف آموزشی دوبعدی نتایج را بررسی کنیم خواهیم دید که روش‌های مختلف می‌توانند سبب رشد مهارت‌های مختلف باشند. روش‌های آموزش مستقیم مثل آموزش در حد تسلط می‌توانند باعث رشد مهارت‌هایی همچون دانش امور واقعی، دانش مفهومی و دانش روندی را شوند، در صورتی که روش‌های آموزش برنامه‌ای که از نرم‌افزارهای تعاملی نیز بهره می‌برند قادرند مهارت‌هایی مثل دانش فراشناختی، فرایند تحلیل کردن و فرایند ارزشیابی کردن را بهبود بخشند و رشد بدهند. با توجه به آنچه که در پیشینه و مقدمه پژوهش آماده است، روش تدریس در حد تسلط به کمک رایانه ضمن بهبود مهارت‌های بالای یادگیری مثل ارزشیابی و تحلیل توانسته است در اهداف فرایندی حیطه‌های شناختی و رسیدن به فراشناخت موفق عمل کند و نتایج حاصل از پژوهش ضمن تأیید و تأکید بر نتایج گذشته نشان داد ایجاد فراشناخت یکی از مهم‌ترین آثار استفاده از تحلیل‌های رایانه‌ای در تفسیر حرکت و حضور رایانه در کلاس درس فیزیک است.

۶. ارائه چند پیشنهاد

با توجه به نتایج حاصل پژوهشگران توصیه‌های زیر را برای بهبود آموزش و یادگیری در آموزش علوم به‌خصوص مکانیک ارائه می‌دهند:

- **توجه به اهداف آموزشی و طبقه‌بندی آن‌ها:** استادان و معلمان و پژوهشگران آموزش علوم همواره باید به اهداف آموزشی مورد نظر هر مبحث دقت لازم را داشته باشند، قبل از شروع تدریس اهداف آموزشی مربوط به مبحث را مشخص و سطح آن را معلوم کنند، توصیه می‌شود قبل از تدریس پرسش‌های زیر را راجع به مبحث مورد تدریس از خود بپرسیم: اهداف آموزشی این مبحث چیست؟ آیا در بعد دانش است؟ آیا در بعد فرایند است؟ سطوح پایین اهداف آموزشی را شامل می‌شود یا سطوح بالا، حداقل مزیت این پیشنهاد این است که پس از پاسخ‌گویی به این قبیل پرسش‌ها روش‌ها و ابزار مورد نیاز برای تدریس شما فهرست خواهد شد.
- **استفاده از روش تدریس متناسب با اهداف آموزشی:** هرگاه اهداف و سطوح آموزشی مشخص گردد، راهبردها و فنون و روش‌های تدریس متناسب با آن نیز معلوم خواهد شد. همان‌طور که ملاحظه کردید روش‌های متفاوت می‌توانند به اهداف و سطوح آموزشی متفاوتی دست پیدا کنند، بنابراین توصیه می‌شود شیوه تدریس خود را متناسب با موضوع و اهداف آموزشی انتخاب کنید.
- **استفاده از رایانه به‌عنوان جایگزین مناسب آزمایشگاه‌های پیشرفته و گران‌قیمت:** بیشتر نگرانی‌های استادان و معلمان دروس علوم (فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی) راجع به یادگیری عملی و مهارت‌های عملی دانشجویان و دانش‌آموزان است. بسیاری از آموزشگران به‌خاطر اینکه امکانات آزمایشگاهی ندارند و یا آزمایشگاه مجهز نیست و یا آزمایش‌ها گران‌قیمت هستند، کمتر به آموزش آزمایشگاهی رغبت نشان می‌دهند. ما استفاده از نرم‌افزارهای تعاملی، همانند آنچه که در این پژوهش از آن استفاده شد، را پیشنهاد می‌کنیم. این نرم‌افزار بیشتر مباحث مورد نیاز معلمان را به‌صورت پویانمایی‌ها و کارگاه‌های مجازی ارائه می‌دهد که با کمترین امکانات قابل اجرا و دسترسی هستند و می‌توان آزمایشگاه‌های بزرگ و پیشرفته دنیا را به کلاس درس وارد کرد.

پی‌نوشت‌ها

1. CBI (**C**omputer **B**ased **I**nstruction)
2. Bloom, Englehart, Furst, Hill and Krathwol
3. IP (**I**nteractive **P**hysics) **b**
4. design simulation technologies
5. Ronald K. Thornton, David R. Sokoloff
6. **F**orce and **M**otion **C**onceptual **E**valuation
7. Mastery criterion
۸. تفاضل میانگین پیش‌آزمون و پس‌آزمون FMCE

منابع

۱. سیف؛ علی‌اکبر، **روان‌شناسی پرورشی نوین** (روان‌شناسی یادگیری و آموزش)، ویرایش ششم، تهران، نشر دوران، (۱۳۸۹).
2. Cruickshank; D.R.Jenkins; DB, Metcalf; k.k, the act of teaching, New York: McGraw-Hill, (2006).
۳. جهانی‌فر؛ مجتبی، طاهری اصغری؛ نسرین، کرد نوقابی؛ رسول، **اقدام‌پژوهی در آموزش فیزیک، استفاده همزمان از نرم‌افزار Looking glass قاب‌های آموزشی و ترمی در تدریس نور شناخت هندسی**، دوازدهمین کنفرانس آموزش فیزیک ایران، تهران، شهریور ۱۳۹۰.
۴. جهانی‌فر؛ مجتبی، طاهری اصغری؛ نسرین، **مطالعه اثربخشی آموزش مدارهای الکتریکی ساده با بهره‌گیری از نرم‌افزار PhET و با تکیه بر طبقه‌بندی اهداف آموزشی آندرسون در حوزهٔ شناختی**، چهارمین کنفرانس ملی آموزش، تهران، اردیبهشت ۱۳۹۱.
5. Dembo, M. H. (1994). Applying educational psychology, (5th ed.). New York: Longman.
6. http://www.design-simulation.com/ip
7. Ronald K. Thornton, David R. Sokoloff, 1998 American Association of Physics Teachers. - Received 6 November 1995; accepted 14 July 1997.
8. Slavin, R.E. (2006). Educational psychology: Theory and practice (8th Ed.) New York: Pearson.

آموزشی

نیروی گریز از مرکز؛ واقعی یا تخیلی؟

آرش ظهوریان پردل

مقدمه

«سطل پر آبی را که به طنابی بسته‌ایم، بر صفحه‌ای عمود بر زمین، به دور خود می‌چرخانیم. اگر آن را با سرعت مناسبی بچرخانیم، ملاحظه خواهیم کرد که حتی در بالاترین نقطهٔ مسیر (که سطل کاملاً در حالت وارونه قرار گرفته است) آب درون آن به زمین نمی‌ریزد. در عوض، آب به ته سطل فشرده می‌شود. چرا چنین است؟»

بدون شک اکثر ما بارها اصطلاح «گریز از مرکز» را از زبان افراد مختلف شنیده‌ایم؛ و این مفهومی است که در علم فیزیک، هیچ‌گونه جایگاه و تعریفی ندارد (که در ادامه، به دلایل و چرایی آن خواهیم پرداخت) البته به کار بردن این اصطلاح از جانب اشخاصی که با فیزیک آشنا نیستند، چندان شگفت‌انگیز نیست، و اساساً هم نباید از چنین افرادی توقع توصیف درست و اصولی این موضوع را داشته باشیم. اما مسئله زمانی بغرنج می‌شود که می‌بینیم دانش‌آموزان دبیرستانی، و حتی بسیاری از دانشجویان رشته‌های فنی - مهندسی و علوم پایه، به‌وجود چنین نیرویی اعتقاد دارند و تلاش می‌کنند در محاسبه‌ها و تشریح پدیده‌های حرکتی، جایی برای آن پیدا کنند. چنین واقعیتی، نشان از تصور نادرست و سطحی از فیزیک دارد؛ تصویری که اصولاً از سال‌های دبیرستان در دانش‌آموزان به‌وجود می‌آید.

کلیدواژه‌ها: نیروی گریز از مرکز، نیروی واقعی، نیروی تخیلی، قانون‌های نیوتون

بسیاری از دانش‌آموزان، از دورهٔ دبیرستان، با سه قانون نیوتون دربارهٔ حرکت آشنا می‌شوند و احتمالاً تعریف هر کدام را نیز تا سال‌های بعد در حافظهٔ خود ثبت می‌کنند؛ اما این‌ها تعاریفی است عموماً کلیشه‌ای که بدون آگاهی دانش‌آموزان از معنای عمیقی که در پس هر یک وجود دارد، به صورتی تکراری و نامفهوم، در ذهنشان شکل می‌گیرد. می‌دانیم که بیشتر آنچه ما امروز به‌عنوان مکانیک کلاسیک می‌شناسیم، مرهون دستاوردهای گالیله و نیوتون است. اما عدم درک روند تاریخی پژوهش‌های گالیله و نیوتون، که برخلاف اندیشهٔ ارسطویی، دربارهٔ حرکت بود، خود عاملی است که باعث می‌شود در حالی که دانش‌آموزان و دانشجویان با قوانین حرکت آشنایی پیدا می‌کنند، از درک صحیح آن‌ها و نیز توانایی به‌کارگیری آن‌ها در توجیه و توضیح پدیده‌های طبیعی عاجز بمانند. در نظر دانش‌آموزان با دانشجویان، علم فیزیک عموماً در یک رشته رابطه‌های ریاضی و تعریف‌های بدیهی خلاصه می‌شود، بدون آنکه آن‌ها بتوانند پیوستگی‌های مفهومی و فراز و نشیب‌های تاریخی این موضوع را درک کنند. مطرح شدن مفاهیم و اصطلاحاتی نظیر «نیروی گریز از مرکز» از جانب ایشان نیز گواه بر این است که نظام آموزشی ما (اعم از معلمان و مدرسان، کتاب‌های درسی و روش‌های آموزشی) در تغییر تفکر و ایجاد نگرشی صحیح نسبت به قوانین علم مکانیک در دانش‌آموز، ناکارآمد و ناتوان است.

در این مقاله تلاش بر این است تا یکی از همین کژفهمی‌ها یا سوءتفاهم‌هایی را که متأسفانه در کتاب‌های درسی، نشانی از توضیح و حتی اشاره‌ای به آن نمی‌بینیم، تشریح و تحلیل کنیم.

ارسطو، فیلسوف و طبیعی‌دان مشهور یونان باستان، عقیده داشت که «نیرو موجب حرکت می‌شود.» شاید در بدو امر، چنین عبارتی برای ما بدیهی جلوه کند؛ همان‌طور که اگر صندلی چرخدارمان را هل دهیم، حرکت می‌کند و چنانچه از اعمال نیرو خودداری کنیم، از حرکت باز می‌ایستد. یا هنگامی که سوار دوچرخه می‌شویم، تا وقتی که رکاب می‌زنیم، دوچرخه به جلو رانده می‌شود و اگر رکاب زدن را متوقف کنیم دوچرخه نیز از حرکت باز خواهد ایستاد و... . البته در زمان خود ارسطو، مثال‌هایی مطرح می‌شد که با این نظریه ناسازگار بود. از آن جمله می‌توان به پرتاب شدن تیر از چلهٔ کمان اشاره کرد: پس از رها شدن تیر، دیگر نیرویی به آن وارد نمی‌شود؛ پس چرا تیر به حرکت خود ادامه می‌دهد؟ ارسطو برای توجیه چنین پدیده‌ای، استدلال خاصی داشت. او می‌گفت، هوا از نوک پیکان به سوی انتهای تیر حرکت و این هوای فشردهٔ انتهای تیر اسباب حرکت تیر را فراهم می‌کند. به هر حال، جدا از این توجیه‌های عجیب، نفس پرداختن ارسطو به حرکت و علت حرکت قابل توجه است.

پس از چندین سده، گالیلئو گالیله و سپس سِر آیزاک نیوتون، تعاریفی کاملاً متفاوت و تازه ارائه کردند که حاصل دستاوردشان (که آن را به نام «مکانیک کلاسیک» می‌شناسیم)، نه‌تنها تصحیح و تغییر نگرش ارسطویی بلکه تبیین اصولی مدون به نام «روش علمی» بود که تا پیش از آن سابقه نداشت.

مکانیک گالیله و نیوتون بیانگر این واقعیت است که سکون و حرکت یکنواخت (حرکتی که در آن، جهت و مقدار سرعت ثابت بماند) نیاز به دلیلی ندارد. به بیان دیگر، مطابق قانون لختی گالیله (و یا با اندکی تفاوت، قانون اول نیوتون) اجسام تمایل دارند که اگر ساکن هستند، در همان وضعیت سکون بمانند و اگر حرکت می‌کنند، به همان حرکت با سرعت ثابت ادامه دهند. این ویژگی را اینرسی یا لختی می‌نامیم که البته کسی دلیل این ویژگی اجسام مادی را نمی‌داند.

(توجه کنیم که یکی از دستاوردهای ارزندهٔ گالیله، این بود

که نتیجه گرفت میان سکون و حرکت یکنواخت، تفاوتی وجود ندارد، بلکه آنچه اهمیت دارد چارچوبی است که نسبت به آن به رویدادها نگاه می‌کنیم. به‌عبارت دیگر، بیان اینکه «فلان جسم ساکن است» و یا «فلان جسم با سرعت ثابت حرکت می‌کند»، بی‌معناست، مگر مشخص شود که نسبت به کدام چارچوب لخت سنجیده می‌شود. این واقعیت، کلید فهم نسبیّت خاص اینشتین محسوب می‌شود. اما آنچه را که ما در اینجا دربارهٔ سکون و حرکت یکنواخت مطرح می‌کنیم می‌توان نسبت به زمین در نظر گرفت؛ چارچوبی که با اندکی اغماض، می‌تواند به‌عنوان چارچوب لخت در نظر گرفته شود.

نتیجه آنکه، برای حرکت الزاماً به نیرو نیاز نداریم. این تصحیح را در قانون دوم نیوتون می‌توان مشاهده کرد. مطابق قانون دوم نیوتون: «نیرو موجب تغییر حرکت می‌شود» و نه خود حرکت. همچنین «نیرو در راستای تغییر حرکت است» و نه الزاماً در راستای حرکت. بنابراین، عباراتی مانند: «علت حرکت چیست؟» و یا «مطالعهٔ علل حرکت»، از منظر مکانیک نیوتونی، عباراتی نادرست است و باید از به‌کار بردن آن‌ها پرهیز کرد.

***

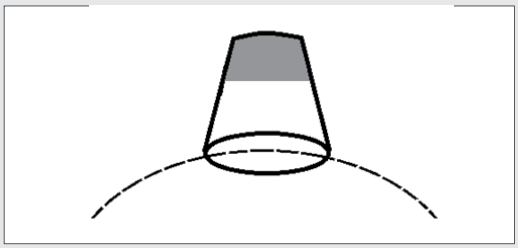
حال می‌خواهیم به اهمیت تفکیک «احساس» و «قانون فیزیکی» بپردازیم. فرض کنید درون ماشین در حال حرکتی نشسته‌اید و راننده ناگهان ترمز می‌کند. شما احساس خواهید کرد که به جلو پرتاب شده‌اید. اما آیا نیرویی شما را به جلو پرتاب کرده است؟ خیر! احساس ما و قانون‌های فیزیک، الزاماً بر هم منطبق نیستند! از نظر شما، گویی نیرویی رو به جلو بر اندامتان وارد شده است، در حالی که توضیح این اتفاق توسط علم فیزیک، صرفاً با کمک قانون اول نیوتون قابل توجیه است: بدن شما تمایل دارد حتی پس از ترمز نیز به حرکت ادامه دهد، در حالی‌که بدنه یا چارچوب خودرو، از حرکت باز ایستاده است. به همین دلیل است که «احساس می‌کنید» نیرویی بر شما اعمال شده است.

مثال دیگری را در نظر بگیرید: در آسانسوری ایستاده‌اید و ناگهان آسانسور به بالا حرکت می‌کند و در نتیجهٔ آن، «احساس می‌کنید» نیرویی شما را به کف آسانسور می‌فشارد، در حالی‌که مطابق قوانین مکانیک، هیچ نیروی پایین‌سویی به شما وارد نشده است و این «احساس» شما، باز هم به راحتی توسط قانون نخست مکانیک، توضیح داده می‌شود. (مثال اخیر، در تبیین نسبیت عام اینشتین، نقش بسیار مؤثری ایفا کرد).

توجه به این اصل مهم حیاتی است که اگر بخواهیم برای به جلو پرتاب شدنمان در ماشین، به یک نیروی تخیلی روی بیاوریم، دیگر باید از عضویت در تیم گالیله و نیوتون استعفا دهیم، چراکه در واقع فیزیک جدیدی را برای خودمان خلق کرده‌ایم، که طبعاً کاری نامعقول است.

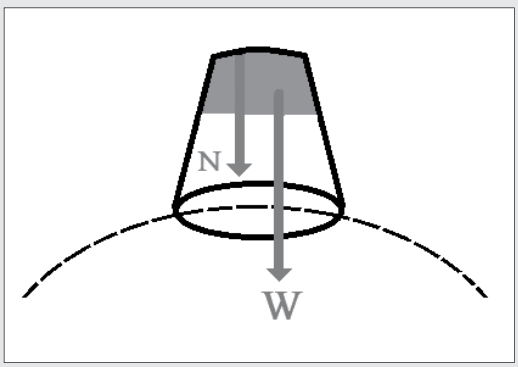
***

با توجه به آنچه گفته شد، حال می‌توانیم به نیروی گریز از مرکز بپردازیم: این نیرو از جمله نیروهای تخیلی است. به بیان دیگر، اگر می‌خواهیم از مکانیک کلاسیک بهره بگیریم، باید فکر وجود چنین نیرویی را از سر بیرون کنیم. در غیر این صورت، نوع نگرش و استدلالمان، با ارسطوییان تفاوتی نخواهد داشت. برای تشریح این موضوع، مثال سطل پر آب را با هم بررسی می‌کنیم. در بالاترین نقطهٔ این مسیر دایره‌ای که صفحهٔ آن بر زمین عمود است، با چنین وضعیتی مواجه‌ایم: (شکل ۱)



برای کسی که فیزیک نمی‌داند، بی‌درنگ این پرسش مطرح می‌شود که «چرا آب درون سطل بیرون نمی‌ریزد؟» ولی می‌دانیم که چنین پرسشی اساساً نادرست است، چرا که دلیلی برای فرو ریختن آب وجود ندارد، چون قرار نیست حرکت الزاماً در راستای نیرو صورت گیرد. اما برای کسی که با دانش فیزیک سر و کار ندارد، به نظر می‌رسد که نیروی مرموزی آب درون سطل را به بالا هُل می‌دهد و در همین‌جاست که نیروی موهومی «گریز از مرکز» را ابداع می‌کنند!

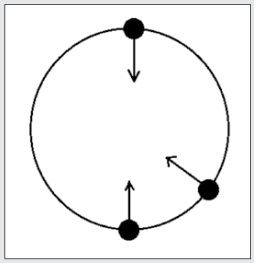
حال بیایید قوانین مکانیک نیوتونی را در این حالت مرحله به مرحله پیاده کنیم: ابتدا باید نیروهایی را که بر آب درون سطل وارد می‌شوند مشخص کنیم. دو نیرو به آب وارد می‌شود: یکی نیروی گرانی و دیگری، نیروی عمودی کف سطل:



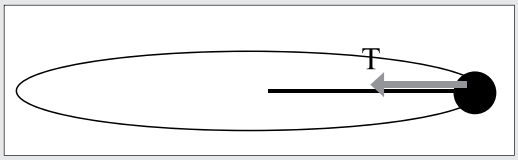
حال می‌توانیم پرسش نادرستی چون: «چرا آب فرو نمی‌ریزد؟» را به شکل صحیح مطرح کنیم: «آیا تغییر حرکت جسم، در راستای نیروی اعمال شده خواهد بود؟» که البته، مطابق مکانیک گالیله و نیوتون، جواب مثبت است.

بهتر است پیش از بررسی این پرسش دربارهٔ حرکت بر مسیر دایره‌ای، توضیحی بدهیم:

در حرکت دایره‌ای، نیرو (یا نیروهایی) وجود دارند که سبب ماندن در مسیر دایره می‌شوند. این نیرو(ها) همواره در راستای شعاع و به‌سوی مرکز دایره، بر جسم وارد می‌شوند. این نیرو (نیروها) را مرکزگرا می‌گوییم. باید به این نکته توجه

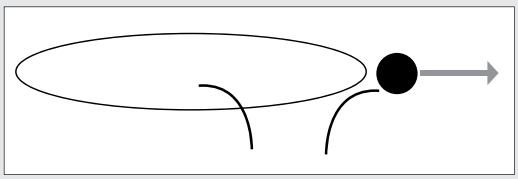


کنیم که نیروی مرکزگرا، نیروی مستقل یا ویژه‌ای نیست که مثلاً در کنار گرانی یا کشش نخ قرار داشته باشد، بلکه به نیرو یا نیروهایی کـه امکان حرکت بر مسیر دایره‌ای را فراهم می‌کنند (از هر نوعی که باشند)، مرکزگرا می‌گوییم. به‌عنوان مثال، فرض کنید گلوله‌ای را به انتهای نخی بسته‌ایم و آن را بر صفحهٔ افقی، بالای سرمان می‌گردانیم. آن نیرویی که موجب می‌شود گلوله بر مسیر دایره‌ای‌اش باقی بماند، نیروی کشش نخ است. پس در اینجا، نیروی مرکزگرا چیزی به جز نیروی کشش نخ نیست.



شرایطی را در نظر بگیرید که ناگهان نیروی مرکزگرا از میان برود (مثلاً طنابی که گلوله به آن متصل شده است، پاره شود).

ممکن است باز هم به اشتباه و با توسل به حس معمول و عقل سلیم، احساس کنیم که «به واسطهٔ نیروی گریز از مرکز»، گلوله در راستای شعاعی و به‌سوی خارج از مسیر پرتاب خواهد شد:

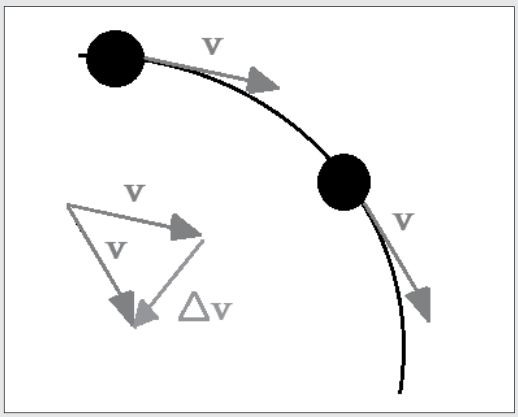


این در حالی اسـت که مطابق قانـون لختی، گلوله حرکت مستقیم‌الخط و یکنواختی را در پیش خواهد گرفت که مسیر آن بر مسیر دایره‌ای مماس خواهد بود.

به پرسش اصلی بازگردیم: «آیا تغییر حرکت جسم (سطل پر آب)، در راستای نیروی اعمال شده خواهد بود؟»

چون حرکت سـطل پر از آب در مسـیر دایـره‌ای صورت می‌گیرد، بی‌درنگ بحث وجود نیروی مرکزگرا مطرح می‌شود و همواره و در تمام نقاط مسیر، نیرویی به سوی مرکز مسیر دایره‌ای به دسـتگاه سطل - آب وارد می‌شـود. (در حالتی که سطل در بالاترین نقطهٔ مسیر قرار گرفته، مجموع نیروی گرانی و نیز نیروی عمودی سطح، مصداق نیروی مرکزگراست.)

از طرفی، راسـتای حرکت، همان راسـتای سـرعت است. بنابراین عبارت «نیرو در راسـتای تغییر حرکت است»، می‌تواند به‌صورت: «راسـتای نیرو و تغییر سـرعت، یکسان است» تعبیر شود. در حرکت دایره‌ای، راستای سرعت همواره مماس بر مسیر اسـت. بنابراین، با شکل سادهٔ زیر، که موقعیت جسمی را در دو مکان متفاوت مسیری دایره‌ای نشان می‌دهد، می‌توانیم مشاهده کنیم که راسـتای تغییر سـرعت (تغییر حرکت) جسم، همان راستای نیروی مرکزگراست:

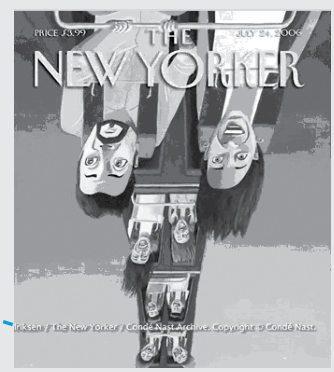


با اینکه فهمیدیم دلیلی برای سقوط کردن آب درون سطل وجود ندارد، اما هنوز به این مسـئله که چرا آب به کف سـطل فشرده می‌شود، پاسخ نداده‌ایم، یعنی جایی که سر و کلهٔ نیروی گریز از مرکز پیدا می‌شود!

برای درک چرایی این پدیده، به مثال آسانسور بازمی‌گردیم: گفتیم داخل آسانسـوری ایستاده‌اید و آسانسور با سرعت زیادی شـروع به بالا رفتن می‌کند. در این حالـت (که برای بیان بهتر مسئله، نیروی گرانی را هم نادیده می‌گیریم)، نیرویی رو به بالا به شما وارد می‌شود، در حالی که احساس می‌کنید به کف آسانسور جذب می‌شـوید. آب درون سطل نیز همان احساس فرد داخل آسانسور را دارد. به بیان دیگر، این‌گونه نیست که نیروی عجیب و غریب و نامأنوسـی به نام گریز از مرکز باعث فشرده شدن آب به کف سطل شـود، بلکه می‌توان آب داخل سطل را ناظری در نظر گرفت که در ماشینی نشسته و ناگهان خودرو با سرعت زیاد شروع به حرکت می‌کند. نتیجهٔ این حرکت، فشرده شدن مسافر به صندلی ماشـین است (در حالی که واقعاً نیرویی او را به عقب هل نمی‌دهـد). تمام این موارد، مثال‌هایـی از قانون لختی و یا اینرسی محسوب می‌شوند.

بنابراین ملاحظه می‌کنید که به‌جـای به‌کارگیری نیرویی سـاختگی، تخیلـی و غیرعلمی، با همان ابـزار فیزیک گالیله و نیوتون، می‌توان به خوبی از پس توجیه پدیده‌های فیزیکی برآمد.

چالش- تصویر زیر که روی جلد یکی از شـماره‌های مجلهٔ معتبـر نیویورکر چاپ شـده چرخ و فلکـی را در بالاترین نقطهٔ مسـیرش نشان می‌دهد. آیا می‌توانید بگویید چه اشکالی در آن می‌بینید؟ (پاسخ خود را تشریح و تحلیل کنید)

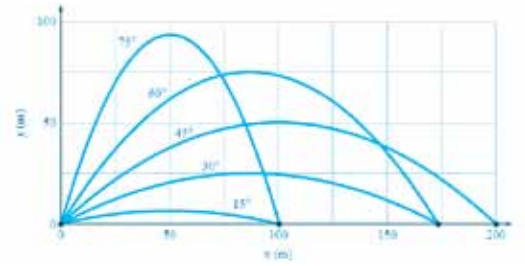


منابع
1.Richard Wolfson, Physics and Our Universe, 2011
2. Richard Feynman, Lectures on Physics, Addison Wesley, 1965
3. Ruth Chalby, Matter & Interactions, John Wiley & Sons, inc., 2001
4. Serway and Jeweet, Physics for Scientists and Engineers, 6th ed.

فیزیک درخانه

عالیه موسوی‌زاده
منطقه ۱۸ تهران

تجربه های آموزشی



برای نمایش ساده‌ای از لختی، یک سکه را روی یک کارت شناسایی یا اعتباری قرار دهید که روی یک لیوان نوشیدنی متوازن شده است. با شست و انگشت اشاره به کارت ضربه بزنید. در این صورت از زیر سکه به‌طور افقی به بیرون پرواز می‌کند. برای سکه چه اتفاقی می‌افتد؟ نیروی افقی وارد بر سکه در مقابل اصطکاک ناچیز است. با این نیروی افقی کوچک و قابل چشم‌پوشی، تا زمانی که کارت به‌صورت کامل از روی لیوان به بیرون پرواز کند، سکه در جای خود بی‌حرکت می‌ماند. وقتی که کارت رفته باشد. نیروی گرانی زمین سکه را به داخل لیوان می‌کشد.

در یک روز گرم شیلنگ آبیاری باغ را بردارید و نشانه‌گیری کنید که آب در زاویه‌ای بالای سطح افقی پاشیده شود. برای بهترین اثر، سر شیلنگ را طوری تنظیم کنید که جریان آب سریع و باریک باشد. وقتی آب از سر شیلنگ خارج می‌شود پرتابه‌ای می‌شود که فقط در معرض نیروی گرانی است (مقاومت هوا را نادیده بگیرید). جریان پیوستهٔ آب به ما اجازه می‌دهد به آسانی مسیر سهمی را ببینیم. در مکانی بایستید و تلاش کنید سر شیلنگ را در زاویه‌های مختلف از نظر بلندی نشانه بگیرید تا زاویه‌ای که برد بیشینه را به شما بدهد پیدا کنید. نقطه مخصوصی را روی زمین در نظر بگیرید (در فاصله‌ای کمتر از برد بیشینه) و مشاهده کنید که می‌توانید دو زاویه مختلف را پیدا کنید که به نقطه هدف برخورد می‌کند (شکل ۲۹. ۴)

یک ترازوی حمام را با خود به آسانسور ببرید. روی ترازوی داخل آسانسور بایستید و دکمه را برای یک طبقه بالاتر فشار بدهید. هنگامی که شتاب آسانسور رو به بالاست می‌توانید احساس کنید که وزن ظاهری افزایش یافته و می‌توانید این افزایش را با خواندن ترازو، ببینید. وقتی آسانسور سرعتش را برای ایستادن کاهش می‌دهد، شتاب آسانسور به سمت پایین و وزن ظاهری شما کمتر از وزن واقعی‌تان است.

در بدن شما چه اتفاقی می‌افتد وقتی آسانسور شتاب می‌گیرد؟ اصل لختی باعث می‌شود که خون و اندام‌های داخلی بدن شما نتوانند همان شتاب آسانسور را داشته باشند مگر اینکه نیروی خالص بر خود آن‌ها وارد شود. خون تمایل دارد وقتی شتاب رو به بالاست در اندام‌های پایینی جمع شود و در زمان شتاب رو به پایین در اندام‌های بالایی، تا زمانی که نیرویی که بدن به خون وارد می‌کند دوباره تنظیم شود و خون نیز شتابی به اندازه آسانسور پیدا کند. همچنین اعضای داوقتی شخصی صاف می‌ایستد گرانیگاه بدن او درست بالای نقطه‌ای بین پاها، تقریباً ۳ سانتی‌متر جلوی مفصل مچ پا قرار می‌گیرد. وقتی شخص خم می‌شود تا انگشت‌های پایش را لمس کند گرانیگاه بدن بیرون آن قرار می‌گیرد، توجه کنید که نیمهٔ پایین بدن باید عقب برود تا گرانیگاه بیرون انگشت‌های پا قرار نگیرد که شاید باعث شود فرد بیفتد.

یک آزمایش جالب برای نشان دادن اینکه وقتی گرانیگاه‌تان را تغییر می‌دهید تعادل‌تان چگونه تغییر می‌کند به این صورت است که مقابل دیوار بایستید طوری که پاشنه‌های پای شما با دیوار تماس پیدا کند و کمر (پشت) شما به دیوار فشار آورد. سپس با دقت سعی کنید خم شوید طوری که انگشت‌های پایتان را لمس کنید بدون اینکه زانوهایتان خم شود. آیا می‌توانید این کار را بدون افتادن انجام دهید؟ توضیح دهید.

شما می‌توانید با دمیدن افقی بر دهانهٔ یک بطری خالی باعث تشدید شوید. وقتی تشدید را شنیدید مقدار آب داخل بطری را تغییر دهید و تشدیدهای دیگر را بشنوید. صدای تشدید شده به‌طور قابل توجهی رساتر از صدای تشدید نشده‌اند. توجه کنید هرچه طول ستون هوای داخل بطری بیشتر باشد ارتفاع صدای شنیده شده کمتر است.

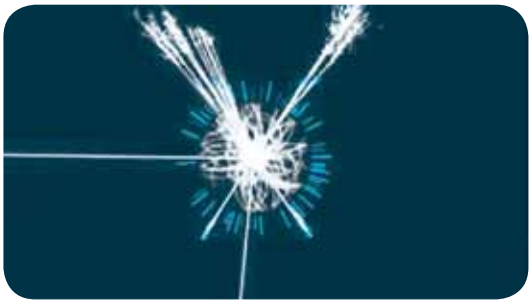
کشی را روی جلوی لبتان بگیرید، باید حس کنید که خنک است. حالا کش را بگیرید و با سرعت چندین بار به عقب و جلو بکشید. ناحیه کشیده شده را جلوی لبتان بگیرید. آیا احساس گرمی می‌کنید؟ دمای کش افزایش یافته است زیرا چون برای کشیدن آن کار انجام دادید انرژی داخلی آن زیاد شده است. کشیدن سریع تقریباً بی دررو است- کشیدن سریع زمان کمی را برای جریان گرما به خارج در اختیار کش قرار می‌دهد.

مرزهای فیزیک

تازه‌ترین اخبار پژوهشی

منیژه رهبر

آیا «پیدایش هیگز، می‌تواند مادهٔ تاریک را توجیه کند؟



شبیه‌سازی تولید هیگز در ATLAS

(Phys.org) – بوزون تازه کشف شدهٔ هیگز به خاطر نقش مهم آن در توجیه جرم ذرات معروف است. اما اکنون فیزیک‌دانان به این فکر افتاده‌اند که آیا هیگز می‌تواند همین نقش مهم را در تولید مادهٔ تاریک و مادهٔ باریونی در عالم اولیه و همین‌طور به‌وجود آمدن عدم تقارن مادهٔ تاریک فرضی و عدم تقارن باریونی بین ذرات ماده و پادماده داشته باشد.

در یک مقالهٔ جدید در *فیزیکال ریویولترز*[1] جرالدین سرونت[2] و شون تولین[3] این سناریو را «پیدایش هیگز»[4] نامیده‌اند.

سرونت می‌گوید «با کشف هیگز قطعهٔ نهایی مدل استاندارد ذرات بنیادی در جای خود قرار گرفت. اکنون این پرسش منطقی مطرح می‌شود که آیا بوزون هیگز در عالم اولیه آن‌قدر اهمیت داشته است که بتواند دو معمای رصدی منشأ مادهٔ تاریک و عدم تقارن ماده- پادماده را توجیه کند که مدل استاندارد از بیان آن ناتوان است؟ در لحظات اولیهٔ عالم، ذرهٔ هیگز متمایز از پادذرهٔ آن بود. ما نشان می‌دهیم که شاید عدم‌تقارن بین هیگز- پادهیگز حلقهٔ مفقودی باشد که چگالی‌های مادهٔ مرئی و تاریک را که به لحاظ رصدی کاملاً یکسان‌اند به هم ربط دهد.»

این هیگز می‌تواند به یکی از دو طریق حلقهٔ مفقود را در اختیار بگذارد. یک امکان آن است که اگر عدم تقارن مادهٔ تاریک در عالم اولیه وجود می‌داشت، می‌توانست به عدم تقارن بین هیگز- پادهیگز تبدیل شود که سپس به عدم‌تقارن ماده- پادماده منتقل می‌شد. امکان دیگر وقوع این رویداد در جهت عکس است که در آن عدم تقارن باریون ابتدا به عدم تقارن هیگز تبدیل و سپس به عدم تقارن مادهٔ تاریک منتقل شده باشد.

در هر دو مورد هیگز «معبری» در اختیار می‌گذارد که این عدم تقارن‌ها بتوانند در آن از بخش تاریک به بخش مرئی یا برعکس جریان پیدا کنند. در این سناریوها، مادهٔ تاریک درست مثل مادهٔ باریونی دارای عدم تقارن است. این فیزیک‌دانان دو فرمیون جدید را مطرح کرده‌اند که با جفت شدن به بوزون هیگز می‌توانند عدم تقارن را منتقل کرده باشند.

تولین می‌گوید «سازوکار ما مبتنی بر وجود یک برهم‌کنش بین میدان هیگز و بخش تاریک است. که فرض طبیعی در بسیاری از تعمیم‌های مدل استاندارد ذرات بنیادی را تشکیل می‌دهد. نوآوری کار ما بررسی نقش هیگز در انتقال عدم تقارن‌های بین بخش تاریک و مرئی است. این کار فرصت‌های تازه‌ای را برای پیدایش باریون‌ها و تولید مادهٔ تاریک در اختیار می‌گذارد.»

در واقع، پژوهش‌های قبلی نشان داده‌اند که شاید بوزون هیگز در پیدایش باریونی الکترو ضعیف و تولید لپتون‌ها نقش داشته باشد که هر دوی آن‌ها می‌توانند عدم تقارن‌های موجود در عالم اولیه را توجیه کنند.

آزمایش‌های بیشتر می‌توانند این فرض‌ها را بررسی کنند. به‌عنوان مثال، فیزیک‌دانان می‌توانند واپاشی‌های هیگز را در برخورددهندهٔ بزرگ هادرونی (LHC) بررسی کنند. شاید در این واپاشی‌ها فرمیون‌های پیشنهادی فراری از محیط به صورت انرژی مفقود آشکارسازی شوند.

سرونت می‌گوید «برای موفقیت این نظریه باید ذرات جدیدی وجود داشته باشند که از طریق نیروی ضعیف برهم‌کنش کنند. در واقع، ذرات جدید دارای برهم‌کنش ضعیف منحصر به پیدایش هیگز نیستند بلکه بخشی از بسیاری از مدل‌های فیزیکی جدیدند که LHC فعالانه در جست‌وجوی آن‌هاست. پیش‌بینی دیگر آن است که بوزون هیگز می‌تواند به ذرات مادهٔ تاریک نامرئی واپاشیده شود که LHC در پی نشانهٔ آن نیز هست».

برای اطلاعات بیشتر رجوع رجوع کنید به:

Geraldin Servant and Sean Tulin. "Baryogenesis and Dark Matter through a Higgs Asymmetry" PRL III, IS1601(2013). DOI: 10.1103/phyRevlett.
III.I5I GOL

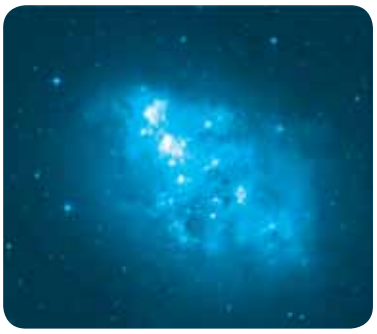
پی‌نوشت‌ها

1. Physical Review reHers
2. Geraldin Servant
3. Sean Tulin
4. Higgsogensis

دورترین کهکشان عالم کشف شد

تصویر نقشه‌برداری CANDLES تلسکوپ فضایی هابل، دورترین کهکشان عالم را با فاصلهٔ اندازه‌گیری شدهٔ GND-۲۸-۵۲۴۶ مشخص می‌کند. رنگ سرخ کهکشان اخترشناسان را متوجه ساخت که کهکشان به احتمال زیاد بسیار دور است و در نتیجه در زمان اندکی پس از مهبانگ مشاهده می‌شود. گروهی از اخترشناسان شامل استیون فینکلشتاین[1] از دانشگاه تکزاس در آستین و ویتال تیلوی[2] از دانشگاه A&M تکزاس با استفاده از تلکسوپ Keckl و طیف‌نگار جدید MOSFIRE فاصلهٔ دقیق آن را اندازه گرفتند. آن‌ها دریافتند که این کهکشان در زمان حدود ۷۰۰ میلیون سال پس از مهبانگ دیده می‌شود، یعنی زمانی که سن عالم در حدود ۵ درصد فعلیِ ۱۳/۸ میلیارد سال بوده است.

شاید دانشگاه A&M تگزاس و دانشگاه تگزاس در آستین قبلاً در فوتبال رقیب یکدیگر بودند. اما این دو با تشکیل دو گروه پژوهشی با روش تأیید شده با طیف‌نمایی دورترین کهکشان عالم را کشف کردند که ۷۰۰ میلیون سال پس از مهبانگ تشکیل شده است.



این یک تصویر هنرمندانه از کهکشان تازه کشف‌شدهٔ GND-۲۸-۵۲۴۶ است. (کهکشان در تصویر تلسکوپ فضایی هابل سرخ به‌نظر می‌رسد زیرا نور آبی گردآوری شده به علت انبساط عالم و فاصلهٔ زیاد آن از زمین به طرف رنگ‌های سرخ‌تر منتقل شده است.)

نتیجهٔ این پژوهش در جدیدترین شمارهٔ مجلهٔ نیچر[3] منتشر شده است. *ویتال تیلوی* یکی از نویسندگان این مقاله می‌گوید «این موضوع پرسش‌های تازه‌ای را در مورد منشأ و تحول عالم مطرح می‌کند». استیون فینکلشتاین مؤلف اصلی مقاله است و ده مؤسسه دیگر از سراسر جهان در آن شرکت داشته‌اند.

این کهکشان که GND-۲۸-۵۲۴۶ نامیده می‌شود پژوهشگران را مجذوب کرده است. در حالی که کهکشان راه شیری ما در هر سال حدود یک یا دو ستارهٔ خورشید مانند به‌وجود می‌آورد، کهکشان تازه کشف شده هر سال حدود ۳۰۰ ستاره تشکیل می‌دهد و در زمان حدود ۱۳ میلیارد سال قبل مشاهده می‌شود. این زمانی است که طول می‌کشد تا نور کهکشان به زمین برسد. چقدر این موضوع حیرت‌انگیز است؟ هر سالِ نوری، که مسافتی است که نور در یک سال طی می‌کند، تقریباً شش تریلیون مایل است. چون عالم همواره در حال انبساط بوده است، اخترشناسان برآورد می‌کنند که فاصلهٔ فعلی کهکشان از ما تقریباً ۳۰ میلیارد سال باشد. به‌خاطر فاصلهٔ آن می‌توانیم نگاهی به شرایط عالم در هنگامی بیندازیم که سن آن فقط ۷۰۰ میلیون سال یعنی فقط ۵ درصد سن فعلی آن بوده است. فاصلهٔ کهکشان با اندازه‌گیری خط مربوط به گذار آلفای لیمان مربوط به عنصر هیدروژن اندازه‌گیری شده است که به‌طور واضح از کهکشان‌های دوردست گسیل می‌شود. این خط تقریباً از تمام کهکشان‌هایی گسیل می‌شود که در زمان پس از یک میلیارد سال پس از مهبانگ مشاهده می‌شوند، اما در زمان‌های پیش از آن، مشاهدهٔ این خط گسیلی از هیدروژن به دلایلی دشوار می‌شود.

فینکلشتاین می‌گوید «از مشاهدهٔ این کهکشان هیجان‌زده شدیم و سپس به این فکر افتادیم که چرا چیز دیگری را ندیدیم؟ ما از بهترین وسیله موجود روی بهترین تلسکوپ و بهترین نمونهٔ کهکشان استفاده می‌کنیم. بهترین شرایط هوا را داشتیم شرایط محشر بود. و هنوز فقط این خط گسیلی را از یکی از ۴۳ نمونه کهکشان رصد شده مشاهده کردیم در حالی که انتظار حدود شش تا از آن‌ها را داشتیم. چه اتفاقی افتاده بود؟»

پژوهشگران حدس می‌زنند که به دورانی نشانه رفته باشند که عالم در گذار از حالت مات با هیدروژن عمدتاً خنثی به حالت شفاف با هیدروژن عمدتاً یونیده بوده است. بنابراین به معنای آن نیست که الزاماً کهکشان دوردست دیگری در آنجا نیست. بلکه شاید این کهکشان‌ها در پشت دیواری از مِه‌هیدروژن خنثی، که جلوی سیگنال گسیلی را می‌گیرد، پنهان شده باشند».

تیلوی می‌گوید که این یکی از تغییرات بنیادی مهم عالم از زمان آغاز آن است.

- تغییر دیگر گذار از حالت پلاسما به حالت خنثی است. پژوهشگران به‌دنبال نوشتن مقاله‌ای دیگر هستند که در آن با استفاده از تحلیل آماری دقیق‌تر این گذار را بیشتر کنند.

تیلوی می‌گوید «از آن زمان همه چیز تغییر کرده است. اگر اکنون هیدروژن در همه‌جا خنثی بود، آسمان شب تا این اندازه زیبا نمی‌شد. آنچه روی آن کار می‌کنم این است که این اتفاق در کجا و چگونه رخ داده است و آیا این گذار ناگهانی بوده است یا تدریجی؟»

مقاله منتشر شده در ***نیچر*** نتیجهٔ گردآوری داده‌های خام از تصویرگیری توانمند تلسکوپ فضایی هابل از کهکشان‌های دوردست موسوم به CANDLES، یا نقشه‌برداری از ما ترک پرتوهای کیهانی فراکهکشانی عمیق در فروسرخ نزدیک[4]، است. با استفاده از این داده‌ها، ۴۳ کهکشان بالقوهٔ دوردست در اختیار این گروه قرار گرفت و آن‌ها شروع به تعیین فاصلهٔ آن‌ها کردند.

در یک شب صاف در ماه آوریل، گروه در اتاق کنترل رصدخانهٔ keck در قلهٔ کوه آتشفشان خاموش موناکئی[5] در هاوایی نشستند؛ جایی که دو دستگاه از بزرگ‌ترین تلسکوپ‌های جهان در ناحیهٔ اپتیکی و فروسرخ در آن قرار دارند. این دو تلسکوپ هر یک به ارتفاع یک ساختمان هشت طبقه، با وزن ۳۰۰ تن، و مجهز به آینه‌هایی به عرض ۱۰ متر هستند.

آن‌ها طی دو شب رصد در رصدخانهٔ keck فقط یک کهکشان را آشکار ساختند که معلوم شد دورترین کهکشان تأیید شده است. انتقال به سرخ آن ۷/۵۱ بود و این یعنی ۱۳ میلیارد سال پیش تشکیل شده است. چون عالم در حال انبساط است، فاصلهٔ بین کهکشان‌ها نیز افزایش می‌یابد. اجسام با دور شدن از هم سرخ‌تر می‌شوند. اصولاً: هرچه انتقال به سرخ بیشتر باشد، جسم دورتر است. فقط پنج کهکشان تأیید شدهٔ دیگر داریم که دارای انتقال به سرخ بیش از ۷ هستند و بزرگ‌ترین انتقال به سرخ قبلی ۷/۲۱۵ بوده است.

فینکلشتاین، کاوش عمیق‌تر فضا و نزدیک شدن به مهبانگ را نتیجهٔ پیشرفت‌های فناوری در سال‌های اخیر می‌داند. به‌عنوان مثال، یک طیف‌سنج توانمند جدید موسوم به MOSFIRE (طیف‌سنج چند جسمی برای اکتشاف‌های فروسرخ[6]) دارای حساسیت به نور ۲۵ بار بیشتر از دیگر انواع آن در سال ۲۰۱۲ در keck نصب شده است. و فضانوردان سرنشین شاتل فضایی در سال ۲۰۰۹ یک دوربین فروسرخ نزدیک را در تلسکوپ فضایی هابل نصب کردند تا فاصله‌های بیشتر عالم را ببینند.

این کار نتیجهٔ همکاری‌های پژوهشی دو دانشگاه در زمینهٔ تحول کیهانی است که شاید بزرگ‌ترین و مهم‌ترین همکاری آن‌ها مربوط به تلسکوپ عظیم ماژلان باشد که پس از تکمیل در سال ۲۰۲۰ تصاویری ۱۰بار شفاف‌تر از تلسکوپ فضایی هابل تولید خواهد کرد که به اخترشناسان امکان مشاهدهٔ زمان‌های اولیهٔ تشکیل عالم را خواهد داد. تلسکوپ عظیم ماژلان پژوهش‌های اخترشناسی را متحول خواهد ساخت. توان گردآوری نور آن پنج برابر تلسکوپ‌های کنونی است و اندازه‌گیری‌ها را بسیار آسان‌تر خواهد ساخت. این تلسکوپ باعث می‌شود که با شرایط اولیهٔ عالم آشنا شویم.

برای اطلاعات بیشتر مراجعه کنید به:

Paper:dx-doi:org/10.1038/nature 12657
http://Phys.org/news/2013-10- Universe-distant-galaxy.html

نزدیک شدن بسیار به انرژی همجوشی

این تصویر تقویت‌کننده‌های اولیه وسیلهٔ اشتعال ملی را نشان می‌دهد. لیزرها روی هم‌رفته ۱/۸ مگاژول انرژی و ۵۰۰ تراوات توان تولید می‌کنند که ۱۰۰۰ برابر مصرف انرژی ایالات متحده در هر دقیقه است.

رویای مشتعل ساختن یک واکنش همجوشی خودنگهدار با تولید انرژی زیاد که مانند به‌وجود آوردن ستاره‌ای مینیاتوری در روی زمین است، طبق نظر نویسندگان یک مقالهٔ مروری، در مجلهٔ *فیزیکز اوپلاسما*، به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود.

پژوهشگران وسیلهٔ اشتعال ملی[1] (NIF) که درگیر طرح مشترک به رهبری آزمایشگاه ملی لاورنس لیوَرمور وزارت انرژی هستند گزارش می‌دهند در حالی‌که از زمان شروع آزمایش‌های لازم برای رسیدن به این هدف در سال ۲۰۱۰ به بسیاری از چالش‌های موجود غلبه کرده‌اند، اما برای رسیدن به انفجار به درون پایدار در جهت دقیق هنوز باید دست‌کم یک مانع را از پیش‌رو بردارند.

این طرح یک تلاش چند مؤسسه‌ای شامل آزمایشگاه لیزر انرژتیک دانشگاه راچستر، جنرال اتمیکز آزمایشگاه ملی لوس‌آلاموس، آزمایشگاه ملی سندیا، وانستیوی فناوری ماساچوست است.

برای رسیدن به اشتعال که در آن واکنش همجوشی انرژی بیشتری از مقدار لازم برای شروع آن تولید می‌کند، NIF تعداد ۱۹۲ باریکهٔ لیزرتپ‌های یک میلیاردیم ثانیه‌ای را روی یک استوانه تو خالی به اندازهٔ مدادپاک‌کن متمرکز می‌کنند که به‌صورت زمزاییک خنک شده است. در این استوانهٔ تو خالی، کپسولی به اندازهٔ بلبرینگ حاوی دو ایزوتوپ دوتریم و تریتیم (D-T) هیدروژن وجود دارد. این لیزرها با تحویل ۱/۸ مگاژول انرژی و ۵۰۰ تراوات توان- ۱۰۰۰ برابر مصرف ایالات متحده در هر دقیقه- به استوانهٔ تو خالی، یک «تنورپرتوx» به‌وجود می‌آورند که کپسول D-T را به دماها و فشارهایی می‌رساند که در مرکز خورشید وجود دارد.

جان ادواردز[2] یکی از مجریان این طرح می‌گوید «آنچه می‌خواهیم انجام دهیم استفاده از پرتوهای x برای پرتاب لایهٔ خارجی کپسول به‌صورت کنترل شده است، به‌طوری که ساچمهٔ D-T متراکم شود و شرایط لازم برای آغاز واکنش همجوشی به‌وجود آید. ما در مقالهٔ مروری خود گزارش می‌دهیم که به

پی‌نوشت‌ها
1. Steven Finkelstein
2. Vithal Tilvi
3. Nature
4. Cosmic Assembly Near- In Frared Deep Extragalatic Legacy Survey
5. Mauna Kea
6. Multi- object spectrometer for infrared Exploration

بسیاری از شرایط لازم برای دستیابی به اشتعال- مانند شدت پرتو x لازم در استوانه، تحویل دقیق انرژی و رسیدن به سطوح متراکم مطلوب- دسته یافته‌ایم- اما هنوز باید دست‌کم بر یک معضل اساسی غلبه کنیم که متلاشی شدن پیش از موقع کپسول است».

ادواردز و همکارانش در این مقاله دربارهٔ ابزارهای خطایاب توسعه یافته در NIF برای یافتن علل احتمالی این مسئله بحث می‌کنند. او می‌گوید «در برخی آزمون‌های اشتعال پراکندگی نوترون‌های آزاد شده را اندازه گرفتیم و شدت‌های مختلفی را برای سیگنال در نقاط مختلف اطراف کپسول D-T به‌دست آوردیم که نشان می‌داد پوستهٔ سطح کپسول در همه‌جا یکنواخت نیست و در برخی نقاط نازک‌تر و ضعیف‌تر از نقاط دیگر است. در آزمون‌های دیگر طیف پرتوهای x گسیل شده نشان می‌داد که سوخت D-T و کپسول به واسطهٔ ناپایداری هیدرودینامیک بسیار مخلوط شده‌اند و این کار باعث فرونشانی فرآیند اشتعال شده است».

ادواردز می‌گوید «گروه تلاش‌های خود در HIF را روی سرشت دقیق ناپایداری‌ها متمرکز کرده است و از معلومات به‌دست آمده در جهت طراحی یک کپسول بهتر و محکم‌تر استفاده می‌کند. دست یافتن به این هدف باید راه را برای پیشرفت‌های بیشتر به طرف اشتعال در آزمایشگاه هموار کند».

برای اطلاعات بیشتر رجوع کنید به:

"Progress toward ignition on the National Ignition Faclity" by M.J. Edwards et al appeared in the Journal Physics of plasmas: dx.doi.org/10.1063/1.4816115

پی‌نوشت

1. National Ignition Faclity

ماده‌ای جدید برای رایانه‌های کوانتومی

لایهٔ نازک فتالوسیانین روی بستر پلاستیک انعطاف‌پذیر که همزیستی طولانی مدت کوبیت‌های «۰» و «۱» روی اسپین مس را نشان می‌دهد. مولکول‌ها همراه با مشابه‌های بدون فلز خود آرایهٔ منظمی را تشکیل می‌دهند و زمینه رشته‌های شبکهٔ بلورهای مولکولی است که با میکروسکوپ الکترونی تراگسیلی گرفته شده است.

یک مقالهٔ منتشر شده در نیچر[1] نشان می‌دهد که یک رنگدانهٔ آبی معمولی مورد استفاده در اسکناس‌های ۵ پوندی می‌تواند نقش مهمی در توسعهٔ رایانهٔ کوانتومی داشته باشد.

رنگدانهٔ فتالوسیانین مس (CuPc)، مشابه بخش جذب‌کنندهٔ نور مولکول کلروفیل، یک نیمرسانای آلی ارزان‌قیمت است که می‌توان آن را در بسیاری از محصولات خانگی یافت. اساساً، می‌توان آن را به‌صورت لایهٔ نازک درآورد و در ساخت وسایل مورد استفاده قرار داد که نسبت به سایر موادی که قبلاً بررسی شده است امتیازی مهم محسوب می‌شود.

اکنون، پژوهشگران مرکز نانو فناوری لندن در UCL و دانشگاه بریتیش کلمبیا نشان داده‌اند که الکترون‌های CuPc **می‌توانند در حالت «برهم‌کنش» باقی بمانند**- یک اثر ذاتاً کوانتومی که در آن الکترون‌ها برای مدت‌های بسیار طولانی هم‌زمان در دو حالت وجود دارند- که نشان می‌دهد این مولکول رنگ ساده می‌تواند بالقوه محیطی برای فناوری‌های کوانتومی باشد.

توسعهٔ رایانه‌های کوانتومی به کنترل دقیق تک‌تک «کوبیت‌ها»ی ریز، مشابه کوانتومی بیت‌های دوتایی «۰» و «۱» کلاسیک نیاز دارد که زیربنای تمام فناوری‌های ارتباطی و محاسباتی امروزی است. آنچه «کوبیت‌ها» را از بیت‌های کلاسیک متمایز می‌سازد توانایی آن‌ها برای حضور در حالت‌های برهم‌نهشی است.

زمان واپاشی این برهم‌نهش‌ها نشان می‌دهد که چقدر می‌توان آن‌ها را برای فناوری‌های کوانتومی کاندیدایی مفید در نظر گرفت. اگر این زمان طولانی باشد، ذخیره‌سازی داده‌های کوانتومی، کار با آن‌ها و انتقال‌شان امکان‌پذیر می‌شود.

مارک وارنر[2] مؤلف اصلی این مقاله می‌گوید «به لحاظ نظری، رایانهٔ کوانتومی می‌تواند مسائلی را به‌راحتی حل کند که یک رایانهٔ کلاسیک معمولی نمی‌تواند در طول عمر عالم به آن پاسخ دهد. پژوهش ما نشان می‌دهد که یک رنگ آبی معمولی دارای توان بالقوهٔ بسیار بیشتر از مولکول‌های عجیبی است که قبلاً در نظر گرفته شده‌اند».

CuPc ویژگی مهم دیگری را نیز دارد که می‌تواند برای ذخیره‌سازی و پردازش اطلاعات به‌جای بار الکترون‌ها از اسپین آن‌ها استفاده کند که در فناوری کوانتومی متداول‌تر بسیار مطلوب است. به‌عنوان مثال، رنگدانه نور مرئی را به‌شدت جذب می‌کند و شناسایی شیمیایی و فیزیکی آن راحت است، بنابراین ویژگی‌های مغناطیسی و الکتریکی آن را می‌توان کنترل کرد.

دکتر وارنر اضافه می‌کند که «ویژگی‌های فتالوسیانین مس آن را برای رشتهٔ جدید مهندسی کوانتومی، که می‌خواهد از ویژگی‌های کوانتومی ماده برای انجام کارهایی چون داده‌پردازی یا حس کردن، بسیار مؤثرتر از آنچه تاکنون امکان‌پذیر بوده است، استفاده کند جالب توجه می‌سازد.

برای اطلاعات بیشتر رجوع کنید به:

"Potential for Spin- Based Processing in Metalo- organic Semiconductors" DOI:10.1038/nature 12547.

پی‌نوشت‌ها

1. Nature
2. Marc Warner

مسئلهٔ نردبانِ متکی به دیوار

یهودا سالو
ترجمهٔ احمد توحیدی

مسـئلهٔ نردبانِ متکی به دیوار* همواره در فیزیک مقدماتی مورد توجه بوده اسـت. کتاب‌های درسی و مجله‌های بی‌شماری آن را بررسـی کرده‌اند. اکنون، حتی مسـئله «نردبان متکی به دیوار» در اینترنت جزء مسائلِ ارسـالی دانش‌آموزان برای حل، دیده می‌شود. ارزیابی سریع مسائل ارسالی نشان می‌دهد که همهٔ آن‌ها دیوار را بدون داشـتن اصطکاک مورد بحـث قرار داده‌اند. این وضعیت در بیشتر کتاب‌های درسی نیز دیده می‌شود. شاید افرادی فکر کنند که اصطکاک نردبان با دیوار همواره ناچیز و یا بررسی آن به حدی مشکل است که باید از حوزهٔ فیزیک مقدماتی کنار گذاشـته شـود. اما، واقعیت این است که ضریب اصطکاک نردبـان با دیوار اختلاف چنـدان زیادی با ضریب اصطکاک کف اتاق ندارد، و اصطکاک با دیوار بخش مهمی از شـرایطِ ایستایی یک نردبان اسـت. در این مقاله رابطهٔ ساده‌ای را بین ضریب‌های اصطکاک نردبان با کف اتاق (μ_1) و با دیوار (μ_2) وقتی نردبان در تعادل ایسـتایی است به دست می‌آوریم. در شکل (۱) نیروهایی که روی نردبانِ متکی به دیوار اثر می‌کنند نشان داده شده است.

نیرویِ معلومِ وزن دسـتگاه نردبـان W (وزن نردبان و وزن شخص بالارونده) است. این وزن به گرانیگاه دستگاه وارد می‌شود. طـول نردبان L، و گرانیگاه به فاصلـهٔ d از پایِ نردبان قرار دارد. چهار نیروی واکنشی روی نردبان اثر می‌کنند: N_1 و N_2 بر کف اتاق و بر دیوار عمودند و T_1 و T_2 به ترتیب نیروهای مماسی‌اند. معادله‌های تعادل ایستایی عبارت‌اند از: $\Sigma F_x = 0$، $\Sigma F_y = 0$، $\Sigma \tau = 0$ کـه F_x و F_y مؤلفه‌های نیروهای وارد بر نردبان و گشـتاور نیروهای آن‌هاست. با به کار بردن معادله‌های تعادل ایستایی روی نردبان خواهیم داشت:

$$T_1 = N_2 \qquad (1)$$

$$W - T_2 + N_1 = 0 \qquad (2)$$

برای تعیین گشتاورنیروها، نقطهٔ تماسِ نردبان با کف اتاق را به عنـوان محوری که حول آن حاصل‌ضرب هر نیرو در بازویش محاسبه می‌شود. مجموع گشتاور نیروها برابر است با:

$$N_2 L\sin\alpha - T_2 L\cos\alpha + W.d\cos\alpha = 0$$

پس از تقسیم عبارت بالابر $L\cos\alpha$ داریم:

$$-N_2\tan\alpha + T_2 - \frac{W d}{L} = 0 \qquad (3)$$

معادله‌های مربوط به نیروهای واکنشی عبارت‌اند از:

$$0 \le f_1 \le \mu_1 N_1 \qquad (4)$$

$$0 \le f_2 \le \mu_2 N_2 \qquad (5)$$

که در آن μ_1 و μ_2 ضرایب اصطکاک‌اند.

$$0 \le T_1 \qquad (6)$$

$$0 \le T_2 \qquad (7)$$

برای دستگاه داده شده، معادله‌های (۱) تا (۳) مجموعهٔ سه رابطه‌اند، و با استفاده از آن‌ها می‌توان جواب‌های یگانهٔ مسائلی را که دارای سـه مجهول‌اند به دست آورد. اگر همهٔ چهار نیروهای واکنشی مجهول باشند، دستگاه جواب‌های معینی نخواهد داشت. یک روش برای تعییـن جواب معادله‌ها افزودن نکته‌های جزئی فیزیکی، مانند ویژگی‌های کششـی نردبان است که بر نیروهای وارد بر نردبان تأثیر می‌گذارند و سبب پیچیدگی مسئله خواهند شد. برای این‌که معادله جواب معینی داشته باشند و در عین حال سادگی آن‌ها هم حفظ شود، معمولاً معادلهٔ چهارم $T_2 = 0$ (نردبان با دیوار اصطکاک ندارد) را نیز اضافه می‌کنند. با این شرط جواب معادله‌های (۱) تا (۳) برابر است با:

$$f_1 = \frac{W}{2\cot\alpha} \quad \text{و} \quad N_1 = \frac{W}{2} \quad \text{و} \quad T_2 = \frac{W}{2\cot\alpha} \quad \text{و} \quad T_1 = N_2$$

وقتـی که دیـوار بدون اصطکاک باشـد ، گسـترهٔ ضریب اصطکاک ایمنی میان نردبان و کف اتاق با قرار دادن N_1 و T_2 از معادلهٔ (۸) در معادله (۴) به دست می‌آید.

$$\mu_1 \ge \frac{1}{2\cot\alpha} \qquad (9)$$

در ادامهٔ مقاله، رابطهٔ ساده‌ای را میان ضریب‌های اصطکاکِ نردبان با کف اتاق و و با دیوار برای یک نردبان ایسـتا به دسـت می‌آوریم. این رابطه تنها به کشسانی نردبان بستگی دارد.

برای بررسـی اثرهای اصطکاکِ دیوار، نامسـاوی‌های (۴) تا (۷) باید با معادله‌های تعادل ایستایی (۱) تا (۳) ترکیب شوند. با ثابت نگه داشتن T_2 شروع می‌کنیم. جواب‌های معادله‌های (۱) تا (۳) برابر است با:

$$W - T_2 = N_1 \qquad (10)$$

$$ح_۲ = \frac{(ر_۲ - \frac{ع}{چ}س)}{کتم\ \alpha} \quad (۱۱)$$

$$ر_۲ = \frac{(ر_۲ - \frac{ع}{چ}س)}{کتم\ \alpha} \quad (۱۲)$$

از معادله‌های (۵) و (۱۱) داریم:

$$ر_۲ \le \mu_۲ \frac{(ر_۲ - \frac{ع}{چ}س)}{کتم\ \alpha}$$

پس از مرتب کردن

$$ر_۲ \le \frac{ع.\mu_۲}{چ(کتم\ \alpha + \mu_۲)}ذ \quad (۱۳)$$

و از معادله‌های (۱۲) و (۱۳)

$$ر_۱ = \frac{۱}{کتم\ \alpha}ذ \ge (ر_۲ - \frac{ع}{چ}س)(۱ - \frac{\mu_۲}{کتم\ \alpha + \mu_۲}) = \frac{ع}{چ(کتم\ \alpha + \mu_۲)}س \quad (۱۴)$$

و از معادله‌های (۴) و (۱۴)

$$\mu_۱ ح_۱ \ge ر_۱ \ge \frac{ع}{چ(کتم\ \alpha + \mu_۲)}س$$

و با استفاده از معادله‌های (۱۰) و (۱۳) داریم:

$$\mu_۱ \ge \frac{ع}{چ(\mu_۲(۱ - \frac{ع}{چ}) + کتم\ \alpha)} \quad (۱۵)$$

معادلهٔ (۱۵) رابطهٔ کلی میان عوامل یک نردبان ایستا است. مقایسهٔ رابطهٔ (۱۵) با رابطهٔ (۹) نشان می‌دهد که چگونه با افزایش $\mu_۲$ (ضریب اصطکاک بین دیوار و نردبان)، $\mu_۱$ (ضریب اصطکاک بین کف اتاق و نردبان) کاهش می‌یابد.

اگر α، زاویهٔ نردبانِ ایستا و کف اتاق، به تدریج کم شود، به نقطه‌ای می‌رسیم که نردبان شروع به لغزش می‌کند. به ازای این زاویه دست کم یکی از نیروهای اصطکاک کمتر از نیروی مماسیِ لازم است یعنی $\mu_۱N_۱<T_۱$ و یا $\mu_۲N_۲<T_۲$ برای هر وضعیت نردبان (با L، d و α معلوم)، با ثابت نگه داشتن یکی از ضریب‌های اصطکاک ($\mu_۱$ یا $\mu_۲$) کم‌ترین ضریب اصطکاک دیگر با این زاویه تعیین می‌شود. رابطه (۱۵) با علامت مساوی، رابطهٔ میان دو ضریب اصطکاک را تعیین می‌کند.

اگر $\mu_۲=۰$ ، رابطهٔ (۱۵) تبدیل به رابطهٔ (۹) می‌شود که باید چنین باشد.

اگر $\mu_۱=۰$، بنابراین $\alpha=۹۰^\circ$ یا $\mu_۲=\infty$ می‌شود که باید چنین شود. این وضعیت بدان معنا است که نردبان متکی به دیوار بدون داشتن اصطکاک با کفِ اتاق نمی‌تواند تنها با داشتن اصطکاک با دیوار ایستا باشد. اگر گرانیگاه دستگاه در وسط آن قرار داشته باشد $\frac{ع}{چ}=۰/۵$ و رابطهٔ (۱۵) برابر خواهد شد با:

$$\mu_۱ \ge \frac{۱}{\mu_۲ + ۲\ کتم\ \alpha} \quad (۱۶)$$

مثال‌ها: گرانیگاه نردبانی که با کف اتاق زاویه ۴۵° می‌سازد در وسط آن قرار دارد. ضریب اصطکاک نردبان با کف اتاق ۰/۳ است.

الف. اگر نردبان با دیوار اصطکاکی نداشته باشد، آیا در حالت ایستا باقی می‌ماند؟

پاسخ: براساس رابطهٔ (۱۶)، کوچک‌ترین ضریب اصطکاک لازم برابر است با:

$$\mu_۱ = \frac{۱}{۲} = ۰/۵$$

که مقدار آن بیشتر از ۰/۳ است. بنابراین، نردبان در حالت ایستا نمی‌ماند.

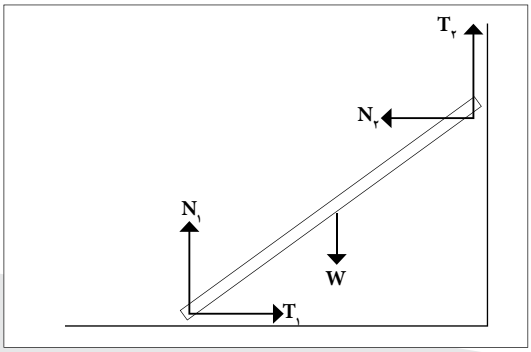
ب. کوچک‌ترین مقدار ضریب اصطکاک با دیوار که باعث ایستایی نردبان می‌شود چقدر است؟

پاسخ: براساس رابطهٔ (۱۵)،

$$۰/۳ \ge \frac{۱}{\mu_۲ + ۲}$$

$\mu_۲$ =۱/۳۳ به دست می‌آید.

معلمان فیزیک همیشه در پی یافتن مسائلی هستند که «بیشتر فکری باشند تا حفظی». با در نظر گرفتن اصطکاک نردبان با دیوار به جنبهٔ حفظی مسئله چیزی اضافه نشده است - همه حاصلِ کارهایِ اضافی در راستای تفکر محض بوده است - به وسیلهٔ اطلاعات موجود در نامساوی‌ها. اما، افزودن مبحثی به برنامهٔ آموزشی به بهینه‌سازی و ضرورت آن بستگی دارد. معلمانی که احساس می‌کنند طرح بحث کاملِ نردبان ضرورتی ندارد می‌توانند آن را به صورت یک مسئله تعیین کنند، یا فقط رابطه‌های (۱۵) و (۱۶) را به خاطر ایجاد برداشت‌های صحیح ذکر کنند.



پی‌نوشت

* Revisiting the Ladder on a wall problem Yehuda Salu

منبع

The Physics Teacher , VOL. 49, May 2011.

کاربرد فلسفهٔ علم در آزمایشگاه فیزیک:
بررسی یک آزمایش ساده در فیزیک

سیدهدایت سجادی
دکترای فلسفهٔ علم و فناوری، مدرس مدعو در دانشگاه شهید رجایی تهران
hedayatsajadi@gmail.com

فلسفهٔ علم

مقدمه

مؤلفه‌های اصلی یک فعالیت آزمایشگاهی از این قرارند: اهداف آزمایش، مبانی نظری، روش انجام آزمایش، مشاهده و اندازه‌گیری، تحلیل داده‌ها، و فرایند نتیجه‌گیری. فرایند استنتاج خود بر زمینه‌های علم‌شناسی فلسفی خاصی بنا نهاده شده است. علاوه بر این، اگر آزمایش‌های فیزیکی خاص با رویکردی فلسفی- علمی مورد تحلیل قرار بگیرند، زمینهٔ فلسفی آن‌ها بیشتر نمایان می‌شود. در این مقاله با تحلیل یک آزمایش سادهٔ فیزیک (مقایسهٔ رسانش گرمایی اجسام مختلف) که در کتاب‌های درسی موجود است، آموزه‌هایی را در حوزهٔ فلسفهٔ علم، در زمینهٔ این فعالیت آزمایشگاهی، بررسی می‌کنیم.

کلیدواژه‌ها: فلسفهٔ علم، آزمایشگاه فیزیک، فیزیک

۱. بررسی یک آزمایش سادهٔ فیزیک: مقایسهٔ رسانش گرمایی اجسام مختلف

این آزمایش سادهٔ فیزیک را در نظر بگیرید: بررسی رسانایی اجسام مختلف[1]. هدف از انجام این آزمایش بررسی و مقایسهٔ رسانش اجسام مختلف با توجه به جنس آن‌هاست. برای این کار از سه جسم مختلف استفاده می‌شود: آهن، مس و شیشه. فرض کنید شما این آزمایش را در آزمایشگاه مدرسه انجام می‌دهید؛ آزمایشگاهی پر از وسایل مختلف. احتمالاً اولین کاری که می‌کنید انتخاب وسایل مورد نیاز برای انجام آزمایش است. طبعاً بعید است که برای انجام این آزمایش مثلاً سراغ کیت نور بروید و یک عدسی یا یک آینه را بردارید، بلکه سراغ سه میله با جنس‌های مختلف می‌روید، ضمن اینکه سعی می‌کنید میله‌ها طول و ضخامت یکسانی داشته باشند. در حین انجام آزمایش یک سر هر سه میله را به‌هم متصل می‌کنید تا گرمای مساوی به آن‌ها برسد. برای اینکه چگونگی انتقال گرما مشخص شود از چوب‌کبریت آغشته به موم یا پارافین شمع استفاده می‌شود. در واقع با مشاهدهٔ زمان افتادن چوب‌کبریت‌های چسبیده به میله‌ها، به مقایسهٔ آهنگ رسانش گرمایی اجسام می‌پردازید. سرانجام گزارش کار خود را خواهید نوشت که در آن به هدف آزمایش، وسایل مورد نیاز، مبانی نظری آزمایش، روش انجام آزمایش، داده‌ها، تحلیل داده‌ها و نتایج می‌پردازید. اینک با رویکرد فلسفی به تحلیل این آزمایش می‌پردازیم.

۲. تحلیل آزمایش با رویکرد علم‌شناسی فلسفی

در بررسی این آزمایش به چند نکته می‌توان اشاره کرد:

۱. برای انجام آزمایش وسایل خاصی متناسب با آزمایش انتخاب می‌شوند. ۲. ویژگی‌های این وسایل، از جمله ابعاد میله‌های انتخاب شده، اهمیت دارد. ۳. در حین انجام آزمایش روش خاصی برای انجام آن انتخاب می‌کنید. ۴. یکی از شرایط متغیر است و شرایط دیگر ثابت گرفته شده‌اند. ۵. از مشاهده و بررسی رسانش تعداد معدودی میله، به یک نتیجهٔ کلی می‌رسید. ۶. نتایج گاهی با عقل سلیم (فهم متعارف)[2] و انتظارات آزمایشگر سنجیده می‌شوند.

با بررسی این نکته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که برخی از آموزه‌های فلسفهٔ علم در اینجا دخیل‌اند؛ انتخاب وسایل مورد نیاز، توجه به ابعاد میله‌ها (طول و قطر آن‌ها)، و انتخاب روش آزمایش بر مبنای خاصی صورت گرفته است. در واقع این نظریه‌های مربوط به گرما است که آزمایشگر را در انتخاب این موارد راهنمایی می‌کند. به تعبیر دیگر، معلم به مثابهٔ راهنمای آزمایشگر، کتاب راهنمای آزمایش، و یا خود آزمایشگر بر مبنای نظریهٔ فیزیکی به سراغ انتخاب وسایل مورد نیاز و انتخاب روش می‌روند. در اینجا قانونِ آهنگِ رسانشِ گرمایی در فیزیک است که در انتخاب ابعاد میله‌ها آزمایشگر را هدایت می‌کند. بنا به این قانون، آهنگِ رسانشِ گرمایی با مساحت سطح مقطع میله رابطهٔ مستقیم و با طول میله رابطهٔ عکس دارد. این قاعده در فلسفهٔ علم، «هدایت مشاهده توسط نظریه» نامیده می‌شود. بنا به این آموزه مشاهدات توسط نظریه هدایت می‌شوند. (چالمرز، ۱۳۷۹ ص ۴۷) به‌عنوان مثال اگر برای اندازه‌گیری طول یک جسم از یک خط‌کش

فلزی استفاده شود دمای اتاق می‌تواند بر اندازه‌گیری‌ها تأثیر بگذارد، هر چند آن را نادیده بگیریم؛ اما ادعا می‌کنیم که رنگ لباس آزمایشگر، یا مثلاً سرعت چرخش خط‌کش در حین اندازه‌گیری بی‌تأثیر است. مبنای این ادعاها، به نظریهٔ زمینهٔ این مشاهدات برمی‌گردد. در فیزیک قانون انبساط فلزات بر اثر گرما تعیین می‌کند که طول خط‌کش فلزی هم تابعی از دماست و ممکن است مقیاس‌ها با آنچه به‌نام متر در SI قرارداد شده و به‌صورت یک میله در دمای صفر درجهٔ سلسیوس در موزهٔ سِور فرانسه نگهداری می‌شود متفاوت باشد. اما فعلاً نظریه‌ای وجود ندارد که به آزمایشگر بگوید که اندازه‌گیری وی می‌تواند از رنگ لباس وی متأثر شود و یا شاید سرعت چرخش خط‌کش بر آن تأثیر بگذارد؛ هر چند امکان این نظریه نباید نفی شود. چنان‌که در تاریخ علم، نتایج هرتز برای اندازهٔ سرعت امواج رادیویی برابر سرعت نور نبود اما بعدها مشخص شد که او ابعاد اتاق را در محاسبات خود نادیده گرفته بوده است. (چالمرز، ۱۳۷۹ ص ۴۸) از نکات ذکر شده دو نکتهٔ فلسفی دیگر قابل استنباط است: یکی «پیش‌انگاره‌های نظری مشاهدات»[۳] و دیگری «نسبت میان مفاهیم فیزیکی و روش اندازه‌گیری». بنا به آموزهٔ پیش‌انگاره‌های نظری مشاهدات، مشاهدات در پرتو نظریه‌ها و با زمینهٔ آن‌ها صورت می‌گیرند و با زبان نظریه‌ها تدوین می‌شوند. نکتهٔ دوم به عملیات‌گرایی[۴] بریجمن (فیزیک‌دان برندهٔ جایزهٔ نوبل) مربوط می‌شود که مفهوم را مترادف با روش و عملیات اندازه‌گیری می‌داند. (بریجمن ۱۹۲۷)

در بررسی دیگر نکته‌های استنباطی از تحلیل آزمایش، دیده می‌شود که با مشاهدهٔ مواردی معدود، به این نتیجهٔ کلی می‌توان رسید که اجسام مختلف، رسانش گرمایی متفاوتی دارند. از نظر منطقی و روش شناختی، روش به‌کار رفته در این استدلال، «روش استقراء»[۵] است. در روش استقرا با مشاهدهٔ مواردی متعدد و متکثر (هر چند محدود) به یک گزارهٔ کلی (قانون یا نظریه) می‌رسیم. در واقع در آزمایش مذکور این روش، مفروض گرفته شده است و به‌صورت خودآگاه و یا ناخودآگاه مبنای استنتاج قرار گرفته است. نقطهٔ مقابل استدلال استقرایی، استدلال قیاسی است که در آن گذار از گزاره‌های کلی به گزاره‌های جزئی صورت می‌گیرد. «پیش‌بینی» و «تبیین» به مثابه دو کارکرد نظریه‌های علمی، از روش قیاسی بهره می‌گیرند. نکتهٔ قابل توجه این است که با روش «فرضیه‌ای- قیاسی»[۶] که با روش ابطال‌گرایی پوپر سازگار است (Nola & lrzik, ۲۰۰۵: ۲۴۷) می‌توان این آزمایش را بازسازی کرد. در اینجا روش آزمایش می‌تواند متفاوت باشد.

در بررسی نکتهٔ آخر، یعنی سنجش نتایج با عقل سلیم، می‌توان گفت این موضوع می‌تواند بر دانش، نظریه‌ها و معرفت پیشین متکی باشد که البته دلیلی برای قطعی انگاشتن آن وجود ندارد. فرض کنید نتیجهٔ آزمایش با عقل سلیم ناسازگار باشد؛ به‌عنوان مثال در این آزمایش اگر چوب‌کبریت بر روی میلهٔ شیشه‌ای قبل از میلهٔ مسی و میلهٔ آهنی بیفتد. آزمایشگر با احتمال زیاد این نتیجه را نمی‌پذیرد، زیرا از قبل می‌داند که شیشه رسانای خوبی نیست، بنابراین بعید است قبل از سایر موارد سقوط کند. از این رو، نتیجه می‌گیرد که در انجام آزمایش خطایی رخ داده است. اما در کجا خطا رخ داده است؛ در طول میله، قطر میله، نقطهٔ گرمای داده شده، خطا در چسباندن چوب‌کبریت با موم، و ... ؛ احتمالاً آزمایشگر در این مورد ساده، خطا را در چگونگی چسباندن چوب‌کبریت به میله می‌داند؛ یا احتمال فوت کردن، یا برخورد دست به آن و ...؛ حال اگر در آزمایش به‌جای مس، چوب‌کبریت از میلهٔ آهنی بیفتد، آنگاه وضعیت متفاوت و کمی پیچیده‌تر می‌شود زیرا ضریب رسانایی مس و آهن به‌هم نزدیک‌ترند. در واقع پیش‌انگاره‌ها و استنباط‌های مبتنی بر عقل سلیم به نظریه‌های علمی قبلی بستگی دارند و به‌دلیل اینکه آزمایشگر نظریهٔ مربوط به رسانایی اجسام را می‌داند، سنجش با عقل سلیم آسان‌تر صورت می‌گیرد و فرایند خطایابی ساده‌تر است. در وضعیت‌های پیچیده‌تر، یافتن خطا و عامل دخیل در نتیجهٔ نادرست، ممکن است فرایندی پیچیده باشد و اساساً منطق مقصریابی نداریم. این آموزه همان «تز دوئم- کواین»[۷] است (گیلیس، ۱۳۸۱ ص ۱۲۴) که بنا به آن، اگر با یک پیش‌بینی نادرستی مواجه شویم منطق نمی‌تواند به ما بگوید که آیا نظریه خطا بوده است یا گزاره‌ها و فرضیه‌های کمکی. در فرایند پیش‌بینی با منطقی قیاسی، از یک گزارهٔ کلی (قانون یا نظریه) به‌همراه برخی فرضیات کمکی به نتیجه‌ای می‌توان رسید که اصطلاحاً پیش‌بینی نامیده می‌شود. اگر پیش‌بینی درست باشد منطقاً مقدمات استدلال، یعنی نظریه یا قانون و شرایط اولیه (شامل فرضیات و گزاره‌های کمکی) درست بوده‌اند؛ اما اگر نتیجه (پیش‌بینی) نادرست باشد آنگاه منطقاً نمی‌توان گفت کدام بخش از این استدلال (نظریه یا شرایط اولیه) نادرست بوده است. در تاریخ علم، مواردی یافت می‌شود که یکی از این بخش‌ها مقصر دانسته شده‌اند اما به‌قول دوئم این «شم خوب» دانشمند است که به وی در انتخاب عامل مقصر کمک می‌کند.

۳. جمع‌بندی

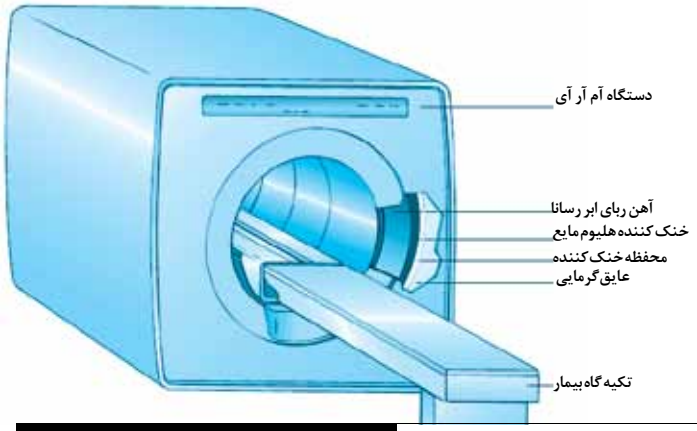
در تحلیل یک آزمایش سادهٔ فیزیک، آموزه‌هایی در حوزهٔ فلسفهٔ علم قابل تدوین هستند که این آموزه‌ها به مثابهٔ بستری برای روش آزمایشگر در انجام آزمایش و چگونگی استدلال و استنباط وی در فرایند مشاهده، پردازش و نتیجه‌گیری نقش ایفا می‌کنند. در این آزمایش خاص، آموزه‌هایی از قبیل هدایت مشاهده توسط نظریه، پیش‌انگاره‌های نظری، مشاهدات، عملیات‌گرایی و نسبت اندازه‌گیری با مفهوم، روش‌شناسی علم، استقراء، قیاس، روش فرضیه‌ای- قیاسی، تز دوئم- کواین و ... قابل صورت‌بندی‌اند و می‌توانند با موضوع مرتبط باشند. در واقع، یک آزمایشگر، آموزه‌هایی از فلسفهٔ علم را ناخودآگاه (و یا خودآگاه) به‌کار می‌برد، بدون اینکه اشارهٔ مستقیمی به آن‌ها داشته باشد. این آموزه‌ها بر روش کار وی تأثیر می‌گذارند و زمینهٔ فعالیت آزمایشگاهی وی را تشکیل می‌دهند. بدون توجه به چگونگی انتقال این آموزه‌ها به آزمایشگر، شناخت آزمایشگر از فلسفهٔ علم و آموزه‌های آن می‌تواند تأثیر بسزایی بر فعالیت آزمایشگاهی بگذارد؛ ضمن اینکه توجه به این نکته اهمیت دارد که تغییر رویکردها در حوزهٔ فلسفهٔ علم، می‌تواند سبب تغییر در زمینه و روش فعالیت آزمایشگاهی شود.

پی‌نوشت‌ها

۱. این آزمایش در کتاب فیزیک سال اول دبیرستان موجود است.
2. Common sense
3. Observations are theory-laden
در فلسفه علم به‌صورت «نظریه‌بار بودن مشاهدات» یا «گران‌بار بودن از نظریه» به‌کار می‌رود.
4. Operationalism
5. Induction
6. Hypothetico-deductive
7. Duhem- Quine thesis

منابع

۱. چالمرز، آلن (۱۳۷۹)، **چیستی علم: درآمدی بر مکاتب علم‌شناسی فلسفی**، ترجمهٔ سعید زیباکلام، تهران: انتشارات سمت.
۲. گیلیس، دانالد (۱۳۸۱) **فلسفهٔ علم در قرن بیستم**، ترجمهٔ حسن میانداری، تهران و قم: انتشارات سمت و طه.
3. Nola, R. & lrzik G.(2005), Philosophy, science, education and culture, the Netherlands: Springer.
4. Bridgeman, P. W. (1927), The logic of modern physics, the Macmillan company.



تصویربرداری پزشکی و تابش

لوئیس ای. بلومفیلد
روح‌الله خلیلی بروجنی
www.avang.org

برخی از مهم‌ترین پیشرفت‌های اخیر در مراقبت از سلامتی، در مرز میان پزشکی و فیزیک صورت گرفته است. وقتی دانشمندان به درک خود از ساختار اتمی و مولکولی بهبود بخشیدند و یاد گرفتند که شکل‌های مختلف تابش را به کنترل درآورند، وسایلی را اختراع کردند که امروزه در تشخیص و معالجهٔ بیماری و جراحت فوق‌العاده با ارزش‌اند. این توسعه و تکامل ادامه یافت و کاربردهای جدیدی از فیزیک تقریباً همواره در موارد بالینی ظاهر می‌شود. در این مقاله، دو مورد از مهم‌ترین نمونه‌های فیزیک پزشکی را بررسی می‌کنیم: یکی روش‌های تصویربرداری که در تشخیص بیماری‌ها به‌کار می‌روند و دیگری پرتودرمانی‌هایی که برای درمان این موارد به‌کار می‌روند.

پرسش‌هایی برای اندیشیدن: تفاوت استخوان‌ها و بافت در چیست که استخوان‌ها در تصویر با پرتو X روشن دیده می‌شوند درحالی‌که بافت تاریک دیده می‌شود؟ چگونه روبش CT (سی‌تی‌اسکن) یا تصویربرداری MRI (ام‌آرآی) نمایی از یک شخص زنده را نشان می‌دهد بدون اینکه با شخص تماس پیدا کند؟ اگر پرتوهای X نوعی از تابش الکترومغناطیسی هستند، چرا مواد کدر آن‌ها را جذب نمی‌کنند؟ چرا روبش CT اساساً استخوان را نشان می‌دهد درحالی‌که تصویر MRI عمدتاً بافت را نشان می‌دهد؟

ذره‌های زیر اتمی که در پرتودرمانی به‌کار می‌روند اغلب انرژی‌های خیلی زیادی دارند؛ این انرژی‌ها از کجا می‌آیند؟

آزمایش‌هایی برای انجام دادن: نقطه قوت تصویربرداری پزشکی توانایی آن در تعیین محل اجسام درون بدن شخص است بدون آنکه در واقع چیزی وارد بدن شود. این کار اغلب با استفاده از پرتوهای X صورت می‌گیرد که از چند زاویهٔ متفاوت به شخص می‌تابد. از هر زاویه، دستگاه تصویربرداری نشان می‌دهد که چه اجسامی در طرف چپ یا راست یکدیگر قرار دارند؛ ولی دستگاه نمی‌تواند بگوید که فاصلهٔ اجسام چقدر است. با وجود این، با جست‌وجوی اطلاعات و با مشاهده‌های متعدد و متفاوت دستگاه می‌توان محل هر جسم را به‌طور دقیق معلوم کرد.

شما می‌توانید این فرایند را با ریختن تعدادی سکه روی یک میز کوچک، بدون آنکه ببینید هر یک از آن‌ها در کجا قرار می‌گیرند، امتحان کنید. چشم‌های خود را ببندید و سر خود را تا ارتفاع سطح میز پایین بیاورید. حال، فقط یک چشم خود را باز کنید و نگاه کوتاهی به سکه‌ها بیندازید. اگر نور روشن و یکنواخت باشد و شما هم سر خود را حرکت ندهید مشکل بتوانید بگویید که فاصلهٔ سکه‌ها از چشم شما چقدر است. اگر چه شما چیزی در مورد اینکه هر سکه کجاست می‌دانید ولی در مورد محل دقیق آن روی سطح میز به‌قدر کافی نمی‌دانید. حال سر خود را به محل جدیدی، گرد میز، حرکت دهید و نگاه کوتاه دیگری بیندازید. باز نمی‌توانید بگویید که سکه‌ها چقدر از شما دورند، ولی در مورد مکان‌های نسبی آن‌ها بیشتر می‌دانید. آیا با چند بار مشاهده خواهید دانست که سکه‌ها به طور دقیق کجا هستند؟ وجود تعدادی سکهٔ تیره در میان سکه‌ها چگونه مسئله را پیچیده می‌کند؟ چرا باز کردن دو چشم با هم تعیین محل سکه‌ها را برای شما بسیار آسان‌تر می‌کند؟

پرتوهای X

پرتوهای X، از زمان کشف آن‌ها در سال ۱۸۹۵ تا امروز، نقش مهمی در درمان‌های پزشکی ایفا کرده‌اند. در واقع، از همان ابتدای کشف پرتو X سودمندی آن آشکار شد. اما نخست ببینیم پرتو X چگونه کشف شد. دانشمند آلمانی ویلهم کُنراد رونتگن (۱۹۲۳-۱۸۴۵). در حال آزمایش تخلیهٔ الکتریکی در یک لامپ خلأ در آزمایشگاه خود بود. او اطراف لامپ را با مقوای سیاهی به‌طور کامل پوشانده بود و به‌علاوه در اتاقی تاریک کار می‌کرد. ناگهان، در فاصله‌ای از لامپ یک پردهٔ فسفردار شروع به درخشیدن کرد. رونتگن دریافت که نوعی تابش از لامپ خلأ آزاد و با گذشتن از مقوا و هوا سبب فلوئورسانی آن پرده شده است. وی اجسام مختلفی را در راه تابش قرار داد ولی آن‌ها مانع جریان این تابش نشدند. سرانجام، او دست خود را در جلوی پرده قرار داد و در این وقت تصویر سایهٔ استخوان‌هایش را دید؛ چه اتفاقی افتاده بود؟ او پرتوهای X و در همان وقت مهم‌ترین کاربرد آن را نیز کشف کرده بود.

اولین استفادهٔ درمانی پرتوهای X در اوایل سال ۱۸۹۶ انجام شد که دو پزشک انگلیسی از آن برای یافتن سوزنی در دست یک زن استفاده کردند. طولی نکشید که، دستگاه‌های پرتو X در بیمارستان‌ها به عنوان روش جدید و شگفت‌انگیزی برای تشخیص پزشکی متداول شد. البته این قابلیت تصویربرداری بدون اثرهای جانبی نبود، و آن اینکه، اگرچه خود پرتوگیری

بدون درد بود، اما قرار گرفتن مدتی طولانی در معرض پرتوهای X سبب سوزش شدید و بروز جراحاتی می‌شد که مدتی طول می‌کشید تا ظاهر شوند. بدون تردید پرتوهای X کاری خیلی بیشتر از گرم کردن سادهٔ بافت انجام می‌داد.

پرتوهای X نظیر موج‌های رادیویی، ریز موج‌ها و نور نوعی از تابش الکترومغناطیسی هستند. این انواع مختلف تابش الکترومغناطیسی با بسامدها و طول موج‌هایشان از یکدیگر متمایز می‌شوند - در حالی که موج‌های رادیویی بسامدهای کم و طول موج‌های بلند دارند، بسامد پرتوهای X خیلی زیاد و طول موج‌های کوتاه دارند. آن‌ها، همچنین، با انرژی‌های فوتون‌هایشان متمایز می‌شوند. فوتون موج رادیویی، به دلیل بسامد کم آن، انرژی کمی دارد؛ فوتون با بسامد متوسط نور آبی یا فرابنفش حامل مقدار انرژی کافی است تا پیوندی را در یک مولکول بازآرایی کند؛ اما فوتون پرتو X با بسامد بالا چنان انرژی زیادی دارد که می‌تواند بسیاری از پیوندها را بشکند و مولکول‌ها را از هم جدا کند. در یک فر ریزموج فوتون‌های ریزموج با هم عمل می‌کنند تا غذا را داغ کنند و آن را بپزند. مقدار انرژی در هر فوتون ریزموج اهمیتی ندارد زیرا آن‌ها به تنهایی عمل نمی‌کنند، ولی در پرتودرمانی، فوتون‌های پرتو X مستقل هستند. هر یک از آن‌ها به‌قدر کافی انرژی دارد تا به هر مولکولی که آن را جذب کند آسیب برساند. به همین دلیل است که سوختگی با پرتو X سوزش کمی در بر دارد و مدتی پس از پرتوگیری ظاهر می‌شود - آسیب مولکولیِ ناشی از تابش پرتوهای X، پس از مدتی یاخته‌ها را می‌کشد.

پرسش: کدام یک ارتباط بیشتری با پرتوهای X دارد: باریکه‌ای از الکترون‌ها که در لامپ مگنترون فر ریزموج حرکت می‌کند یا نور فروسرخ که از رشتهٔ داغ یک نان‌برشته‌کن ناشی می‌شود؟

پاسخ: نور فروسرخ رشتهٔ داغ ارتباط نزدیک‌تری با پرتوهای X دارد.

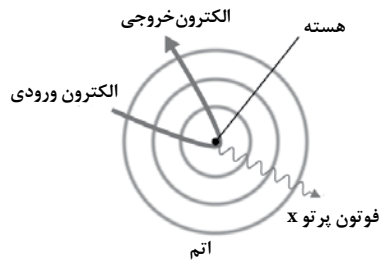
دلیل: نور فروسرخ و پرتوهای X هر دو نوعی از تابش الکترومغناطیسی هستند. چیزی که موجب تمایز آن‌ها از یکدیگر می‌شود بسامدها، طول موج‌ها و انرژی فوتون‌های آن‌هاست؛ گرچه باریکهٔ الکترون‌های درون یک لامپ مگنترون نیز نوعی تابش است ولی شامل ذرات است نه موج‌های الکترومغناطیسی.

تولید پرتوهای x

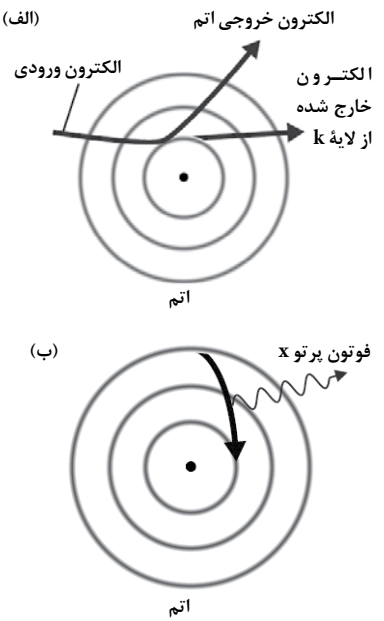
چشمه‌های پرتو X پزشکی با برخورد شدید الکترون‌های سریع به اتم‌های سنگین کار می‌کنند. این برخوردها از طریق دو سازوکار فیزیکی متفاوت به تولید پرتوهای X می‌انجامند: تابش ترمزی[1] و فلوئورسانی پرتو X[2].

تابش **ترمزی** وقتی صورت می‌گیرد که ذرهٔ باردار شتاب بگیرد. این فرایند در واقع چیز جدیدی نیست، چرا که می‌دانیم وقتی ذرهٔ باردار روی آنتن شتاب بگیرد، از خود موج‌های رادیویی گسیل می‌کند. با این حال، در یک آنتن رادیویی، الکترون‌ها به آرامی شتاب می‌گیرند و فوتون‌های کم‌انرژی گسیل می‌کنند. تابش ترمزی معمولاً در حالت‌هایی رخ می‌دهد که در آن‌ها ذرهٔ باردار فوق‌العاده سریع شتاب می‌گیرد و فوتون بسیار پر انرژی گسیل می‌کند. در تابش ترمزیِ لامپ پرتو X، یک الکترون سریع به دور یک هستهٔ سنگین می‌گردد و چنان سریع شتاب می‌گیرد که یک فوتون پرتو X گسیل می‌کند (شکل ۱). این فوتون بخش قابل ملاحظه‌ای از انرژی جنبشی الکترون را با خود حمل می‌کند. هرچه الکترون به هسته نزدیک‌تر شود، شتاب بیشتری می‌گیرد و به فوتون پرتو X هم انرژی بیشتری می‌دهد. ولی، بیشتر احتمال دارد که فاصلهٔ الکترون از هسته، بیشتر از آن باشد که بتواند با آن برخورد کند، در نتیجه احتمال اینکه در تابش ترمزی، فوتون پرتو X انرژی پایین داشته باشد بیشتر است. در فلوئورسانی پرتو X، یک الکترون سریع به الکترون داخلی در اتم سنگین برخورد می‌کند و آن الکترون را کاملاً از اتم بیرون می‌اندازد (شکل ۲). با این برخورد، اتم به صورت یون مثبت درمی‌آید با مداری خالی و نزدیک به هسته. آنگاه یک الکترون این یون گذار تابشی انجام می‌دهد و از مدار خارجی به این مدار خالی درونی انتقال می‌یابد. حاصل این فرایند مقدار خیلی زیادی انرژی است که آزاد می‌شود. و به‌صورت فوتون پرتو X از اتم خارج می‌گردد. چون این فوتون انرژی‌ای دارد که با ساختار مداری یون مشخص می‌شود به آن **پرتو X مشخصه**[3] گفته می‌شود.

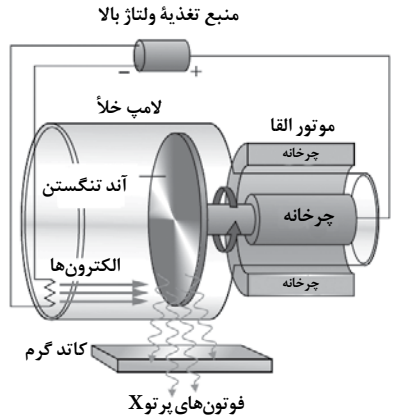
در بحث انرژی فوتون‌های پرتو X، از یکای انرژی الکترون‌ولت یا eV استفاده می‌کنیم. فوتون‌های نور مرئی حامل انرژی‌هایی از ۱/۶ eV (نور قرمز) تا ۳/۰ eV (نور بنفش) هستند. چون فوتون‌های فرابنفش در نور خورشید انرژی‌هایی تا ۷ eV



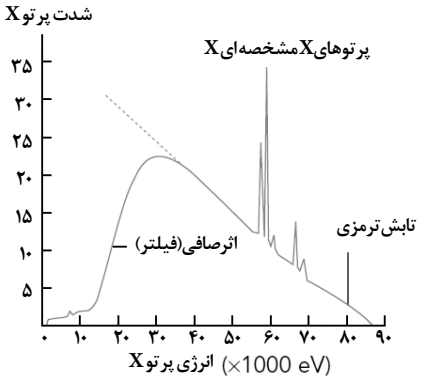
شکل ۱. وقتی یک الکترون سریع یک هستهٔ سنگین را دور می‌زند به سرعت شتاب می‌گیرد. این شتاب ناگهانی فوتون پرتو X ترمزی را به وجود می‌آورد که حامل مقداری از انرژی الکترون است.



شکل ۲. (الف) وقتی یک الکترون سریع به الکترونی در یک مدار درونی اتم سنگین برخورد کند، می‌تواند آن الکترون را از اتم خارج کند. (ب) در پی آن، یک الکترون از مدارهای خارجی‌تر با یک گذار تابشی که پرتو X مشخصه تولید می‌کند به مدار خالی فرو می‌افتد.



شکل ۳. در یک دستگاه پرتو X پزشکی، الکترون‌ها از یک رشتهٔ داغ به طرف یک قرص فلزی با بار مثبت شتاب می‌گیرند و در هنگام برخورد با اتم‌های قرص، پرتوهای X گسیل می‌کنند. موتوری قرص را می‌چرخاند تا مانع از ذوب شدن آن شود. یک صافی نیز پرتوهای X کم‌انرژی بی‌فایده را جذب می‌کند.



شکل ۴. وقتی الکترون‌ها با انرژی ۸۷۰۰۰ eV به فلز تنگستن برخورد کنند، به دو طریق تابش ترمزی و فلوئورسانی پرتو X گسیل می‌کنند. چون پرتوهای X تابش ترمزی گسترهٔ وسیعی از انرژی‌ها را دارند، یک صافی جذب‌کننده مانع پرتوهای کم انرژی آن‌ها می‌شود. پرتو X فلوئورسانی، پرتوهای مشخصه با انرژی‌های خاص تولید می‌کند

دارند، می‌توانند پیوندهای شیمیایی را بشکنند و سبب آفتاب‌سوختگی شوند. فوتون‌های پرتو X انرژی‌های خیلی بیشتری، حتی از فوتون‌های فرابنفش، دارند. در نوعی از لامپ پرتو X که در پزشکی کاربرد دارد، الکترون‌ها از یک کاتد گرم گسیل می‌شوند و در خلأ به طرف یک آند فلزی باردار مثبت شتاب می‌گیرند (شکل ۳). این آند صفحه‌ای از تنگستن یا مولیبدن است که به سرعت می‌چرخد تا مبادا در اثر گرمای شدید ذوب شود. انرژی الکترون‌ها موقع برخورد به آند را اختلاف پتانسیل دو سر لامپ تعیین می‌کند. در دستگاه پرتو X پزشکی، این اختلاف پتانسیل به‌طور نوعی حدود ۸۷۰۰۰ V است، به طوری که هر الکترون حدود ۸۷۰۰۰ eV انرژی دارد. چون الکترون بخشِ به نسبت زیادی از انرژی‌اش را به فوتون پرتو X تولید شده می‌دهد، فوتونی که لامپ را ترک می‌کند می‌تواند تا ۸۷۰۰۰ eV انرژی داشته باشد. پس تعجب‌آور نیست که پرتو X بتواند به بافت بدن نیز صدمه بزند!

وقتی الکترون‌ها به هدف اتم‌های سنگین برخورد کردند، آن‌ها، هم تابش ترمزی و هم پرتوهای مشخصه گسیل می‌کنند (شکل ۴). پرتوهای X مشخصه انرژی‌های خاصی دارند و بنابراین به صورت قله‌هایی در تمام طیف پرتو X ظاهر می‌شوند. پرتوهای X تابش ترمزی انرژی‌های متفاوتی دارند که در انرژی‌های کم بیشترین شدت را دارد. چون فوتون‌های پرتو X با انرژی کمتر به پوست صدمه می‌زنند برای تصویر برداری و تابش‌درمانی مفید نیستند، به همین دلیل، دستگاه‌های پرتو X پزشکی از مواد جذب کننده‌ای مثل آلومینیم برای کم‌کردن نفوذ آن‌ها استفاده می‌کنند.

منشأ تابش سنکروترون

پرسش: شتاب‌دهنده‌های بسیار بزرگ ذرات که در فیزیک انرژی بالا به کار می‌روند اغلب به صورت حلقه‌هایی چنان ساخته می‌شوند تا بتوانند بارها و بارها، از ذرات باردار الکتریکی یکسانی استفاده کنند. وقتی این ذرات، به صورت دایره‌وار به دور حلقه‌ها حرکت می‌کنند، از خود پرتوهای X گسیل می‌کنند. دربارهٔ این فرایند توضیح دهید.

پاسخ: چون ذره روی یک مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند شتاب می‌گیرد و در نتیجه موج‌های الکترو مغناطیسی گسیل می‌کند. در این مورد، آن موج‌ها پرتوهای X هستند.

دلیل: یک ذرهٔ باردار که به‌سرعت شتاب می‌گیرد، چه به دور هستهٔ یک اتم سنگین شتاب داشته باشد چه به دور حلقهٔ یک شتاب دهندهٔ ذره، پرتو X گسیل می‌کند. در یک شتاب دهنده، این پرتوهای X تابش سنکروترون نامیده می‌شوند. تابش سنکروترون در پژوهش و صنعت مفید است و اغلب آگاهانه با افزودن آهنرباهای خاصی به حلقهٔ شتاب‌دهنده مقدار آن را زیادتر می‌کنند.

استفاده از پرتوهای X برای تصویربرداری

پرتوهای X دو استفادهٔ مهم در پزشکی دارند: تصویربرداری و پرتودرمانی. در تصویربرداری با پرتو X، پرتوهای X با گذشتن از بدن بیمار به ورقه‌ای از فیلم، یا آشکارساز پرتو X، فرستاده می‌شوند. بخشی از پرتوهای X می‌توانند از بافت بگذرند، ولی بیشتر آن‌ها توسط استخوان متوقف می‌شوند و سایهٔ استخوان‌های بیمار، روی فیلم پشت آن‌ها، به صورت تصویرهایی تشکیل می‌شود. اما در پرتودرمانی با پرتو X، پرتوهای X دوباره [بار اول برای عکس‌برداری] به بدن بیمار فرستاده می‌شوند، ولی چیزی که در اینجا اهمیت دارد چگونگی برهم‌کنش مرگبار آن‌ها با بافت ناسالم بدن است.

فوتون‌های پرتو X در طی چهار فرایند با بافت و استخوان برهم‌کنش می‌کنند:

پراکندگی کشسان، *اثر فوتوالکتریک*، *پراکندگی کامپتون*، و *تولید زوج الکترون- پوزیترون*. **پراکندگی کشسان** را به‌عنوان دلیل یا عامل آبی بودنِ آسمان می‌شناسیم: *اتم با عبور موج الکترومغناطیسی به‌صورت یک آنتن عمل می‌کند*، آن را جذب و بدون جذب انرژی، دوباره گسیل می‌کند (شکل ۵). چون این فرایند تقریباً هیچ اثری روی اتم ندارد، پس پراکندگی کشسان در پرتودرمانی اهمیتی ندارد، اما در تصویربرداری با پرتو X عامل مزاحمی است زیرا زمینهٔ تیره‌ای ایجاد می‌کند؛ بدین طریق که مقداری از پرتوهای X که از بدن بیمار عبور می‌کنند مثل توپ‌های کوچکی در محیط جنب‌وجوش می‌کنند و با زاویه‌های جور واجور به فیلم می‌خورند. برای حذف این فوتون‌های پرتو X بیرون انداخته شده، در دستگاه‌های پرتو X از صافی‌هایی استفاده

می‌شـود تا پرتوهای X را متوقف سازند تا این پرتوها نتوانند در جهت چشمهٔ پرتو X به فیلم نزدیک شوند.

اثر فوتوالکتریک چیزی اسـت که تصویربرداری پرتو X را ممکن می‌سازد. در این اثر، فوتون عبوری، در اتم گذار تابشی القا می‌کنـد؛ بدین ترتیب که یکی از الکترون‌های اتم، فوتون را جذب می‌کند و کاملاً از اتم خارج می‌شـود (شـکل ۶). اگر اتم از فوتون پرتـو X برای انتقال الکترون از یک مدار به مدار دیگر اسـتفاده می‌کرد، باید درسـت مقدار دقیقی انرژی داشت. ولی، چون الکترون آزاد می‌تواند هر مقدار انرژی‌ای داشـته باشد، اتم می‌توانـد هر فوتون پرتو X را که انرژی کافی برای بیرون کردن یکی از الکترون‌هایش داشـته باشد جذب کند. بخشی از انرژی فوتـون صرف خارج کردن الکترون از اتم می‌شـود و بقیهٔ انرژی به‌صورت انرژی جنبشی به الکترون گسیل‌شده درمی‌آید.

با افزایش انرژی الکترون بیرون انداخته شـده، احتمال این رویداد فوتوگسـیلی کمتر می‌شـود. این کاهش احتمال، جذب فوتون پرتو X در اتم کوچک (در مقایسـه با اتم‌های بزرگ) را با مشکل مواجه می‌سازد. تمام الکترون‌های این اتم پیوند ضعیفی با اتم دارند، بنابراین فوتون پرتو X به الکترون بیرون انداخته شده انرژی جنبشـی زیادی می‌دهد. یک اتم کوچک معمولاً به‌جای آنکه الکترونی با انرژی زیاد گسـیل کند، فوتون پرتو X عبوری را نادیده می‌گیرد.

برعکـس، در یک اتم بزرگ بعضی از الکترون‌ها پیوند کاملاً محکمی با اتم دارند و باید بیشـتر انـرژی فوتون پرتو X صرف خارج کردن آن‌ها از اتم شـود. این الکترون‌ها با انرژی جنبشـی نسـبتاً کمی خارج می‌شـوند. چون احتمال فرایند فوتوگسیل، با الکترون‌های کم‌انرژی بیشـتر است؛ یک اتم بزرگ با احتمال بیشتری پرتو X عبوری را جذب می‌کند. براساس آنچه گفته شد، اتم‌های کوچک (کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن) که در بافت یافت می‌شـوند به ندرت می‌توانند پرتوهای X پزشکی را جذب کنند، درحالی که اتم‌های بزرگ که در استخوان یافت می‌شوند (کلسیم و فسفر) قادرند پرتوهای X را به مقدار زیاد جذب کنند.

اگرچه داشـتن یک سـایهٔ تصویـری از درون بدن بیمار به تشخیص شکستگی استخوان کمک می‌کند، اما شاید مشکلات ظریف‌تر در تنها یک تصویر پرتو X قابل مشـاهده نباشـد؛ لذا برای داشـتن تصویر بهتری از آنچه که در درون بیمار می‌گذرد، پرتوشناس باید سایه‌ها را از چند زاویهٔ مختلف ببیند. از این بهتر آن اسـت که پرتوشـناس بتواند از مقطع‌نگاری رایانه‌ای (CT)، یا همان سی‌تی‌اسکن، اسـتفاده کند. این وسیلهٔ رایانه‌ای شده، به‌طور خودکار، تصویرهای سایه‌ای پرتو X از صدها زاویه در نقاط مختلف تشکیل می‌دهد و یک نقشهٔ پرتو X سه بعدی تفصیلی از بدن بیمار به دست می‌دهد.

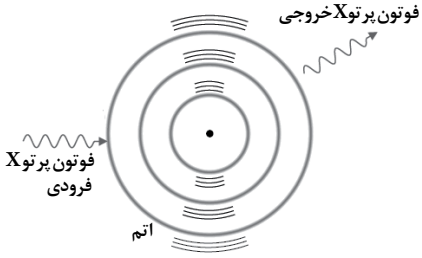
روبشـگر CT هـر بار روی یـک «بـرش» بیمار کار می‌کنـد و پرتوهای X را از هـر زاویـهٔ ممکـن، از جملـه دو زاویهٔ نشـان‌داده شده در شـکل ۷، روی این برش نـازک می‌فرسـتد و جای اسـتخوان‌ها و بافت‌ها را روی آن بـرش تعییـن می‌کند (شـکل ۸). سپس روی بـدن بیمـار جابه‌جـا می‌شود تا روی بُرش بعدی کار کند.

درک خـود را وارسـی کنید. دریچه‌های پرتو X آلومینیمی

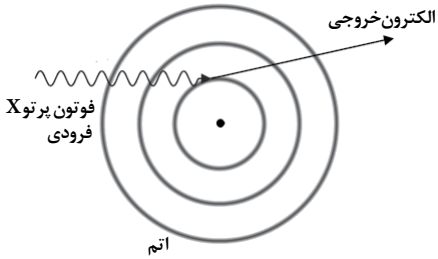
پرسـش: می‌دانید که اتم‌هـای آلومینیم از اتم‌های کلسیم بسیار کوچک‌ترند، و اگرچه فلز آلومینیم مانع عبور نور مرئی می‌شود. ولی برای پرتوهای X پرانرژی نسـبتاً شفاف است. در این باره چه توضیحی دارید؟

پاسخ: پیوند الکترون‌ها در اتم آلومینیم چنان ضعیف است که مشـکل می‌توانند فوتون‌های پرتـو X پرانرژی را با اثر فوتو الکتریک جذب کنند

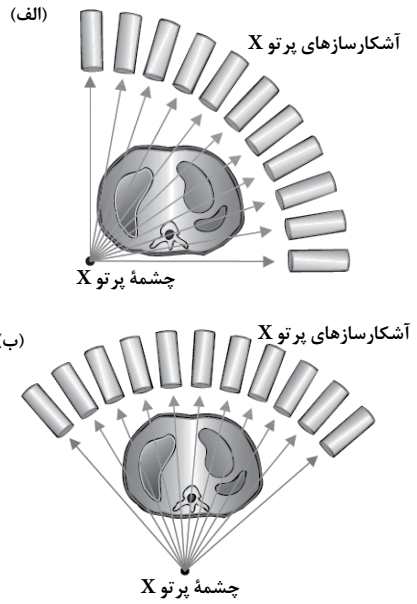
دلیـل: نظیـر اتم‌های کوچـک در یـک بافـت زیسـتی، اتم‌های آلومینیم به ندرت از اثر فوتوالکتریک برای جـذب پرتوهای X پر انـرژی اسـتفاده می‌کنند. ایـن امر امـکان می‌دهد تا لایه‌های نـازک آلومینیمی به‌صـورت پنجره‌هـا و صافی‌هایی برای چشمه‌های پرتو X به کار روند.



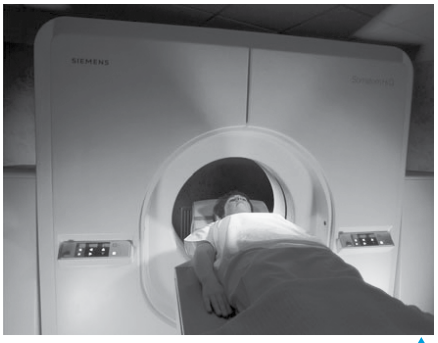
شکل ۵. وقتی فوتون پرتو X به‌طور کشسان از اتم پراکنده شود، تمام اتم به‌صورت یک آنتن عمل می‌کند؛ در نتیجه فوتون در حال عبور تمام بارهای اتم را به حرکت درمی‌آورد و این بارها فوتون را جذب و در جهت جدیدی بازگسیل می‌کنند.



شکل ۶. در اثـر فوتوالکتریک، فوتون جذب شـده یک الکتـرون را از اتم بیرون می‌اندازد. البته بخشـی از انرژی این فوتون صرف خارج کردن الکترون از اتم می‌شود و بقیهٔ آن به انرژی جنبشی الکترون تبدیل می‌گردد.



شکل ۷. مقطع نگاری رایانه‌ای یا تصویر روبشی CT (سی تی اسکن) با تحلیل تصویرهای سایه‌ای پرتو X که از زاویه‌ها و مکان‌های متفاوت گرفته شـده است، تشکیل می‌شود. یک چشمهٔ پرتو X و آرایه‌ای از آشکارسازهای پرتو X الکترونیکی حلقه‌ای را تشکیل می‌دهند که این حلقه، وقتی بیمار آهسته سر تا سر حلقه حرکت می‌کند، به دور بیمار می‌چرخد.



شکل ۸. (الف) دستگاه روبشگر مقطع نگاری رایانه‌ای (CT) در طرف چپ، در حال تصویربرداری لایه‌به‌لایه از بدن بیمار با استفاده از پرتوهای X است. این دستگاه یک نقشهٔ سه‌بعدی رایانه‌ای (۳D) از عنصرهای سنگین موجود در بدن بیمار تهیه می‌کند.

(ب) قسمتی از نقشه که سر بیمار را نشان می‌دهد.

استفاده از پرتوهای X برای درمان

در پرتودرمانی نیز از پرتوهای X استفاده می‌شود، ولی نه از آن پرتوهایی که در تصویربرداری پزشکی به‌کار می‌رود. اگر چه بافت بدن، نسبت به استخوان، فوتون‌های تصویری کمتری را جذب می‌کند، بیشتر فوتون‌های تصویری، قبل از اینکه بتوانند از بافت ضخیمی بگذرند جذب می‌شوند. به‌طور مثال، فقط حدود ۱۰ درصد فوتون‌های تصویرگیری حتی اگر به استخوان برخورد نکنند می‌توانند از ران بیمار بگذرند. این درصد برای ایجاد تصویر به‌قدر کافی خوب است، ولی برای پرتودرمانی مؤثر نیست، زیرا بیشتر پرتوهای X تصویرگیری خیلی قبل از اینکه به یک غدهٔ عمیق برسند جذب می‌شوند. پرتودهی شدید پرتوهای X، به جای نابود کردن غده، بافت نزدیک به پوست بیمار را نابود یا تخریب می‌کند بنابراین، برای حمله کردن به بافت بدخیم در عمق زیر پوست، پرتودرمانی باید از فوتون‌های خیلی پرانرژی بهره بگیرد. وقتی انرژی فوتون‌ها به 10^6 eV نزدیک شود، اثر فوتوالکتریک در بافت و استخوان ناچیز می‌شود و در نتیجه احتمال بیشتری دارد که فوتون‌ها به غده برسند. در اینجا فوتون‌ها در بافت و غده انرژی نابودکننده‌ای به جای می‌گذارند؛ و البته این کار را به‌علت اثر جدیدی انجام می‌دهند که به آن پراکندگی کامپتون گفته می‌شود.

پراکندگی کامپتون وقتی روی می‌دهد که فوتون پرتو X به یک تک الکترون برخورد کند به‌طوری که این دو ذرّه پس بجهند (شکل ۹). در نتیجه فوتون پرتو X الکترون را از اتم بیرون می‌اندازد. این فرایند با اثر فوتو الکتریک تفاوت دارد زیرا پراکندگی کامپتون با کل اتم سرو کار ندارد و در این پراکندگی فوتون‌ها به جای جذب شدن پراکنده (واجهیده) می‌شوند. از نظر فیزیکی، پشت صحنهٔ این اثر مشابه برخورد کردن دو توپ بیلیارد با یکدیگر است، اگر چه توضیح بیشتر این امر، با توجه به نظریهٔ نسبیت پیچیده است. این واقعیت که این امر پیش می‌آید ثابت می‌کند که فوتون، هم حامل انرژی و هم حامل تکانه است، و اینکه این کمیت‌ها، وقتی نور به ذره‌ای از ماده برخورد می‌کند، پایسته هستند. پراکندگی کامپتون در پرتو درمانی اهمیت بسزایی دارد. وقتی بیمار در معرض فوتون‌هایی با انرژی 10^6 eV قرار می‌گیرد، بیشتر فوتون‌ها از بدن او می‌گذرند، ولی بخش کوچکی نیز دچار پراکندگی کامپتون می‌شوند و مقداری از انرژی آن‌ها به‌جا می‌ماند. این انرژی بافت‌ها را نابود می‌کند از این‌رو می‌تواند در تخریب یک غده به کار رود، بدین ترتیب که با نزدیک شدن به غده از زاویه‌های مختلف و از سراسر بدن بیمار، پرتودرمانی کمترین صدمه را به بافت اطراف غده می‌زند در حالی که به خود غده مقدار تابش کشنده‌ای داده می‌شود.

پراکندگی کامپتون تنها اثری نیست که در پی برخورد فوتون‌های پر انرژی به ماده به‌وجود می‌آید. پرتوهای X با انرژی اندکی بیشتر از ۱/۰۲۲/۰۰۰ eV می‌توانند موقع گذشتن از اتم کار قابل توجهی انجام دهند؛ به این معنا که آن‌ها می‌توانند باعث تولید **زوج الکترون– پوزیترون** شوند. پوزیترون پادماده هم‌ارز الکترون است. عالم ما از بسیاری جهات متقارن است، و یکی از تقارن‌های تقریباً کامل وجود پادماده است. تقریباً هر ذره‌ای در طبیعت پادماده‌ای با همان جرم ولی با مشخصه‌های مخالف دارد. پوزیترون یا پادالکترون نیز همان جرم الکترون را دارد ولی بار آن مثبت است.

پادماده به‌طور طبیعی در زمین وجود ندارد، ولی می‌تواند در برخوردهای پرانرژی تولید شود. وقتی فوتون پرانرژی با میدان الکتریکی یک اتم برخورد کند، فوتون می‌تواند تبدیل به یک الکترون و یک پوزیترون شود. همان‌طور که از بحث تبدیل ماده به انرژی می‌دانیم، تولید زوج نمونه‌ای از تبدیل انرژی به ماده است. حدود ۵۱۱۰۰۰eV انرژی لازم است تا یک الکترون یا یک پوزیترون تشکیل شود، بنابراین فوتون باید دست‌کم ۱۰۲۲۰۰۰ eV انرژی داشته باشد تا یکی از هر ذره را تولید کند. هر مقدار انرژی اضافی به انرژی جنبشی در دو ذره تبدیل خواهد شد.

پوزیترون مدت زیادی در بدن بیمار نمی‌ماند، بلکه به زودی با الکترون برخورد می‌کند و آن دو یکدیگر را نابود می‌کنند. الکترون و پوزیترون ناپدید می‌شوند و جرم آن‌ها تبدیل به انرژی می‌شود. در واقع فوتون‌هایی با انرژی کلّ، دست‌کم، ۱۰۲۲۰۰۰ eV به وجود می‌آید. بنابراین به‌طور خلاصه، در این فرایند، انرژی به ماده و سپس ماده به انرژی تبدیل می‌شود. این فرایند شگفت‌آور در پرتو درمانی با انرژی بالا وجود دارد به‌ویژه در انرژی‌های بالا، حدود 10^7 eV، کاملاً اهمیت پیدا می‌کند. شگفت‌آور نیست که به نابود کردن غده‌ها نیز کمک می‌کند.

درک خود را وارسی کنید: چیزهای خوب بیشترِ

پرسش: یک فوتون حدوداً چقدر انرژی داشته تا بتواند زوج پروتون- پادپروتون تولید کند؟

پاسخ: به حدود ۲×۱۰^{۹} eV نیاز دارد.

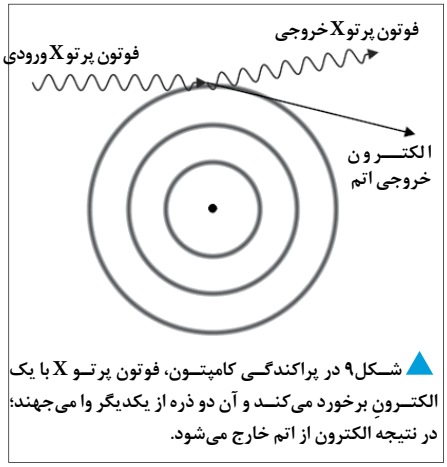
دلیل: پروتون حدود ۲۰۰۰ برابرِ الکترون جرم دارد، بنابراین تولیـد زوج پروتون- پادپروتون به حـدود ۲۰۰۰ برابر $۱۰^{۶}$ eV انرژی لازم برای تولید الکترون - پوزیترون نیاز دارد.

پرتوهای گاما

تولیـد فوتون‌هـای فوق‌العـاده پرانـرژی به آسـانی تولید فوتون‌های مورد استفاده در تصویربرداری با پرتو X نیست. اصولاً، یک منبع تغذیه می‌تواند اختلاف ولتاژ عظیمی در لامپ پرتو X تولید کند به‌طوری که الکترون‌های انرژی بالا بتوانند به اتم‌های فلز برخورد کنند و فوتون‌هایی با انرژی بسیار بالا به‌وجود آورند. ولـی منبع‌های تغذیهٔ میلیون ولتی پیچیـده و خطرناک‌اند. به همین دلیل به جای روش بالا، برای تولید آن‌ها تمهیدات دیگری به کار می‌رود. یکی از آسـان‌ترین راه‌هـا برای تولید فوتون‌های بسـیار پرانرژی واپاشـی ایزوتوپ‌های پرتوزا است. ایزوتوپی که خیلی در تابش درمانی متداول است کبالت ۶۰ (^{۶۰}Co) است. هسـتهٔ ^{۶۰}Co دارای نوترون‌های زیادی است و نظیر بسیاری از هسته‌های با نوترون زیاد، **واپاشی بتازا** پیدا می‌کند؛ یعنی یکی از نوترون‌هـای آن به یک پروتون، یک الکترون و یک نوترینو (یا دقیق‌تر، پادنوترینو) وامی‌پاشد. با شروع این واپاشی بتازا، ^{۶۰}Co وارد فرایندی از تبدیل‌ها می‌شود که در نهایت به تولید دو فوتون پرانـرژی می‌انجامد؛ یکی به میـزان ۱۱۷۰۰۰۰ eV و دیگری به میـزان ۱۳۳۰۰۰۰ eV. این فوتون‌ها به خوبی به بافت نفوذ می‌کنند و در از بین بردن غده‌ها بسیار مؤثرند. اگر چه فرایندی که در آن ^{۶۰}Co دو فوتون پرانرژی تولید می‌کند پیچیده اسـت، خود واپاشی بتازا نشان می‌دهد که پروتون‌ها، الکترون‌ها و نوترون تغییر ناپذیر نیستند و نشان می‌دهند که ذرات زیر اتمی دیگری در عالم ما وجود دارند. نوترون‌هایی که یا خودشان پرتوزا هستند و یا در هسـته‌هایی وجود دارند که تعـداد خیلی زیادی نوترون دارند و پرتوزا هسـتند و واپاشـی بتازا پیدا می‌کنند. وقتی این فرایند، یعنی واپاشی بتازا، در یک هستهٔ ^{۶۰}Co رخ دهد، الکترون با بار منفی و نوترینوی خنثی به سرعت از هسته فرار می‌کنند و پروتون تشکیل شدهٔ جدیدی به جا می‌ماند.

در این صورت هسـتهٔ قبلی(^{۶۰}Co) به نیـکل ۶۰ (^{۶۰}Ni) تبدیل می‌شود.

نوترنیـو یک ذرهٔ زیـر اتمی با جرم کم و بدون بار اسـت. نوترینوها در اتم‌های معمولی یافت نمی‌شوند و اگر چه در فیزیک هسـته‌ای و فیزیـک ذرات از اهمیت برخوردارند ولی مشـاهدهٔ مسـتقیم آن‌ها دشوار است. زیرا با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کننـد و به‌ندرت با چیزی برخورد می‌کنند. آن‌ها چون بار ندارنـد در نیروهای الکترومغناطیسـی نیز نقشی ندارند و برخـلاف نوترون که از نظر الکتریکی خنثی است، به آن‌ها نیروی هسـته‌ای وارد نمی‌شود. به آن‌ها فقط نیروی گرانشی و **نیروی ضعیف** وارد می‌شـود. که نیـروی ضعیف آخرین نیـرو از چهار **نیروی بنیادی** شناخته شده در عالم است: (سه نیروی بنیادی دیگر عبارت‌اند از: نیروی گرانشی، نیروی الکترومغناطیسی، و **نیروی قوی**- که شکل پیچیده‌تری از نیروی هسته‌ای است.) چون این نیرو ضعیف اسـت و فقط بین ذراتی وجود دارد که خیلی به‌هم نزدیک‌اند به‌ندرت خود را نشان می‌دهد. یکی از چند موردی که این نیرو در آن‌ها نقش مهمی دارد واپاشی بتازا است.



شـکل ۹ در پراکندگـی کامپتـون، فوتون پرتـو X با یک الکتـرونِ برخورد می‌کنـد و آن دو ذره از یکدیگر وا می‌جهند؛ در نتیجه الکترون از اتم خارج می‌شود.

نوترینـو که تقریباً راهی برای کشـیدن یا فشـار دادن ذرهٔ دیگری را ندارد، می‌تواند به آسانی از تمام زمین بگذرد. نوترینوها فقط گاهی به‌طور تصادفی و فقط به کمک آشکار سازهای عظیم آشکارسـازی شـده‌اند. به‌همین دلیل بود که دانشمندان، برای اولین بار، با اندازه‌گیری انرژی و تکانه، در قبل و بعد از واپاشـی، نشـان دادند که نوترینوها از نوترون‌های در حال واپاشی گسیل می‌شـوند. پروتون و الکترون ناشـی از واپاشی، انرژی و تکانه‌ای کلی را که نوترون قبل از واپاشـی داشت ندارند. دراینجا چیزی بایـد انـرژی و تکانهٔ گم شـده را با خود حمل کنـد، و آن چیز نوترینو اسـت. وقتی ^{۶۰}Co به ^{۶۰}Ni تبدیل شـد، واپاشـی کاملاً تمام نشـده است. هستهٔ ^{۶۰}Ni که تشکیل می‌شود هنوز دارای انرژی اضافی است. هسته‌ها دستگاه‌های پیچیدهٔ کوانتوم فیزیکی درسـت مثل اتم‌ها، هستند و حالت‌های برانگیخته نیز دارند. هستهٔ ^{۶۰}Ni در حالتی برانگیخته است و قبل از رسیدن به حالت پایه باید دوگذار تابشـی داشـته باشد. این گذارهای تابشی فوتون‌های بسیار پرانرژی یا پرتوهای گاما تولید می‌کنند که مشـخصهٔ هستهٔ ^{۶۰}Ni اسـت یکی از انرژی ۱۱۷۰۰۰۰ eV و دیگـری با انـرژی ۱۳۳۰۰۰۰ eV. پرتوهای گاما همان‌هایی هستند که پرتو درمانی با ^{۶۰}Co را ممکن می‌سازند.

درک خود را وارسی کنید: ملاقات با دارو فروش

پرسـش: اگر کسـی بخواهد یک بطری نوترینو به شـما بفروشـد باید آدم نادانی باشید که آن را بخرید. در مفهوم «یک بطری نوترینو» چه اشکالی وجود دارد؟

پاسخ: بطری نمی‌تواند نوترینوها را در خود نگه دارد زیرا به‌ندرت با آن‌ها برهم‌کنش می‌کند.

دلیل: چون فقط گرانشی و نیروی ضعیف برنوترینوها اثر دارند و بطری نمی‌تواند آن‌ها را زیاد در خود محفوظ دارد. در واقع، شما در همه‌وقت در نوترینوهای ناشی از خورشید غوطه‌ورید بدون اینکه خودتان متوجه باشید. آن‌ها به‌همان اندازهٔ خاک عادی‌اند و نمی‌توانید هیچ‌کاری بکنید.

شتاب دهنده‌های ذرات

تابش الکترو مغناطیسی تنها تابشی نیست که در درمان بیماران به‌کار می‌رود. برای این کار، ذرات پرانرژی مثل الکترون‌ها و پروتون‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ذرات سریع نظیر توپ‌های کوچک بیلیارد، با اتم‌های درون غده برخورد می‌کنند و آن‌ها را [از بافت] جدا می‌کنند. مطابق معمول، این آسیب اتمی و مولکولی یاخته‌ها را می‌کشد و غده‌ها را تخریب می‌کند. به‌هرحال، ایجاد ذرات زیر اتمی بسیار پرانرژی کار ساده‌ای نیست. با اینکه منبع‌های تغذیهٔ با ولتاژ بالا می‌توانند برای شتاب دادن الکترون یا پروتون تا حدود ۵۰۰۰۰۰ eV به‌کار روند، ولی بازهم این کافی نیست. وقتی یک ذرهٔ باردار وارد بافت می‌شود نیروهای الکتریکی توانمندی به آن وارد می‌شوند و ذره به آسانی از مسیرش منحرف می‌شود. پس، برای اطمینان از اینکه یک ذره مستقیم و درست به‌طرف غده می‌رود، باید انرژی فوق‌العاده زیادی داشته باشد. حال، برای اینکه به هر ذرهٔ باردار میلیون‌ها یا حتی میلیاردها الکترون ولت وارد شود، که در پرتو درمانی مورد نیاز است، باید از دستگاه شتاب دهندهٔ ذرات استفاده شود.

در شتاب دهنده‌های ذرات از کاواک‌هایی فلزی بهره می‌گیرند که نظیر خازن‌ها و آنتن‌ها عمل می‌کنند. هر ساختار فلزی تقریباً می‌تواند به‌طور هم‌زمان به دو صورت خازن و القاگر عمل کند و بنابراین دارای یک تشدید طبیعی برای به‌راه انداختن بار است. در کاواک‌های تشدیدی یک شتاب دهندهٔ ذرات، این «بار» به حرکت درمی‌آید و میدان‌های الکتریکی بسیار بزرگی تولید می‌کند که با گذشت زمان تغییر می‌کند. همین میدان‌های الکتریکی به ذرات باردار فشار می‌آورند تا آن‌ها به انرژی‌هایی باور نکردنی برسند.

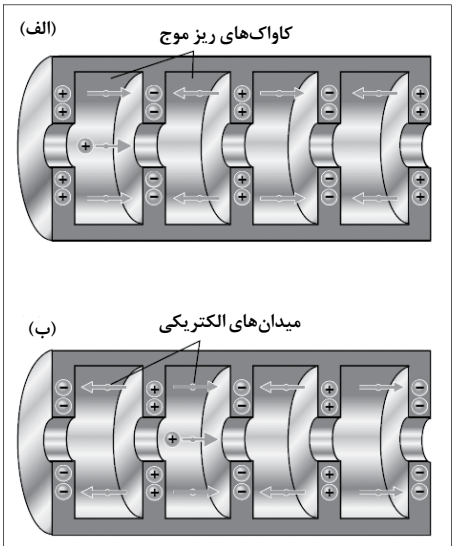
یک نوع مهم شتاب دهندهٔ ذرات شتاب دهندهٔ خطی است. در این وسیله میدان‌های الکتریکی در یک دسته کاواک‌های تشدیدی، ذرات را در خط مستقیمی به پیش می‌رانند (شکل ۱۰). در روی هر یک از این کاواک‌ها بارها به‌طور موزون به پس و پیش حرکت می‌کند. وقتی بستهٔ کوچکی از ذرات باردار از یک سوراخ وارد اولین کاواک می‌شود، ناگهان توسط میدان الکتریکی قوی درون آن کاواک به جلو رانده می‌شود (شکل ۱۰ - الف). بسته به جلو شتاب می‌گیرد و با انرژی جنبشی‌ای بیشتر از موقع ورود، اولین کاواک تشدیدی را ترک می‌کند؛ در اینجا میدان الکتریکیِ داخل آن کاواک روی بسته کار انجام داده است.

اگر میدان‌ها در کاواک‌ها ثابت بودند، میدان الکتریکی در کاواک دوم سرعت ذره را کاهش می‌داد. در شکل ۱۰، الف، می‌توانید ببینید که میدان‌های الکتریکی در کاواک دوم در جهت نادرست قرار دارد. وقتی بسته به کاواک دوم می‌رسد، باری که در دیواره‌های آن به حرکت افتاده است و نیز میدان الکتریکی وارون می‌شوند (شکل ۱۰ ب). بسته دوباره به پیش رانده می‌شود، و باز با انرژی جنبشی بیشتری از کاواک دوم خارج می‌شود.

هر کاواک تشدیدی در این رشته انرژی بسته را زیاد می‌کند، به‌طوری که رشتهٔ درازی از کاواک‌ها می‌توانند به هر بسته از ذرات باردار میلیون‌ها و حتی میلیاردها الکترون ولت انرژی بدهند. این انرژی ناشی از ژنراتورهای، ریزموج است که باعث حرکت پس و پیش بار در کاواک‌های تشدید شتاب‌دهنده می‌شود. شتاب‌دهندهٔ خطی با استفاده از وسیلهٔ مشابه درون لامپ تصویر تلویزیون، فقط باید ذرات باردار را به اولین کاواک وارد کند و آن ذره‌های باردار از آخرین کاواک با انرژی‌هایی باورنکردنی خارج می‌شوند (شکل ۱).

ولی، این روش شتاب‌دهی چند پیچیدگی دارد. مهم‌ترین آن‌ها این است که هر کاواک باید، در لحظهٔ درست، میدان الکتریکی‌اش را وارونه کند تا شتاب روی به جلوی بسته محفوظ بماند. برای سادگی عمل، همهٔ کاواک‌ها بسامد تشدیدی یکسانی دارند و میدان الکتریکی خود را هم‌زمان وارونه می‌کنند. از آنجا که بسته، مدت یکسانی را در هر کاواک می‌گذراند و چون با رفتن از یک کاواک به کاواک بعدی سرعت‌اش زیاد می‌شود، هر کاواک باید از قبلی درازتر باشد.

وقتی بسته به سرعت نور نزدیک می‌شود، چیز عجیبی اتفاق می‌افتد. افزایش انرژی بسته، در عبور از کاواک‌ها تداوم می‌یابد، ولی افزایش خیلی زیاد سرعت متوقف می‌شود. این



شکل ۱۰ در یک شتاب دهندهٔ خطی، ذرات باردارِ متحرک، میدان‌های الکتریکی که با زمان تغییر می‌کنند به پیش می‌رانند. (الف) موقعی که ذرهٔ مثبت متحرک در حال عبور از اولین کاواک از دسته کاواک‌های ریز موج است، میدانِ آنجا ذره را به پیش می‌راند. (ب) وقتی ذرهٔ باردار متحرک وارد دومین کاواک می‌شود، میدان‌ها وارونه می‌شوند و میدان آنجا دوباره ذره را به‌پیش می‌راند

اثر نتیجهٔ نسبیت خاص است؛ یعنی قاعده‌هایی که بر حرکت، در سرعت قابل مقایسه با سرعت نور حاکم است. همان‌طور که می‌دانیم ارتباط ساده‌ای بین انرژی جنبشی و سرعت وجود دارد ($ق = \frac{1}{2} ک ع^2$).

این معادله برای اجسامی که تقریباً با سرعت نور حرکت می‌کنند دیگر معتبر نیست و به‌جای آن باید از معادله $ق = \frac{ک ع^2}{\sqrt{1 - \frac{ن^2}{ع^2}}}$ استفاده کرد. به‌عنوان نتیجهٔ بیشتری از نسبیت، بسته می‌تواند به سرعت نور نزدیک شود ولی در عمل نمی‌تواند به آن برسد. اگر چه انرژی جنبشی ذرهٔ باردار می‌تواند به‌طور غیرعادی بزرگ باشد، سرعتش محدود به سرعت نور است.

چون افزایش سریع سرعت بسته، پس از گذشتن از چند کاواک اولیهٔ شتاب‌دهندهٔ خطی، به‌طور قابل ملاحظه‌ای کم می‌شود، طول کاواک‌های باقیمانده می‌تواند ثابت باشد. فقط چند کاواک اول باید به‌نحو خاصی طراحی شوند تا افزایش سرعت بسته درون آن‌ها به حساب آورده شود. ذرات باردار خارج شده از شتاب‌دهنده نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کنند. آن‌ها از دریچهٔ فلزی نازکی که هوا را بیرون از شتاب‌دهنده نگه‌می‌دارد می‌گذرند و وارد بدن بیمار می‌شوند. انرژی آن‌ها به‌قدرت زیاد است که قبل از متوقف شدن به عمق بافت نفوذ می‌کنند.

درک خود را وارسی کنید: بازیافت ذره

پرسش: در بسیاری از شتاب‌دهنده‌های پژوهشی، هر بسته از الکترون‌ها را چندین بار به رشتهٔ یکسانی از کاواک‌های تشدیدی می‌فرستند. پس از آنکه بسته از آخرین کاواک خارج شد، آهنرباها آن را به دور دایره‌ای هدایت می‌کنند و آن را دوباره به کاواک‌ها پس می‌فرستند. با هر عبور از کاواک‌ها، بستهٔ انرژی بیشتری به‌دست می‌آورد، بنابراین چگونه می‌توانند با میدان‌های الکتریکی وارونه شونده در کاواک‌ها هماهنگ بمانند؟

پاسخ: بسته با سرعت نزدیک به سرعت نور در حرکت است، از این رو با افزایش انرژی سرعت آن چندان تغییر نمی‌کند.

دلیل: اگر سرعت ذره با هر بار گذشتن از کاواک‌ها افزایش می‌یافت، با میدان‌های الکتریکی وارونه شوندهٔ درون آن‌ها هماهنگ نمی‌ماند. ولی، سرعت ذرات وقتی به سرعت نور نزدیک شد چنان ثابت است که می‌تواند بدون هیچ مشکلی بارها و بارها از کاواک‌ها بگذرد.

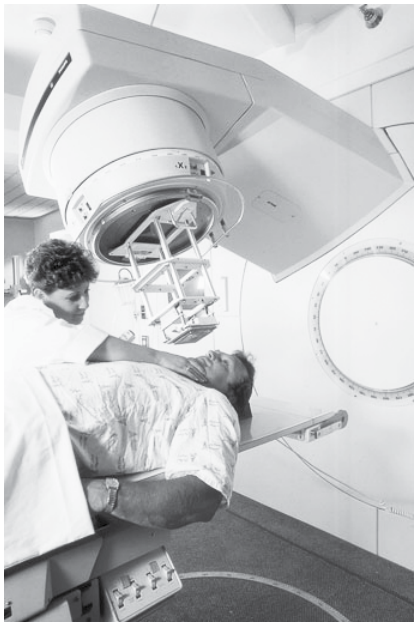
تصویربرداری با تشدید مغناطیسی

اگرچه پرتوهای X در تصویربرداری از استخوان‌ها بسیار خوب عمل می‌کنند، اما برای تصویربرداری از بافت‌ها مناسب نیستند. روش بهتر برای مطالعهٔ بافت، تصویربرداری با تشدید مغناطیسی یا MRI است. این روش محل اتم‌های هیدروژن را از طریق برهم‌کنش با هسته‌های مغناطیسی آن‌ها پیدا می‌کند. چون هیدروژن در آب و مولکول‌های آلی وجود دارد، یافتن اتم‌های هیدروژن راه خوبی برای مطالعهٔ بافت‌های زیستی است.

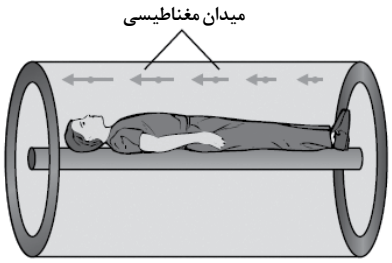
هستهٔ یک اتم هیدروژن معمولی، ^1H، یک پروتون است. این پروتون، نظیر الکترون‌ها، دو حالت کوانتومی ممکن دارد، که معمولاً اسپین بالا و اسپین پایین نامیده می‌شود. نامیدن این دو حالت به‌صورت اسپین مناسب است زیرا پروتون‌های اسپین بالا و اسپین پایین تکانهٔ زاویه‌ای مساوی ولی در جهت‌های مخالف دارند. وقتی بار الکتریکی و اسپین، هر دو، وجود داشته باشد، وجود مغناطیس تعجب‌آور نیست، چون جریان‌های الکتریکی مغناطیسی هستند. بدون شک پروتون‌ها دوقطبی‌های مغناطیسی دارند؛ قطب‌های شمال و جنوب مساوی در فاصله‌ای از یکدیگر. پروتون اسپین بالا چنان عمل می‌کند که گویا دارای قطب شمال در بالاست، درحالی‌که پروتون اسپین پایین چنان عمل می‌کند که گویا قطب جنوب آن در بالاست.

وقتی یک پروتون وارد میدان مغناطیسی شد دو قطبی مغناطیسی آن در جهت میدان قرار می‌گیرد، که با این کار انرژی پتانسیل مغناطیسی آن کمینه می‌شود. ولی اگر چه پروتون‌ها در صفر مطلق کاملاً با میدان هم‌خط می‌شوند، اما در حوالی دمای اتاق توفیق کمتری دارند. انرژی گرمایی پروتون‌ها را آشفته می‌سازد به‌طوری که در یک میدان مغناطیسی قوی رو به بالا، انرژی پروتون‌های اسپین بالا از پروتون‌های اسپین پایین کمی بیشتر است.

در میدان مغناطیسی رو به بالا، هر پروتون دو حالت کوانتومی ممکن دارد؛ یکی در جهت با میدان (اسپین بالا) و دیگری در خلاف جهت میدان (اسپین پایین). چون قرار گرفتن در جهت میدان، انرژی پتانسیل مغناطیسی پروتون را کاهش می‌دهد، این



شکل ۱۱. این دستگاه پرتو درمانی، برای تولید ذرات زیراتمی با انرژی فوق‌العاده زیاد از شتاب‌دهندهٔ خطی استفاده می‌کند. این ذرات به عمق بدن بیمار نفوذ می‌کنند تا یک غدهٔ سرطانی را از بین ببرند. خود شتاب‌دهندهٔ خطی در اتاقک پشت این دستگاه از دید پنهان است ولی باریکهٔ پرتوهای آن، توسط آهنرباهایی در یک بازوی قابل چرخش، به طرف محل مورد نظر، در بدن بیمار هدایت می‌شود. بازو در طی درمان به تناوب حرکت می‌کند به‌طوری که باریکهٔ پرتوهای آن از جهت‌های متفاوت به غده برمی‌خورد درحالی‌که به بافت سالم مجاور آسیب کمتری می‌رساند. این راهبرد چند جهتی به‌طور وسیع در درمان با پرتو X و پرتو گاما نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۲. دستگاه MRI بیمار را در یک میدان مغناطیسی قرار می‌دهد. این میدان، برحسب مکان تغییر می‌کند، به‌طوری که به پروتون‌های در محل‌های متفاوت از بدن بیمار، در میدان‌های متفاوتی قرار گیرند و فوتون‌های موج رادیویی مختلفی را جذب می‌کنند.

حالت پایه است - با حالت کمترین انرژی. حالت در خلاف جهت میدان حالت برانگیخته‌است.

با این دو حالت ممکن، یعنی حالت پایه و حالت برانگیخته، پروتون در یک میدان مغناطیسی می‌تواند رفتارهای گوناگونی را از خود بروز دهد. مهم‌ترین آن‌ها گذار تابشی پروتون بین دو حالت می‌تواند گذارهای تابشی داشته باشد. پروتون حالت پایه می‌تواند فوتونی را **جذب** کند و گذار تابشی به حالت برانگیخته‌اش داشته باشد، و پروتون حالت برانگیخته می‌تواند فوتونی را **گسیل** کند و به حالت پایه انتقال یابد.

همان‌طور که می‌دانیم یک اتم معین می‌تواند فقط فوتون‌های معینی را جذب یا گسیل کند، و آن‌ها فوتون‌هایی هستند که دقیقاً مقدار مناسب انرژی برای گذار از یک حالت کوانتومی به حالت کوانتومی دیگر داشته باشند. برای مثال، علامت‌های نئون قرمزند، زیرا اتم‌های نئون حالت‌هایی دارند که انرژی آن‌ها به اندازهٔ انرژی فوتون‌های قرمز از هم فاصله دارند. به همین ترتیب، پروتون در یک میدان مغناطیسی می‌تواند فقط فوتون‌های معینی را جذب یا گسیل کند، یعنی فوتون‌هایی که حامل مقدار درست انرژی برای گذار پروتون از یک حالت کوانتومی به حالت کوانتومی دیگرند.

ولی، بر خلاف اتم نئون، که همواره با فوتون‌های قرمز برهم کنش می‌کند، پروتون واقع در میدان مغناطیسی، با فوتون‌هایی برهم‌کنش می‌کند که «رنگ» آن‌ها بسته به‌شدت میدان مغناطیسی تغییر می‌کنند. زیرا اختلاف انرژی دو حالت پروتون با میدان مغناطیسی‌ای که در آن قرار دارد متناسب است؛ در نتیجه، انرژی مورد نیاز پروتون برای ایجاد گذارهای تابشی بین دو حالت پروتون نیز متناسب با میدان مغناطیسی است. اگر میدان تغییر کند، انرژی فوتون نیز تغییر می‌کند. وقتی بیمار وارد میدان مغناطیسی قوی دستگاه MRI می‌شود (شکل‌های ۱۲ و ۱۳)، پروتون‌های بدن او به میدان واکنش نشان می‌دهند که در نتیجه تعداد پروتون‌های هم‌خط شده کمی زیاد می‌شود. تنها همین پروتون‌های هم‌خط شدهٔ اضافی هستند که برای دستگاه MRI اهمیت دارند زیرا اثرهای ناشی از بقیهٔ پروتون‌ها، که به مقدار مساوی در جهت میدان و در جهت مخالف آن هستند، کاملاً خنثی می‌شود.

به‌عبارت دیگر، پروتون‌های در جهت میدان اضافی در حالت پایهٔ خود همان‌هایی هستند که دستگاه MRI آن‌ها را بررسی می‌کند.

دستگاه MRI، با استفاده از فوتون‌های موج رادیویی، با این پروتون‌های در حالت پایه بر هم کنش می‌کند - فوتون‌هایی با انرژی‌هایی درست برابر با اختلاف انرژی بین حالت‌های پایه و برانگیخته پروتون‌ها می‌توانند فوتون‌های موج رادیویی را جذب و سپس گسیل کنند، و نیز می‌توانند اثرهای تداخلی کوانتومی گوناگون خیره کننده و مفیدی از خود نشان دهند.

اگر بر پروتون‌های بدن بیمار میدان‌های مغناطیسی یکسانی اثر می‌کرد، همهٔ آن‌ها با فوتون‌های موج رادیویی یکسانی برهم کنش می‌کردند، ولی بر همهٔ پروتون‌ها میدان‌های یکسانی اثر نمی‌کند. دستگاه MRI طوری است که تغییر فضایی اندکی در میدان مغناطیسی خود ایجاد می‌کند؛ و چون میدان مغناطیسی برای پروتون‌های مختلف تفاوت دارد، فقط بعضی از آن‌ها می‌توانند با فوتون‌های موج رادیویی با یک انرژی خاص برهم‌کنش کنند. همین برهم‌کنش گزینشی است که چگونگی قرار گرفتن پروتون‌ها در بدن بیمار را مشخص می‌کند.

دستگاه MRI، در ساده‌ترین شکل خود، یک میدان مغناطیسی، تابع مکان به بدن شخص بیمار اعمال می‌کند. این دستگاه سپس موج‌های رادیویی مختلفی را به بدن بیمار می‌فرستد و برهم‌کنش فوتون‌های موج رادیویی با پروتون‌ها را دنبال می‌کند. چون فقط پروتونی که میدان مغناطیسی مناسب بر آن اثر می‌کند می‌تواند با فوتون موج رادیویی خاصی برهم‌کنش کند، دستگاه MRI می‌تواند تعیین کند که هر پروتون در کجا با فوتون‌ها برهم‌کنش می‌کند. با تغییر آرایش فضایی میدان مغناطیسی و تنظیم انرژی‌های فوتون‌های موج رادیویی، دستگاه MRI به‌تدریج محل پروتون‌ها را در بدن بیمار، تشخیص می‌دهد. این دستگاه نقشه‌ای سه‌بعدی با جزئیات از اتم‌های هیدروژن به‌وجود می‌آورد. یک رایانه این نقشه را بررسی می‌کند و تصویرهایی مقطعی با زاویه‌های مختلف از بدن بیمار به نمایش می‌گذارد.

درک خود را وارسی کنید: آهنرباهای اصلی

پرسش: بعضی از جدیدترین مدل‌های دستگاه‌های MRI از میدان مغناطیسی فوق‌العاده قوی استفاده می‌کنند. وقتی میدان مغناطیسی دستگاه قوی‌تر می‌شود، برای موج‌های رادیویی که برای برهم‌کنش با پروتون‌های درون بدن بیمار به‌کار می‌روند چه اتفاقی باید بیفتد؟

پاسخ: هر فوتون موج رادیویی باید حامل انرژی بیشتری باشد (موج‌های رادیویی باید بسامدهای بالاتری داشته باشند).

پی‌نوشت‌ها

1. Bremsstrahlung
2. X-Ray fluorescence
3. Characteristic X-Ray

منبع

How Things Work
Louis A. Bloomfield,
4th Edition, 2010

پژوهشی

پیش‌نیازی به‌نام خلاء

مریم صابری، کارشناس ارشد آموزش فیزیک

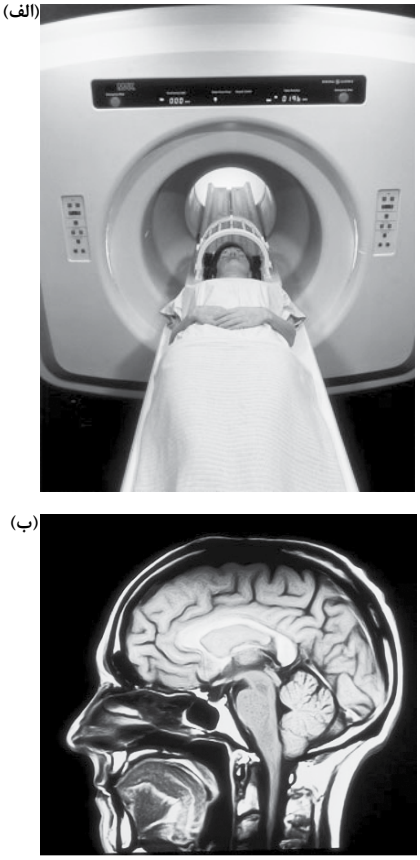
چکیده

این مقاله یک تحقیق کیفی از میزان درک دانش‌آموزان دبیرستان از مبحث خلأ است. مبحثی که شاید ظاهراً در محتوای فیزیک دبیرستان مطرح نشود اما برای آموزش مطالبی مثل سقوط آزاد، میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی و ... کاربرد زیاد دارد. در این مطالعه خواهیم دید برخلاف تصور دبیران فیزیک، دانش‌آموزان هیچ درک درستی از مفهوم خلأ ندارند لذا در درک مباحث بالا که خلأ پیش‌نیازشان محسوب می‌شود، به‌شدت ناتوان‌اند. همچنین نتایج نشان می‌دهد زمانی که دانش‌آموزان قبل از تدریس این مباحث، ابتدا پیش‌نیاز خلأ را به‌درستی آموزش ببینند، مشکلات بسیار کمتری نسبت به سایرین خواهند داشت.

کلیدواژه‌ها: خلأ سقوط آزاد، پیش‌نیاز، کج‌فهمی

۱. مقدمه

علت اینکه مبحث خلأ را جهت بررسی انتخاب کردم آن بود که پیش از انجام این کار ضمن انجام دو تحقیق دیگر دربارهٔ مشکلات دانش‌آموزان در مبحث «سقوط آزاد» و همچنین کج‌فهمی‌های آن‌ها در زمینهٔ «مفهوم میدان» دریافتم که تعدادی از پاسخ‌های دانش‌آموزان به‌وضوح نشانگر عدم آشنایی صحیح آن‌ها با خلأ است. در ریشه‌یابی علل این مشکل، با جست‌وجو در کتاب‌های علوم، شیمی و فیزیک جهت بررسی کیفیت محتوای اختصاص یافته به مبحث خلأ مشخص شد مطلبی که به آموزش مؤثر خلأ پرداخته باشد وجود ندارد. دانش‌آموزان تنها در یک جمله در علوم دوم راهنمایی می‌آموزند که «امواج الکترومغناطیسی برخلاف امواج



(الف)

(ب)

▲ شکل ۱۳ (الف). بیمار در حال ورود به میدان مغناطیسی قوی یک دستگاه تصویربرداری با تشدید مغناطیسی (MRI) است. با استفاده از بر هم کنش‌های میان موج‌های الکترومغناطیسی و پروتون‌ها، که در میدان‌های مغناطیسی رخ می‌دهد، دستگاه MRI نقشه‌ای سه‌بعدی از اتم‌های هیدروژن موجود در بدن بیمار تهیه می‌کند.

دلیل: هر چه میدان مغناطیسی‌ای که پروتون در آن قرار می‌گیرد قوی‌تر باشد اختلاف انرژی دوحالت پروتون [حالت پایه و حالت برانگیخته] بیشتر می‌شود. در این صورت، دستگاه MRI باید از بسامدهای بالاتری استفاده کند و موج‌های رادیویی پرانرژی‌تر باشند تا باعث گذارهای تابشی میان آن دو حالت شوند. استفاده از میدان‌های مغناطیسی فوق‌العاده قوی مزایای زیادی دارد که **نوفهٔ پایین‌تر** و تفکیک مکانی بهتر تصویر از آن جمله است. ولی، میدان‌های مغناطیسی این دستگاه‌های MRI پیشرفته چنان قوی هستند که می‌توانند اطلاعات موجود در کارت‌های اعتباری سرتاسر اتاق را پاک کنند و اشیای فولادی را از جیب‌های شما درآورند!

صوتی در خلأ نیز منتشر می‌شوند.» همچنین از صحبت با چند تن از معلمان علوم متوجه شـدم که همگـی خلأ را به‌صورت «جایی که در آن هوا نباشد» تعریف می‌کنند و از نظر خودشان توضیح‌شان تا حدی است که دانش‌آموزان قانع شوند نور از خلأ عبور می‌کند، مثل نور خورشید که از فضا عبور می کند و به ما می‌رسد، ولی انتشار صوت به وجود هوا احتیاج دارد. اما مسلماً خـلأ در هیچ مرحلهٔ دیگری از تدریس جایگاهی ندارد. در این مطالعه تأثیر آموزش پیش‌نیاز خلأ قبل از مباحث سـقوط آزاد و میدان الکتریکی در بهبود وضعیت آموزشی بررسی می‌شود.

۲. ضرورت تحقیق

دانش‌آمـوزان تـا ورود به دبیرسـتان تنهـا تعریف خلأ را آموخته‌انـد و دربارهٔ ویژگی‌های خلأ، وضعیت اجسـام در خلأ، چگونـه می‌توان خلأ را ایجاد کـرد، در کجا خلأ وجود دارد و ... هیچ اطلاعاتی ندارند. به‌نظر می‌رسـد معلمان علوم، تدریس خلأ را در حد تعریف آن کافی می‌دانند و کسب اطلاعات بیشتر را به مقطع دبیرسـتان موکول می‌کنند. در شیمی کلاس اول دبیرسـتان، طی مطلب کوتاهی نشان داده شده است زمانی‌که بـا پمپ خلأ هوای داخل یک حلب روغن را خالی کنیم، حلب مچاله می‌شود.

درواقع دانش‌آموزان در مدرسـه آشـنایی مقدماتی با خلأ پیدا می‌کنند اما به‌نظر می‌رسد، قسمت اعظم تصورشان نسبت به خلأ از فیلم‌های علمی تلویزیون، اینترنت، مجله‌ها و ... شکل می‌گیرد. از آنجا که بیشـترین کاربرد ایـن واژه در برنامه‌های مربوط به فضاسـت، لذا پیوند محکمی بیـن دو مقولهٔ «فضا و خلأ» در ذهن بچه‌ها ایجاد می‌شـود. حال با این درک ناقص و تصورات نادرسـت وارد کلاس فیزیک دوم دبیرستان می‌شوند و معلـم و کتاب فیزیک با فرض بدیهی بودن و آشـنایی کامل بچه‌هـا با پیش‌نیاز خلأ، به‌راحتی مبحث جدید سـقوط آزاد را براساس خلأ پایه‌ریزی می‌کنند و انتظار دارند که دانش‌آموزان مفاهیم پیچیـدهٔ آن را درک کنند. حتی از اینکه دانش‌آموزان نمی‌توانند تصور کنند شتاب سقوط آزاد همهٔ اجسام با هم برابر است تعجب می‌کنند.

از طرف دیگر بررسی کتاب‌های درسی دیگر کشورها نشان می‌دهد، برای تدریس مبحث سقوط آزاد، از واژهٔ تخصصی خلأ اسـتفاده نشده است و شرایطی درنظر گرفته می‌شود که تأثیر مقاومت هوا ناچیز باشد. اما چون ما چندین بار در کتاب‌هایمان واژهٔ خلأ را به‌کار برده‌ایم لازم است آشنایی کافی در این زمینه به دانش‌آموزان داده شود.

۳. روش تحقیق

در ایـن مطالعه میـزان درک دانش‌آمـوزان کلاس دوم از سـقوط آزاد و دانش‌آموزان کلاس سـوم از مبحث میدان بین گروهـی که پیش‌نیـاز خلأ را آموزش دیده‌انـد (به‌عنوان گروه آزمایش) و گروهی که آموزش ندیده‌اند (به‌عنوان گروه کنترل) مقایسه می‌شود. به این منظور مبحث خلأ در مبحث سقوط آزاد به کلاس دوم تجربی (۳۴ نفر) و در بخش میدان مغناطیسی به کلاس سـوم تجربی(۱۱ نفر) آموزش داده شد. کلاس‌های دوم ریاضی (۱۴ نفر) و سوم تجربی ۱ (۳۴ نفر) به‌عنوان گروهی که مورد آموزش پیش‌نیاز خلأ قرار نگرفته‌اند، انتخاب شدند.

در پرسـش ۱ تا ۳ از بچه‌ها خواسـته شـد خلأ را تعریف کنند و بیان کنند آیا شـرایط خلأ را دیده‌اند و آیا می‌توان این شرایط را در آزمایشگاه ایجاد کرد؟ چگونه؟ در پرسش ۴ و ۵ از آن‌ها خواسته شد دربارهٔ وجود نیروهای مغناطیسی، گرانشی و الکتریکی در خلأ اظهارنظر کنند.

جدول۱. دسته‌بندی پاسخ‌های دانش‌آموزان به پرسش‌های ۱ تا ۳

کلاس پاسخ‌ها	دوم تجربی	دوم ریاضی	سوم تجربی ۱
۱. خلأ جایی است که هوا نباشد.	۸۳ درصد	۷۸ درصد	۵۶ درصد
۲. خلأ جایی است که هوا نباشد و اجسام معلق‌اند.	۶ درصد	۲۱ درصد	۶ درصد
۳. تاکنون شرایط خلأ را مشاهده نکرده‌ایم.	۷۳ درصد	۹۲ درصد	۸۸ درصد
۴. شرایط خلأ در فضا یا خارج از جو وجود دارد.	۵۳ درصد	۵۰ درصد	۴۱ درصد
۵. می‌توانیم در آزمایشگاه شرایط خلأ ایجاد کنیم.	۹۴ درصد	۱۰۰ درصد	۹۷ درصد
۶. به‌کمک پمپ خلأ می‌توان در آزمایشگاه شرایط خلأ ایجاد کرد.	۷۰ درصد	۷۹ درصد	۵۳ درصد

جدول ۲: دسته‌بندی پاسخ‌های دانش‌آموزان به پرسش‌های ۴ و ۵

کلاس پاسخ‌ها	دوم تجربی	دوم ریاضی	سوم تجربی ۱
درصد افرادی که معتقدند نیروی مغناطیسی در خلأ وجود دارد.	۶۵ درصد	۳۶ درصد	۵۹ درصد
درصد افرادی که معتقدند نیروی گرانشی در خلأ وجود دارد.	۷۱ درصد	۷ درصد	۳۲ درصد
درصد افرادی که معتقدند نیروی الکتریکی در خلأ وجود دارد.	۵۶ درصد	۲۹ درصد	۳۵ درصد

دانش‌آموزان در مدرسه آشنایی مقدماتی با خلأ پیدا می‌کنند اما به‌نظر می‌رسد، قسمت اعظم تصورشان نسبت به خلأ از فیلم‌های علمی تلویزیون، اینترنت، مجله‌ها و ... شکل می‌گیرد

پررنگ‌ترین استدلال دانش‌آموزان برای عدم وجود نیروها در خلأ اشاره به عدم وجود مولکول‌های هواست و اینکه چون مولکول هوایی وجود ندارد پس نیرویی منتقل نمی‌شود

۴. تجزیه و تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان

● بررسی‌ها نشان می‌دهد بیش از ۷۰ درصد دانش‌آموزان «تعریف» درستی از خلأ دارند؛ اما صِرف تعریف درست به‌معنی شناخت کافی از موضوع نیست و همان‌گونه که در ادامه خواهید دید دانش‌آموزان هیچ «درک درستی» از شرایط خلأ ندارند.

● حدود ۵۰ درصد کل دانش‌آموزان معتقدند خلأ را تنها در فضا می‌توان یافت و همین موضوع ریشهٔ بسیاری از پاسخ‌های نادرست آن‌هاست. (از جمله: اجسام در خلأ معلق می‌مانند.)

● با وجودی که مبحث سقوط آزاد در کلاس دوم تدریس شده است اما تنها یک نفر (۷ درصد) از دانش‌آموزان دوم ریاضی (گروه کنترل) معتقد است در خلأ نیروی گرانشی وجود دارد، آن هم با استدلالی نادرست" «در بعضی سیارات نیروی گرانشی کمی وجود دارد.»

● استدلال دیگری که در بین پاسخ‌ها بسیار به چشم می‌خورد به‌وضوح نشانگر عدم آشنایی دانش‌آموزان با مقولهٔ خلأ است. بسیاری از دانش‌آموزان (۲۰ نفر) معتقدند در خلأ هیچ چیزی نداریم و هیچ نیرویی نیز نداریم.

● پررنگ‌ترین استدلال دانش‌آموزان برای عدم وجود نیروها در خلأ اشاره به عدم وجود مولکول‌های هواست و اینکه چون مولکول هوایی وجود ندارد پس نیرویی منتقل نمی‌شود. (شاید برای دانش‌آموزان ما نیز مانند دانشمندان قرن ۱۹ام درک اینکه چگونه کنش‌ها از دور اتفاق می‌افتد مشکل است و آن‌ها نیز در ذهن خود به‌دنبال میانجی‌ای می‌گردند که باعث انتقال برهم‌کنش‌ها می‌شود، اما از آنجا که ما به‌درستی ذهن آن‌ها را هدایت نکرده‌ایم، آن میانجی را هوا درنظر می‌گیرند نه «میدان».)

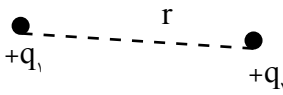
● در تمامی استدلال‌ها واژهٔ «نیروی گرانشی» تنها به‌معنی نیروی گرانشی است که زمین یا سایر سیارات به اجسامی که در نزدیکی آن‌ها قرار دارند وارد می‌کنند. حتی یک نفر هم به نیروی گرانشی به‌عنوان نیرویی که هر دو جسم به واسطهٔ جرمشان به‌هم وارد می‌کنند نگاه نکرده است.

● در مواردی که موضوع قبلاً در برنامهٔ درسی دانش‌آموزان وجود داشته است، پاسخ‌هایی هماهنگ‌تر، مشابه و قاطعانه‌تر دیده می‌شود. مثلاً در پاسخ به پرسش «چگونه می‌توان در آزمایشگاه شرایط خلأ ایجاد کرد؟» حدود ۷۰ درصد کل دانش‌آموزان استفاده از پمپ خلأ را پیشنهاد کرده‌اند و یا در مورد دانش‌آموزان کلاس سوم، بسیاری از آن‌ها با استناد به این جملهٔ کتاب درسی «دو آهنربا حتی در خلأ هم به‌هم نیرو وارد می‌کنند» وجود نیروی مغناطیسی در خلأ را تأیید کرده‌اند.

● ۷۱ درصد دانش‌آموزان این کلاس معتقدند حذف مولکول‌های هوا باعث حذف گرانش نمی‌شود که در مقایسه با کلاس دوم ریاضی که تنها ۷ درصد آن‌ها وجود گرانش را در خلأ تأیید کردند نشانگر تأثیر مثبت آموزش در درک آن‌ها بوده است.

در کلاس سوم تجربی یکی از پرسش‌هایی که در مبحث میدان الکتریکی از خلأ مطرح می‌شود به‌صورت زیر بود:

پرسش: دو بار الکتریکی $+q_1$ و $+q_2$ را یک بار در شرایط خلأ و یک بار در آب به فاصلهٔ r نسبت به‌هم قرار می‌دهیم. اندازهٔ نیروی الکتریکی را که این دو بار بر هم وارد می‌کنند در این حالت با هم مقایسه کنید.



الف. در هر دو حالت بارها هیچ نیرویی به‌هم وارد نمی‌کنند، چون تنها هواست که می‌تواند انرژی الکتریکی را بین دو بار منتقل کند.

ب. در حالت خلأ هیچ نیرویی به‌هم وارد نمی‌کنند، چون برای انتقال نیرو به یک محیط مادی نیاز است.

ج. در هر دو حالت نیرو وارد می‌شود اما چون اندازهٔ نیرو به محیط بستگی دارد لذا اندازهٔ نیرو در دو حالت برابر نیست.

د. اندازهٔ نیرو در هر دو حالت برابر است، چون اندازهٔ نیرو به اندازهٔ بارها و فاصلهٔ آن‌ها بستگی دارد و به محیط وابسته نیست.

در این پرسش رایج‌ترین گزینه‌ها که بیشترین میزان کج‌فهمی را نیز داراست، گزینه‌های الف و ب است. در این کلاس هیچ دانش‌آموزی این دو گزینه را انتخاب نکرد که می‌تواند نشانگر برطرف شدن بخشی از کج‌فهمی‌های آن‌ها در اثر آموزش باشد.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تحلیل پرسشنامه‌ها به‌وضوح نشان داد که دانش‌آموزان نسبت به خلأ به‌عنوان پیش‌نیاز بسیاری از مباحث فیزیک درک درستی ندارند. از نظر بسیاری از آنان خلأ صرفاً در فضا وجود دارد و اجسام در خلأ معلق می‌مانند. اما آیا ضعف اصلی مربوط به نظام آموزشی (کتاب و معلم) است یا دانش‌آموز؟! نگاهی جامع به کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی و همچنین شیمی نشان می‌دهد هیچ محتوایی که صرفاً به آموزش خلأ پرداخته باشد وجود ندارد. بدین معنی که ما هرگز خلأ را به دانش‌آموز، آموزش نداده‌ایم. این غفلت ما و ناآگاهی دانش‌آموزان از مقولهٔ خلأ، موجب ایجاد مشکلات بعدی در مباحثی مانند سقوط آزاد و میدان می‌شود. لذا لزوم توجه به پیش‌نیازهای مباحث و همچنین پیش‌دانسته‌های دانش‌آموزان نمایان می‌گردد.

کارنمای ماهانه فیزیک

زهرا پرویزی، تهران، دانشگاه فرهنگیان، تربیت‌معلم شهدای مکه، گروه فیزیک
تهمینه بازگیر، تهران، دانشگاه فرهنگیان، تربیت‌معلم شهدای مکه، گروه علوم تربیتی

ارزشیابی

چکیده

با توجه به روش‌های نوین آموزش و نیز با توجه به انواع یادگیری در درس فیزیک، کارنمایی تهیه شده است که می‌تواند به‌صورت ماهانه تغییرات رفتاری و نگرشی دانش‌آموزان را بسنجد. این کارنما حیطه‌های مهارت و دانستنی‌ها، نگرش، سنجش دانستنی و مهارت و فعالیت خارج از کلاس را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. با این نوع سنجش، نقاط قوت و ضعف دانش‌آموزان مشخص می‌شود و برنامه‌ریزی درسی منطبق با راهکارهایی در جهت رفع ضعف درسی دانش‌آموز اجرا می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: ارزشیابی، کارنما، درس فیزیک، مهارت، دانش، نگرش، سنجش

۱.مقدمه

ارزشیابی از ارکان مهم فرایند یاددهی- یادگیری، بخشی از برنامهٔ درسی و آموزشی، و ابزاری است که میزان موفقیت معلم در رسیدن به اهداف آموزشی را مشخص می‌کند. به دانش‌آموزان در یادگیری کمک می‌کند و معنی آن، فقط امتحان و نمره دادن نیست. برای قضاوت درباره جنبه‌های یادگیری دانش‌آموزان، کارنمایی تدوین شد تا در پایان هر ماه بتوان گزارشی از تمام مراحل و حیطه‌های یادگیری دانش‌آموزان ارائه داد.

۲. ارزشیابی

ارزشیابی یعنی جمع‌آوری اطلاعات از آموخته‌های دانش‌آموزان و قضاوت در مورد حدود آن آموخته‌ها. به عبارت دیگر، ارزشیابی یک فرایند نظام‌یافته برای جمع‌آوری، تحلیل و تفسیر اطلاعات است تا تعیین شود که هدف‌های مورد نظر تا چه تحقق یافته یا در حال تحقق یافتن هستند.[۱]

اطلاعات مورد نظر برای سنجش یادگیری از راه‌های زیادی قابل دستیابی‌اند که از آن جمله می‌توان به آزمون، پرسشنامه، فهرست وارسی، پروژهٔ تحقیقی، امتحان شفاهی، کار در آزمایشگاه، تکلیف درسی، مصاحبه و مشاهدهٔ عملکرد دانش‌آموزان در موقعیت‌های مختلف اشاره کرد. سانتروک گفته است: مشاهدات غیررسمی می‌تواند دربارهٔ میزان انگیزش دانش‌آموزان نسبت به یادگیری موارد درسی اطلاعات مفیدی به معلمان بدهد.[۲]

۳. ارزشیابی مستمر

ارزشیابی عملکرد دانش‌آموز طی فعالیت‌های گوناگون داخل کلاس و نیز فعالیت‌های خارج از کلاس را ارزشیابی مستمر می‌گویند. در هر مرحله معلم باید آموزش را با مهارت، دانش و نگرش دانش‌آموزان شروع کند.[۳] امروزه ارزشیابی بیشتر براساس عملکرد دانش‌آموز و به‌صورت مستمر و نه مقطعی انجام می‌گیرد، زیرا آموزش علوم، فرایند تولید مفاهیم است و ارزشیابی از این آموخته‌ها نیز در طی همین فرایند یک ارزشیابی معتبر است. در بسیاری از موارد سنجش، نوشتن به تنهایی کفایت نمی‌کند بلکه وسایل، ابزارها و تجهیزات دیگری نیز مورد نیاز است. در این موارد دانش‌آموز هم با استفاده از وسایل کاری انجام می‌دهد و هم گاهی دربارهٔ کار خود گزارشی می‌نویسد. معلم می‌تواند عملکرد دانش‌آموز را در طرح‌های گروهی هم بسنجد. در این طرح دو یا چند تن از دانش‌آموزان همکاری می‌کنند. هدف اصلی این است که معلوم شود آیا دانش‌آموزان می‌توانند به‌صورت مشارکتی با هم کار و یک محصول با ارزش تولید کنند. [۴]

مانند:

* تهیه یک روزنامهٔ دیواری
* نوشتن مقاله‌ای دربارهٔ یک موضوع
* تهیه گزارش دربارهٔ یک مطلب علمی و...

بسیار پیش می‌آید که روش اندیشیدن دانش‌آموز و آنچه فرامی‌گیرد، از چشم معلمان، والدین و حتی خودش پنهان می‌ماند. چنین وضعیتی به فرایند یادگیری و اندیشه‌ورزی و نیز به زندگی دانش‌آموز آسیب وارد می‌کند. دانش‌آموزانی که به افکار و آموخته‌های آنان توجه نمی‌شود، انگیزه تفکر و یادگیری را از دست می‌دهند. هرچند دانش‌آموزانی پیدا می‌شوند که با انگیزه‌های درونی به کار و فعالیت و یادگیری می‌پردازند. دیدگاه فرایند محصول یک دیدگاه وابسته به یادگیری است، زیرا کارایی معلمان را موفقیت تحصیلی شاگردانشان مشخص می‌کند. بنابراین جنبه‌های موفقیت و کار تدریس را با هم ترکیب می‌کنند. معلمان کارآمد موفقیت تحصیلی شاگردانشان را مشخص می‌کنند. تدریس خوب، از رفتارهای مؤثر کلاسی به‌شمار می‌رود ولی باید خاطرنشان کرد که استفاده از نمرات

پیشرفت تحصیلی شاگردان برای تعیین معلمان مؤثر هیچ‌گاه مفروض نمی‌شود زیرا این روش شناسایی صرفاً به‌عنوان یک محاسبهٔ احتمال آماری برای نمونه‌های بزرگ معلمان و شاگردان به‌کار می‌رود و کاربرد آن برای یک معلم خاص معتبر نیست، اما معیاری برای ترکیب جنبهٔ کاری و جنبهٔ موفقیت تدریس به‌دست آمده که آن را میزان درگیر کردن شاگرد[1] می‌نامند، و با تمرکز شاگرد به‌عنوان نشانهٔ تدریس خوب طراحی شده است. [۵]

۴. کارنما

کارنما، مجموعه‌ای از کارهای دانش‌آموز است که تلاش و پیشرفت تحصیلی او را نشان می‌دهد. این مجموعه بسیار ویژه است، و نیز مقاصد مشخصی دارد. در پایان نیمسال یا در پایان سال تحصیلی، معلم و دانش‌آموز می‌توانند میزان رشد دانش‌آموز را در آن دوره بسنجند و نمودار رشد را ترسیم کنند.

دلایل استفاده از کارنما به قرار زیر است:

۱. مستندسازی کارهای دانش‌آموز؛

۲. به‌دست آوردن شواهدی از تفکر دانش‌آموز؛

۳. اعتباربخشی به دیدگاه رشدنگر یادگیری؛

۴. گزینه‌ای برای انفرادی کردن کار دانش‌آموز و معلم.

منظور از انفرادی، جدا کردن دانش‌آموز از گروه‌های همیار کلاسی نیست، بلکه منظور آن است که دانش‌آموز مسئولیت یادگیری را خود به‌عهده گیرد و معلم نیز به نگرش و شیوه‌های تفکر و یادگیری او احترام گذارد.

۵. ایجاد فرصت برای بیان واقعیت به مخاطبان متعدد

از کارنما می‌توان برای ارائه اطلاعاتی درباره میزان پیشرفت تحصیلی، گرایش‌ها و نگرش‌های دانش‌آموز استفاده کرد. مخاطبان نیز می‌توانند افرادی باشند مانند دانش‌آموزان و والدین آن‌ها، مشاوران و کسانی که می‌خواهند از رشد دانش‌آموز آگاه شوند. [۶]

با توجه به اینکه کتاب‌های فیزیک دبیرستان به روش نوین تألیف شده‌اند و در تدریس و ارزشیابی آن‌ها باید به حیطه‌های مهارت و دانستنی‌ها و همچنین نگرش و فعالیت‌های خارج از کلاس دانش‌آموزان توجه کرد، لذا برای اینکه قضاوتی کامل و همه‌جانبه از میزان یادگیری مفاهیم درسی توسط دانش‌آموزان به عمل آید و از نکات مثبت و توانایی‌ها و همین‌طور نقاط ضعف دانش‌آموزان اطلاعات کاملی ارائه شود، کارنمای ماهانه‌ای به‌صورت جدول(۱) برای کلاس‌ها در نظر گرفته شد. در این کارنما سعی شده است تا برای هر حیطه و فعالیت ستونی را در نظر گرفته شود و جهت هر فعالیت نمره‌ای از ۱ تا ۵ اختصاص یابد و بر مبنای کار دانش‌آموز کامل شود. در پایان هر ماه می‌توان گزارش کاملی از میزان پیشرفت تحصیلی هر دانش‌آموز تهیه کرد. دادن یک نمره به اولیا و مدرسه هیچ‌گونه اطلاعاتی از نقاط ضعف و یا قوت یادگیرنده به آن‌ها نمی‌دهد، اما این گزارش که در هر ماه ارائه می‌شود به‌صورت مستند قضاوت صحیح در مورد دانش‌آموز را امکان‌پذیر می‌سازد. در این روش باید ابتدا عملکرد همهٔ دانش‌آموزان در یک تکلیف سنجیده شود و سپس به سنجش عملکرد دیگر پرداخت. نکته دیگر اینکه ارزیابی را باید در رفتارهای معین محدود کرد. تلاش برای مشاهدهٔ تعداد زیادی از عملکرد بی‌فایده و مأیوس‌کننده است. یعنی از قبل باید مشخص شود که شما چه عاملی را در نظر دارید ارزیابی کنید و دانش‌آموزان از آن مورد باخبر باشند. باید مقداری از موقعیت مشاهده شود که رفتار را معنی‌دار کند و نمرهٔ واقعی را ثبت کرد. گاهی بعضی از رفتارها به قصد بازی یا جلب توجه و یا تلافی کردن انجام می‌گیرد. که در چنین مواردی نیاز است که کل موقعیتی که دانش‌آموز در آن قرار گرفته مورد قضاوت قرار گیرد.

۵. تحلیل جدول(۱)

میزان درک دانش‌آموزان از یک مفهوم، باید ارزیابی شود و آنان را وادار کرد که مفهوم را به زمینه‌های دیگری هم ربط بدهند. برای اطمینان دانش‌آموزان مفاهیم را طوطی‌وار حفظ نکرده‌اند. آنان را به مطالعهٔ بیشتر دربارهٔ مفاهیم و گسترش دامنهٔ علمی تشویق می‌کنند.

● دید انتقادی در مورد پدیده‌ها

تفکر به معنای به‌کارگیری و تبدیل اطلاعات در حافظه است و این امر معمولاً برای تشکیل مفهوم، استدلال و تفکر انتقادی، تصمیم‌گیری، فکر خلاقانه و حل مسئله صورت می‌گیرد. دانش‌آموزان می‌توانند دربارهٔ یک موضوع عینی یا یک موضوع مجرد بیندیشند و با روش کنجکاوی آگاهانه وادار به تحقیق شوند، بپرسند و آزمایش کنند. واداشتن دانش‌آموزان به تشخیص مسائل و تضادها نیز خود جنبه‌ای از این نوع تفکر و کنجکاوی است.

● استفاده از پرسش‌های تفکربرانگیز

در روش دانش‌آموزمحور، معلم پرسش‌هایی را برای واداشتن دانش‌آموزان به تفکر و جمع‌آوری اطلاعات مطرح می‌کند. این روش، برای ارزیابی آموخته‌های آنان از محتوای درس اهمیت دارد.

● روش حل مسئله

این روش به معنای یافتن بهترین راه برای رسیدن به هدف است. موارد زیر را در نظر بگیرید که دانش‌آموزان برای پاسخگو بودن در برابر آن‌ها باید از روش حل مسئله استفاده کنند: ساخت وسیله، خلق طرح‌های علمی و نوشتن تحقیق.

مراحل حل مسئله شامل (تشخیص مسئله، انتخاب رویکرد مناسب برای حل مسئله و ارزیابی راه‌حل‌ها) است. قبل از حل مسئله، باید خود مسئله مشخص شود. بیشتر تمرین‌هایی که به دانش‌آموزان داده می‌شود، در مورد مسائل کاملاً مشخص و تعریف شده‌ای است و از مخاطب خواسته می‌شود تا با گذر از مسیرهایی معین به پاسخ مشخصی برسد. اما موارد دیگری نیز وجود دارد که می‌توان آن‌ها را از مسیرهای مختلفی بررسی و حل کرد. دانش‌آموزی را در نظر بگیرید که برای ساخت یک وسیله علمی از مواد مختلفی می‌تواند استفاده کند و در نهایت به هدف خود از ساخت وسیله برسد. به‌طور خلاصه، یکی از برنامه‌های مهم تربیتی این است که فرصت‌هایی در اختیار دانش‌آموز قرار داده شود تا خودشان بتوانند مسائلی را که باید حل شوند تشخیص بدهند و آن‌ها را از موارد دیگر مجزا کنند. معلم در این زمینه می‌تواند نقش راهنما داشته باشد و به آن‌ها کمک کند تا مسئلهٔ معنادار را تشخیص دهند و آن را به روشنی توضیح دهند. پس از تشخیص و تعریف مسئله، باید به فکر یافتن راه‌حل مناسب بود.

تفکر به‌معنای به‌کارگیری و تبدیل اطلاعات در حافظه است و این امر معمولاً برای تشکیل مفهوم، استدلال و تفکر انتقادی، تصمیم‌گیری، فکر خلاقانه و حل مسئله صورت می‌گیرد

در رویکرد ساخت‌گرایی اجتماعی، تأکید بر زمینه‌های اجتماعی یادگیری است و اینکه دانش در تعامل آموخته و ساخته‌می‌شود

●نوشتن گزارش علمی

انتقال یک هدف شناختی پیچیده و مهم این است که دانش‌آموزان دریابند چگونه می‌توانند آنچه را در موقعیتی خاص آموخته‌اند، در موقعیت تازهٔ دیگری به‌کار ببرند. این موقعیت تازه می‌تواند در خارج از مدرسه روی دهد. آموزش انتقال به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا بتوانند پل ارتباطی را میان آنچه در مدرسه می‌آموزند و طرز به‌کارگیری آن در خارج از مدرسه برقرار کنند. جهت این امر لازم است که موقعیت‌هایی را برای حل مسائل واقعی زندگی و تفکر منطقی برای دانش‌آموزان فراهم آورد. هر چه شباهت تمرین‌های کلاسی به شرایط واقعی زندگی نزدیک‌تر باشد دانش‌آموزان بهتر می‌توانند فرایند انتقال را انجام بدهند. گزارش‌نویسی از گردش‌های علمی، آزمایشگاه‌ها، موزه‌ها و سخنرانی‌های علمی که با درس مرتبط‌اند، به فرایند انتقال کمک می‌کند. جهت کاربردی کردن مفاهیم آموختنی باید پس از آنکه آنان مفهومی را دریافت نمودند ارتباط آن را با زندگی خصوصی و اجتماعی هم دریابند.

●کارگروهی

در رویکرد ساخت‌گرایی اجتماعی، تأکید بر زمینه‌های اجتماعی یادگیری است و اینکه دانش در تعامل آموخته و ساخته می‌شود. ارتباط با دیگران فرصت‌هایی برای دانش‌آموزان فراهم می‌آورد تا در رویارویی با تفکر دیگران و مشارکت در خلق ادراکی جمعی، درک خود را ارزیابی و تصحیح کنند. تجربه در زمینه‌های اجتماعی سازوکاری مهم برای رشد فکری دانش‌آموزان است. ویگوتسکی معتقد است که معلم‌ها باید فرصت‌های بسیاری برای یادگیری دانش‌آموزان به همراه معلم و همکلاسی‌هایشان فراهم سازند تا دانش خود را بسازند. مشخصات کلاس‌هایی که با رویکرد ساخت‌گرایی اجتماعی اداره می‌شوند، به‌صورت زیر است:

الف. یکی از اهداف کلاس، ساخت معنا به‌صورت مشارکتی است.

ب. معلم ناظر دیدگاه، تفکر و احساسات دانش‌آموزان است.

ج. معلم و شاگردانش، هم یاد می‌گیرند و هم یاد می‌دهند.

د. تعامل اجتماعی بر کلاس حاکم است.

و. برنامهٔ درسی و وضعیت ظاهری کلاس نشان‌دهندهٔ علایق دانش‌آموزان است. [۷]

در تعیین ترکیب گروه‌ها، بهتر است اعضای گروه از نظر توانایی، پیشینهٔ قومی و موقعیت اجتماعی- اقتصادی ناهمگن و گوناگون باشند. در یک گروه ناهمگن، دانش‌آموزانی که توانایی بیشتری دارند، نقش معلم را به‌عهده می‌گیرند و مفاهیم را برای دیگران شرح می‌دهند. در گروه‌های همگن، دانش‌آموزان تواناتر کمتر احتمال دارد که خود را در نقش معلم ببینند. یادگیری مشارکتی خوب در کلاس، مستلزم صرف زمان برای کسب مهارت‌های کار تیمی است. باید به دانش‌آموزان یاد داد که شنوندگان خوبی باشند و آنان را تمرین داد که در تولید محصولی تیمی مشارکت کنند و درباره ارزش کمک گروهی با آنان گفت‌وگو کرد.

● راهبرد نمایش تعاملی

این راهبرد به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا بر تصورات اشتباه خود در علوم غلبه کنند. در این روش معلم پدیده یا آزمایش را انجام و شرح می‌دهد و سپس از دانش‌آموزان می‌خواهد با یکدیگر درباره آن بحث کنند و نظر خود را در مورد آن پدیده بیان و آزمایش را اجرا کنند. دانش‌آموزان به علومی که به مسائل مربوط به زندگی می‌پردازد، بیشتر علاقه نشان می‌دهند تا نظریه‌های انتزاعی. پژوهش نشان داده است که در بررسی مسائل علمی روزمره دانش‌آموزانی که با روش تعاملی علوم را آموخته‌اند نمره‌هایی بالاتر از دانش‌آموزانی می‌گیرند که در کلاس معمولی علوم شرکت کرده‌اند. در این راستا طرح‌هایی که دانش‌آموزان انجام می‌دهند باعث می‌شود که درباره اصول علمی، فکر و کارکردهای آن را مجسم کنند. این روش شهروندانی با سواد علمی بالاتر را بار می‌آورد که به‌جای حفظ کردن اطلاعات علمی، می‌دانند چگونه علمی فکر کنند.

● طراحی آزمایش

هدف از انجام این کار به‌دست آوردن اطلاعاتی است که فرضیه را تأیید یا رد می‌کند. اگر در فرضیه، روش به‌کارگیری یک متغیر و نوع پاسخ مورد انتظار به روشنی تعریف شده باشد، بیشتر کارهای لازم برای جمع‌آوری اطلاعات، انجام شده است و آنچه باقی می‌ماند تعیین شرایطی است که کار باید تحت آن شرایط انجام گیرد.

● انجام آزمایش

آزمایش کردن فعالیتی است که طی آن همه مهارت‌هایی که دانش‌آموز آموخته است به‌کار گرفته می‌شود. هر آزمایش با یک پرسش شروع می‌شود. برای پاسخ به این پرسش، شاید لازم باشد که متغیرها تشخیص داده شوند، فرضیه‌سازی صورت گیرد، تعریف‌های لازم ارائه شود و پس از چند بار آزمایش یافته‌ها تفسیر شود.

۶. روش نمره‌گذاری

ساده‌ترین نوع مقیاس درجه‌بندی، مقیاس درجه‌بندی عددی۲ است. در این مقیاس درجه‌بندی، ارزشیابی‌کننده یا مشاهده‌گر، با کشیدن دایره‌ای به دور یک عدد یا علامت‌گذاری آن، میزان یا درجهٔ وجود رفتار یا ویژگی مورد ارزشیابی را مشخص می‌کند. به‌طور معمول، هر یک از اعداد مقیاس درجه‌بندی معنی خاصی دارد که در تمامی طول مقیاس یکسان است. معمولاً عدد ۱ کمترین ارزش را دارد و با افزایش این عدد ارزش ویژگی مورد ارزشیابی نیز زیاد می‌شود. این مقیاس زمانی قابل استفاده است که ویژگی‌ها با کیفیت‌های مورد درجه‌بندی قابل طبقه‌بندی کردن در طبقات محدودی باشند و نیز در رابطه با طبقه‌ای که معرف هر عدد است توافق وجود داشته باشد. با این حال، معمولاً اعداد خیلی دقیق تعریف نمی‌شوند، و بنابراین تفسیرها و موارد استفاده‌های این نوع مقیاس نیز متفاوت است. در این درجه‌بندی، تصمیم در مورد طبقه‌ها یا درجه‌ها یک امر دلخواه است. همچنین گفته شده است که مقیاس‌های دارای تعداد طبقه‌های فرد بهتر از مقیاس‌های زوج است [۸]. در اینجا می‌توان گزینه‌های مورد سنجش را بیشتر کرد یا تغییر داد و نمره مستمر را می‌توان با رابطه تناسب نسبت به عدد ۲۰ به‌دست آورد. در این روش، ملاک ارزشیابی باید مشخص شود. یکی از شرایط موفقیت این سنجش

تعیین ملاک‌ها یا معیارهای روشن برای ارزشیابی عملکرد یادگیرنده است. عامل تعیین‌کنندهٔ ملاک ارزشیابی همان هدف‌های آموزشی معلم است. معلم باید در آغاز درس و هنگام تهیه طرح آموزشی خود به تهیهٔ هدف‌های آموزشی‌اش اقدام کند و این هدف‌ها را معیار آموزش و ارزشیابی خود قرار دهد. این ملاک‌ها هم برای معلم و دانش‌آموزان و خانواده آنان و دیگر اولیای مدرسه باید روشن و واضح باشد.

۷. محدودیت‌های روش

با توجه به اینکه این شیوه در کلاس به اجرا درآمده است، مشکل اصلی این سنجش به شیوهٔ نمره‌گذاری آن مربوط می‌شود. زیرا تعیین مقیاس نمره‌گذاری تولید خطا می‌کند. مشکل دیگر این طرح اندکی وقت‌گیر بودن آن است و معلمان برای استفاده از این طرح باید مقداری از وقت خود را صرف بررسی و ارزشیابی عملکرد تک‌تک دانش‌آموزان کنند.

۸. نتیجه‌گیری

از امتیازهای کارنما این است که به‌وسیلهٔ آن می‌توان حتی یادگیری‌هایی را سنجید که به کمک آزمون‌های کتبی یا مداد و کاغذی مرسوم میسر نیست. دانستن چگونه انجام دادن یک کار با توانایی انجام دادن آن فرق می‌کند. مثلاً آزمون کتبی دانش فرد را در مورد یک مبحث می‌سنجد ولی هیچ اطلاعاتی در مورد توانایی انجام کار توسط او به ما نمی‌دهد. همچنین دانش‌آموزان به‌صورت فعال و مستقل در امر یادگیری و سنجش شرکت کنند و از میزان یادگیری خود آگاه می‌شوند. این کار باعث افزایش توجه و علاقه‌مندی به پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان می‌شود و با توجه به نقاط ضعف نمایش داده شده در کارنما در رفع آن کوشش می‌کنند.

جدول۱) کارنمای ماهانه

کارنمای ماهانه درس فیزیک ..... ماه ..... کلاس..... دبیرستان ..... نام دبیر..... سال تحصیلی .....

اسامی گروه	ردیف		مهارت و دانستنی‌ها								نگرش						فعالیت خارج از کلاس			آزمون کتبی (سنجش دانستنی و مهارت)		نمره مستمر
		نمره	بیان مفاهیم درس	حل مسئله	گردآوری اطلاعات	طراحی آزمایش	تجزیه‌وتحلیل قوانین فیزیک	گزارش کار	ساخت وسیله	همکاری گروهی	مسئولیت‌پذیری	شرکت در بحث	دیدانتقادی در نظریه‌های فیزیک	نوشتن گزارش علمی	انجام آزمایش	انجام تحقیق	نیمه اول ماه	نیمه دوم ماه	۲۰ نمره
		نام و نام خانوادگی	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	۱ ۲ ۳ ۴ ۵	
گروه ۲	۱																		
	۲																		
	۳																		
	۴																		
گروه ۳	۵																		
	۶																		
	۷																		
	۸																		
گروه ۴	۹																		
	۱۰																		
	۱۱																		
	۱۲																		
گروه ۵	۱۳																		
	۱۴																		
	۱۵																		
	۱۶																		

پی‌نوشت‌ها

1. Student engagement
2. Numerical rating scale

منابع

۱. دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب درسی، **راهنمای تدریس فیزیک۱ و آزمایشگاه**، چاپ و نشر کتاب‌های درسی، ۱۳۸۴،ص۱۶.

۲. سیف؛ علی‌اکبر، **کتاب سنجش فرایند و فرآورده یادگیری**، نشر دوران، ۱۳۸۴، ص۲۰.

۳. دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب درسی، **راهنمای تدریس فیزیک۱ و آزمایشگاه**، چاپ و نشر کتاب‌های درسی، ۱۳۸۴، ص۱۷.

۴. سیف؛ علی‌اکبر، **کتاب سنجش فرایند و فرآورده یادگیری**، نشر دوران؛ ۱۳۸۴، ص ۲۳۲- ۲۳۱.

۵. کار؛ دیوید، ماخر؛ فنستر، **کتاب روش‌های تدریس پیشرفته**، انتشارات کویر سال ۱۳۸۵، ص ۸۷ (ترجمه هاشم فردانش).

۶. آقازاده؛ محرم، **روش‌های نوین تدریس**، نشر آییژ، ۱۳۸۶، ص ۲۱۴.

۷. سانتراک؛ جان دبلیو، **روان‌شناسی تربیتی**، نشر رسا، ۱۳۸۵، ص۳۶۰ (ترجمه شاهده سعیدی، مهشید عراقچی، حسین دانش‌فر).

۸. سیف؛ علی‌اکبر، **کتاب سنجش فرایند و فرآورده یادگیری**، نشر دوران، سال ۱۳۸۴، ص۲۸۶.

پرسش‌های مسابقات بین‌المللی فیزیکدانان جوان سال ۲۰۱۴

بیست‌وهفتمین دورهٔ مسابقات IYPT

آزیتا سیدفدایی
دانشجوی دکترای آموزش فیزیک

گزارش

چکیده

مسابقات بین‌المللی فیزیکدانان جوان[1] (IYPT) یک مسابقهٔ بین‌المللی به‌شکل نظری و عملی در فیزیک است که هرساله تحت نظارت فدراسیون جهانی مسابقات فیزیک در کشورهای مختلف برگزار می‌گردد. بیست‌وهفتمین دورهٔ این مسابقات در تاریخ ۳ الی ۱۰ ژوئیه سال ۲۰۱۴ در انگلستان برگزار می‌شود. در این مقاله ترجمهٔ پرسش‌های این دوره از مسابقات و تعدادی از منابعی که از طرف کمیته برگزاری مسابقات برای هر پرسش معرفی شده است ارائه می‌شود. امیدواریم مورد استفاده دبیران و پژوهشگران حوزهٔ آموزش فیزیک قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: مسابقات بین‌المللی فیزیک‌دانان جوان، پرسش‌ها، معرفی منابع.

مقدمه

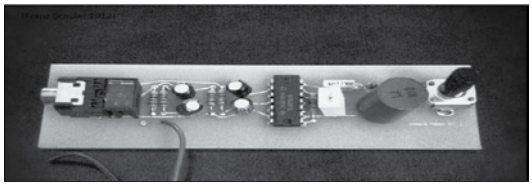
مسابقات بین‌المللی فیزیک‌دانان جوان (IYPT) رقابتی بین‌المللی است که به‌شکل نظری و عملی، هرساله تحت نظارت فدراسیون جهانی مسابقات فیزیک برگزار می‌گردد. روند به این ترتیب است که از هر کشور یک تیم ۵ نفره از دانش‌آموزان دورهٔ دبیرستان در زمینهٔ پرسش‌های فیزیکی مطرح شده به زبان انگلیسی به رقابت می‌پردازند. از هر کشور یک تیم، از طریق برگزاری مسابقات داخلی که برگرفته از قوانین بین‌المللی همین مسابقه است، از میان شرکت‌کنندگان کشور انتخاب می‌شود. پرسش‌های سال بعد این مسابقات تا پاییز هر سال در وبگاه IYPT قرار می‌گیرند (www.iypt.org). مسابقهٔ IYPT ویژگی‌هایی دارد که آن را از دیگر مسابقات بین‌المللی متمایز می‌سازد.

- برای بررسی پرسش‌ها، دانش‌آموزان علاوه بر کسب مهارت لازم و انجام آزمایش‌ها با کار گروهی آشنا می‌شوند.
- تحلیل پرسش‌ها احتیاج به معلومات زیادی دارد، از این رو دانش‌آموزان می‌توانند قبل از حضور در مسابقات با متخصصان مشورت کنند و زمان کافی برای پژوهش دارند.
- پرسش‌های مطرح شده در مسابقات IYPT برای دانش‌آموزان به‌عنوان پروژه‌های فیزیکی مناسب است.

امیدواریم ترجمهٔ پرسش‌های این دوره از مسابقات مورد استفادهٔ دبیران و پژوهشگران در حوزهٔ آموزش فیزیک قرار گیرد.

۱. خودتان ابداع کنید

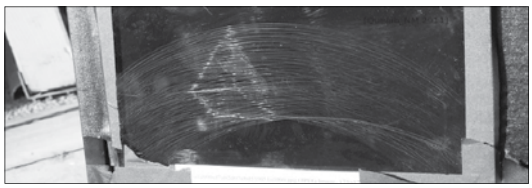
می‌دانیم برخی از جریان‌های الکتریکی رفتاری آشوبناک دارند. یک مدار سادهٔ دارای این ویژگی بسازید و رفتار آن را بررسی کنید.



منابع
- G. Q. Zhong and F. Ayrom. Periodicity and Chaos in Chua's Circuit. IEEE Trans. Circuit Syst. 32, 5, 501-503 (1985)
- L. O. Chua. Chua's Circuit: Ten Years Later. Int. J. Circuit Theory and App. 22, 4, 279-305 (1994)
- L. O. Chua. Chua's Circuit: Ten Years Later. IEICE trans. fundam. electronics, communic., computer sci. 77, 11, 1811-1822 (1994)
- L. O. Chua, L. Kocarev, K. Eckert, and M. Itoh. Experimental Chaos Synchronization in Chua's Circuit. Int J. Bifurcation Chaos 2, 3, 705-708 (1992)
- E. R. Hunt and G. Johnson. Keeping chaos at bay. IEEE Spectrum 30, 11, 32-36 (1993)

۲. تمام‌نگار

با کشیدن یک تکه پلاستیک می‌توان یک تمام‌نگار با دست ساخت. یک تمام‌نگار با حروف «IYPT» بسازید و کارکرد آن را بررسی کنید.



منابع
- Martin E. Horn, Helmut F. Mikelskis. Problems When Studying Holography (2000)
- Angel G. Augier and Raúl. B. Sánchez. Making computer- generated scratch holograms from threedimensional virtual models. photon. Lett. Pol. 2, 4, 153-155 (2010)
- William T. Plummer and Leo R. Gradner. A mechanically generated hologram? Applied Optics 31, 31, 6585-6588 (1992)
- Christian Regg, Szymon Rusinkiewicz, Wojciech Matusik, and Markus Gross. Computational Highlight Holography

۳. طناب پیچ‌وتاب‌دار

یک طناب را نگه دارید و آن را از یک انتها بپیچانید. در برخی از نقاط طناب، یک مارپیچ و یا یک حلقه شکل خواهد گرفت. این پدیده را بررسی کنید و شرح دهید.

منابع
● G. A. Goss, G. H. M. van der Heijden, J. M. T. Thompson, and S. Neukirch. Experiments on Snap Buckling, Hysteresis and Loop Formation in Twisted Rods. Exp. Mech. 45, 101-111 (2005)
● R. E. Hobbs, M. S. Overngton, J. W. S. Hearle, and S. J. Banfield. Buckling of fibres and yarns within ropes and other fibre assemblies (tensiontech. com)
● Ning Pan and David Brookstein. Physical Properties of Twisted Structures. II. Industrial Yarns, Cords, and Ropes. ING PAN.
● Roland Vereet and Isabel Ridge. Damage form rotation. In: Wire rope forensics (casar.de), p. 33
● Goriely and M. Tabor. Nonlinear dynamics of filaments. IV Spontaneous looping of twisted elastic rods. Proc. R. Soc. Lond. A 454, 3183-3202 (1998)

۴. صدای گلوله

وقتی دو گلولهٔ فولادی صلب و یا دو چیزی مانند آن، به آرامی با هم تماس پیدا کنند، شاید صدای جیرینگ جیرینگ نامتعارفی تولید شود. ماهیت این صدا را بررسی کنید و شرح دهید.

منابع
● David Auerbach. Colliding rods: Dynamics and relevance to colliding balls. Am. J. Phys. 62, 6, 522-525 (1994)
● C. Zheng and D. L. James. Toward high-quality modal contact sound. ACM Trans. on Graphics 30, 4 (2011)
● K. Mehraby, H. Khademhosseini Beheshti, and M. Poursina. Impact noise radiated by collision of two spheres: Comparison between numerical simulations, experiments and analytical results. J. Mech. Sci., Technol. 25, 7, 1675-1685 (2011)
● Hiroyuki Ohta and Takumi Nakagawa. Using Ceramic Balls to Reduce Noise in a Linear Guideway Type Recirculating Linear Ball Bearing
● Rod Cross. Differences between bouncing balls, springs, and rods. Am. J. Phys. 76, 10, 908915 (2008),

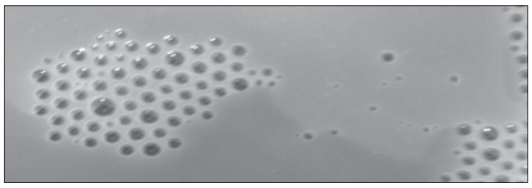
۵. حلقهٔ بارگذاری شده

وزنه‌ای کوچک را به داخل حلقه‌ای ببندید و آن را با فشـــار اولیه به حرکت درآورید. حرکت حلقه را بررسی کنید.

منابع
●W. F. D. Theron and M. F. Maritz. The amazing variety of motions of a loaded hoop. Math. Comp. Modelling 47, 9-10, 1077-1088 (2008)
● W. F. D. Theron and N. M du Plessis. The dynamics of massless hoop. Am. J. Phys. 69, 3, 354359 (2001)
● W. F. D. Theron. The rolling motion of an eccentrically loaded wheel. Am. J. Phys. 68, 9, 812-820 (2000)
● M. F. Maritz and W. F. D Theron. Experimental verification of the motion of a loaded hoop. Am. J. Phys. 80, 7, 594-598 (2012)
● Taylor and M. Fehrs. The dynamics of an eccentrically loaded hoop. Am. J. Phys. 78, 5, 496498 (2010)

۶. بلور حباب

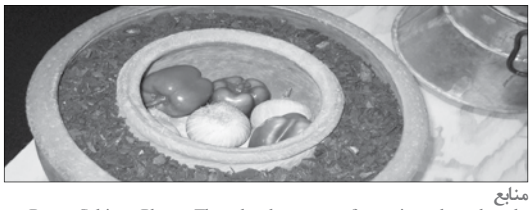
تعداد زیادی از حباب‌های کوچک و مشـــابه هوا روی سطح مایع صابونی شناورند. حباب‌ها طوری قرار می‌گیرند که شبکه‌ای منظم مانند شـــبکهٔ بلور تشکیل دهند. روشی را پیشنهاد کنید که بتوان حباب‌هایی با اندازه‌ای مناسب به‌دست آورد و چگونگی تشکیل این بلور حبابی را بررسی کنید.



منابع
● Lawrence Bragg and J. F. Nye. A Dynamical Model of a Crystal Structure. Proc. R. Soc. Lon. A 190, 1023, 474-481 (1947)
● O. Busaryev, T. K. Dey, H. Wang, and R. Zhong. Animating bubble interactions in a liquid foam. ACMTrans. Graphics 31, 4 (2012)
● Korner, M. Thies, T. Hofmann, N. Thurey, and U. Rude. Lattice Boltzmann Model for free Surface Flow for Modeling Foaming. J. Stat. Phys. 121, 1/2, 179196 (2005)
● M. F. Ashby. The properties of foams and lattices. Phil. Trans. R. Soc. A 364, 1838, 15-30 (2006)
● Carolin Koerner. Lattice Boltzmann Model for Foam Evolution. In: Integral Foam Molding of Light Metals (Springer, 2008), pp. 171-183
● Andy Kraynik, Doug Reinelt, Frank van Swol, Sascha Hilgenfeldt. Foam Structure and Rheology: The shape and feel of random soap froth "Foam Microrheology"
● Andrew M. Kraynik and Douglas A. Reinelt. Foam microrheology: from honeycombs to random foams (1999)

۷. یخچال گلدان در گلدان

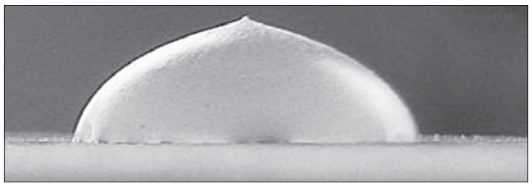
یخچال گلدان در گلدان وسیله‌ای است که با استفاده از اصل خنک کردن تبخیری، غذا را سرد نگاه می‌دارد. این وسیله از یک گلدان تشـــکیل شده است که در گلدان بزرگ‌تری قرار می‌گیرد و فضای بین دو گلدان با جســـم منفذدار مرطوب مانند شـــن پر می‌شود. چگونه می‌توان به بهترین خنک‌سازی دست یافت؟



منابع
● Rosa Schiano-Phan. The development of passive downdraught evaporative cooling systems using porous ceramic evaporators and their application in residential buildings (PhD thesis, Open University, 2004)
● F. Odesola and O. Onyebuchi. A review of porous evaporative cooling for the preservation of fruits and vegetables. Pacific J. Sci. Technol. 10, 2, 935-941 (2009)

۸. منجمد کردن قطره‌ها

یک قطرهٔ آب را روی ســـطحی قرار دهید که تا حدود ۲۰- درجهٔ سلســـیوس سرد شده است. قطره ضمن یخ زدن می‌تواند به‌شکل مخروط با نوک تیز درآید. این اثر را بررسی کنید.

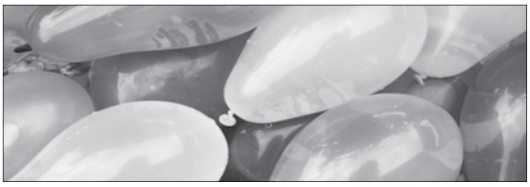


منابع
● Helene F. Perry. A "last word" on ice spikes. Phys. Teach. 33, 148 (1995)
● Giuseppi Abrusci and Joe Pifer. Question # 65. What conditions determine crystal growth? Am. J. Phys. 65, 10, 941 (1997)
● Charles A. Knight. Answer to Question #65. What conditions determine crystal growth? The triangular ice spike. Am. J. Phys. 66, 12, 1041-1042 (1998)
● H. F. Perry. Answer to Question #65. What conditions determine crystal growth?" Am. J. Phys. 69, 2, 106 (2001)
● G. Bjorbaek. Unusual ice formations. Weather 49, 188-189 (1994)
● K. P. Trout. Homemade ice spike. Phys. Teach. 39, 190 (2001)

● L. Hill, E. Lozowski, and R. D. Sampson. Experiments on ice spikes and a simple growth model. J. Glaciology 50, 170, 375-381 (2004)

۹. بمب‌های آب

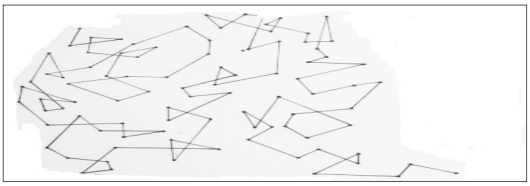
برخی از شـــاگردن در بازی پرتاب بادکنک‌های پر از آب به یکدیگر چندان موفق نیستند، زیرا بادکنکی را که پرت می‌کنند بدون ترکیدن به سویشـــان برمی‌گردد. حرکت، تغییر شـــکل و بازگشـــت بادکنک پر از مایع را بررســـی کنید. در چه شرایطی بادکنک می‌ترکد؟



منابع
● Martino Reclari, Matthieu Dreyer, Stephanie Tissot, Danail Obreschkow, Florian Wurm, Mohamed Farhat. “Oenodynamic”: Hydrodynamic of wine swirling (2011)
● The Science Behind Bursting Water Balloons (youtube.com, from dj Busby, 02.11.2011)
● Alex Santoso. Physics of water Balloons (neatorama.com, 2012)
● Hugh Lund and Stuart B. Dalziel. Tension-driven Richtmyer-Meshkov instability, A water balloon not exploding in high-speed (youtube.com, from LucidMovment, 15.02.2007)
● Hugh M. Lund and Stuart B. Dalzie. Bursting water balloons (2011),
● T. A. Peyser, S. D. Murray et al. Review of Experiments and Calculations of the Compressible Richtmyer- Meshkov Instability from a Signle-mode, Nonlinear Initial Perturbation. Proc. 6th Int” 1 Conf. on Phys. of Turbulent Compressible Mixing (Marseille, 1997)

۱۰. ضریب پخش

با استفاده از یک میکروسکوپ، حرکت براونی ذره‌ای به اندازهٔ حدود میکرومتر را مشاهده کنید. رابطهٔ ضریب پخش با اندازه و شکل ذره را بررسی کنید.



منابع
● Robert Brown. A brief account of microscopical observation made in the months of June, July and August, 1827, on the particles contained in pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies. Phill. Mag. 4, 161-173 (1828),
● Marian von Smoluchowski. Zur kinetischen Theorie der Brownschen Molekularbewegung und der Suspensionen. Ann. Phys. 326, 14, 756-780 (1906)
● Einstein, A. Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. Ann. Phys. 17, 549-560 (1905)
● Jean Perrin. Mouvement brownien et réalité moléculaire. Annales de Chimie et de Physique, 8e série 18, 1-114 (1909)
●Don S. Lemons and Anthony Gythiel. Paul Langevin’s 1908 paper "On the Theory of Brownian Motion" ["Sur la théorie du mouvement brownien," C. R. Acad. Sci. (Paris) 146, 530-533 (1908)]. Am. J. Phys. 65, 11, 10791081 (1997)

۱۱. نیروگاه شمعی

وسیله‌ای را طراحی کنید که گرمای شعلهٔ شمع را به انرژی الکتریکی تبدیل کند. بررسی کنید جنبه‌های مختلف این وسیله چه تأثیری در کارایی آن دارند.

منابع
● Crispin L. DeBellis et al. Thermophotovoltaic electric generator. U. S. Patent No. 5, 932, 885 (1999),
● C. A. Gould, N. Y. A. Shammas, S. Grainger, and I. Taylor. A comprehensive review of thermoelectric technology, micro- electrical and power generation properties. Proc. 26th Int' l Conf. on Microelectronics (MIEL, 2008)
● Tristan Carroff, Emmanuelle Rouviére, and Jérôme Willemin. Thermal Energy Harvesting. In: Energy Autonomous Micro and Nano Systems (eds M. Belleville and C. Condemine, Wiley, 2012), pp. 153-184
● M. Ujihara, G. P. Carman, and D. G. Lee. Thermal energy harvesting device using ferromagnetic materials. App. Phys. Lett. 91, 9, 093508-093508 (2007)
● Y. Apertet, H. Ouerdane, O. Glavatskaya, C. Goupil, and P. Lecoeur. Optimal working conditions for thermoelectric generators with realistic thermal coupling. Europhys. Lett. 97, 2, 28001 (2012)
● Hoshi, N. Tezuka, S. Sasaki, I. Fujimoto, and N. Yamada. Development of Practical Stirling Engine for Co-Generation System Using Woody Biomass Fuels. Proc. ISES World Congress 2007 (Vol. I-V, Springer, 2009), p. 2453-2457

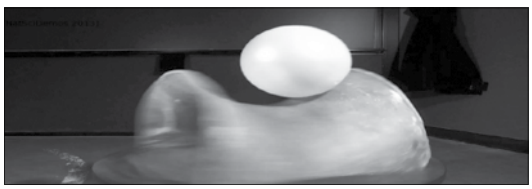
۱۲. بادکنک سرد

با فرار هوا از بادکنک پر باد سطح آن سردتر احساس می‌شود. عوامل مؤثر در سرد شدن آن را بررسی کنید. دمای قسمت‌های مختلف بادکنک بر حسب این عوامل چگونه تغییر می‌کند؟

منابع
● D. R. Merrit and F. Weinhaus. The pressure curve for a rubber balloon. Am. J. Phys. 49, 10. 976 (1978)
● R. S. Stein. On the inflating of balloons. J. Chem. Educ. 35, 4, p. 203 (1958)
● L. R. G. Treloar. The Physics of Rubber Elasticity (Oxford University Press, 2005)
● Rubber and Rubber Balloons: Paradigms of Thermodynamics (eds Ingo Mülerr, Peter Strehlow, Springer, 2004)
● S. L. Dart and E. Guth. Rise of Temperature on fast Stretching of Buty l Rubber. Rubber Chem. Tech. 18, 14, 803-816 (1945)
● R. J. Farris. Rubber Heat Engines, Analyses and Theory. Rubber Chem. Tech. 52, 1, 159-172 (1979)

۱۳. زین چرخان

توپی روی یک زین چرخان گذاشـــته شده است. دینامیک آن را بررســـی کنید و بگویید در چه شـــرایطی توپ از روی زین فرو نمی‌افتد.



منابع

● Wolfgang Rueckner. Rotating Saddle Paul Trap. Am. J. Phys. 63, 2, 186-187 (1995)
● R. I. Thompson, T. J. Harmon, and M. G. Ball. The rotating- saddle trap: a mechanical analogy to RFelectric-quadrupoleion trapping? Can.J.Phys. 80, 12.1433-1448 (2002)
● T. Hasegawa and John J. Bollinger. Rotating-radio-frequency ion traps. Phys. Rev. A. 72, 4, 043403 (2005)
● T. Hasegawa, M. J. Jensen, and John J. Bollinger. Stability of a Penning trap with a quardrupole rotating electric field. Phys. Rev. A 71, 2, 023406 (2005)
● K. Johnson and J. A. Rabchuk. A bead on a hoop rotating about a horizontal axis: A one-dimensional ponderomotive trap. Am. J. Phys. 77, 11, 1039-1048 (2009)
● Andrew Johnson and James Rabchuk. Demonstrating the Principle of an rf Pual Ion Trap. Bull. Am. Phys. Soc. 53 (2008)

۱۴. موتور لاستیکی

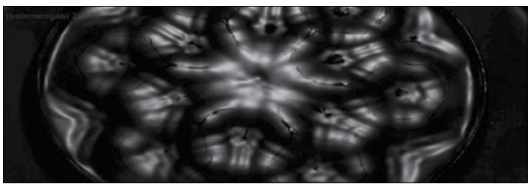
یک نوار لاستیکی پیچ‌خورده انرژی را ذخیره می‌کند و می‌تواند به‌عنوان مثال برای حرکت یک هواپیمای مدل به‌کار رود. ویژگی‌های این منبع انرژی و چگونگی تغییر توان خروجی آن با زمان را بررسی کنید.

منابع

● M. Ward and J. Sweeny. An introduction to the mechanical properties of solid polymers (Wiley, 2005)
● J. Pellicer, J. A. Manzanares, J. Zúñiga, and P. Utrillas. Thermodynamics of rubber elasticity. J. Chem. Educ. 78, 2, 263 (2001)
● J. Diani, B. Fayolle, and P. Gilormini. A review on the Mullins effect. Eur. Polymer J. 45, 3, 601-612 (2009)
● P. G. Santangelo and C. M. Roland. Chain ends and the Mullins effect in rubber. Rubber Chem. Technol. 65, 5, 965-972 (1992)
● N. Gent. Rubber Elasticity: Basic Concepts and Behavior. In: Science and Technology of Rubber (Elsevier, 2005), pp. 1-27

۱۵. ستاره‌های روغنی

اگر لایهٔ ضخیمی از مایع چسبناک (مانند روغن سیلیکون) در یک مخزن دایره‌ای به‌طور عمودی به نوسان درآید، می‌توان امواج ایستادهٔ متقارنی را مشاهده کرد. در این طرح‌های موج چه تعداد خط تقارن دیده می‌شود؟ شکل و رفتار طرح‌ها را بررسی کنید و شرح دهید.

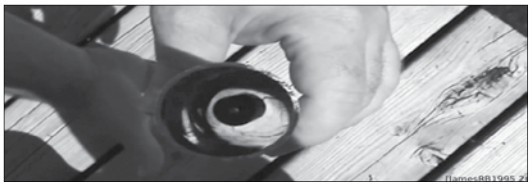


منابع

● Jean Rajchenbach, Didier Clamond, and Alphonse Leroux. Observation of star-shaped surface gravity waves. Physical Review Letters 110, 9, 094502 (2013)
● Mark J. Ablowitz and Douglas E. Baldwin. Nonlinear shallow ocean-wave soliton interactions on flat beaches. Phys. Rev. E 86, 3, 036305 (2012)
● Mark-Tiele Westra, Doug J. Binks, and willem Van De Water. Patterns of Faraday waves. J. Fluid Mech. 496, 1-32 (2003)
●John W. Miles. Parametrically excited solitary waves. J. Fluid Mech. 148, 451-460 (1984)
●G. S. Guthart and T. Yao-Tsu Wu. On the stability of standing in Faraday resonance. In: Nonlinear instability of nonparallel flows (Springer, 1994), pp. 397-406
● Jean Marc Vanden-Broeck. Water waves and related free-surface flow. IUTAM Symp. on Free Surface Flows (Springer, 2001)

۱۶. ترمز مغناطیسی

وقتی یک آهنربا در یک لولهٔ فلزی غیر فرومغناطیسی فرو افتد، یک نیروی کند کننده به آن وارد می‌شود. این پدیده را بررسی کنید.

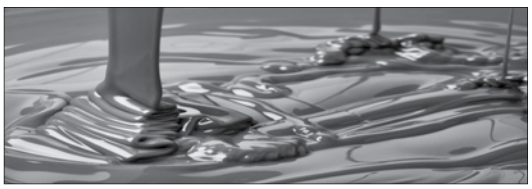


منابع

● M. H. Partori and E.J. Morris. Electrodynamics of a magnet moving through a conducting pipe. Canad. J. Phys. 84, 253-271 (2006)
● C. S. Maclatchy, P, Backman, and L. Bogan. A quantitative magnetic braking experiment. Am. J. Phys. 61, 1096 (1993)
● G. Ireson and J. Twidle. Magnetic braking revisited: Activities for the undergraduate laboratory. Eur. J. Phys. 29, 745-751 (2008)
● K. D. Hahn, E. M. Johnson, A. Brokken, and S.Baldwin. Eddy current damping of a magnet moving through a pipe. Am. J. Phys. 66, 1066 (1998)
● M. A. Heald. Magnetic braking: Improved theory. Am. J. Phys. 56, 521-522 (1988)
● Y. Levin, S. L. Da Silveira, and F.B. Rizzato. Electromagnetic braking: A simple quantitative model. Am. J. Phys. 74, 815-817 (2006)
● H. D. Wiederick, N. Gauthier, D. A. Campbell, and P. Rochan. Magnetic braking: Simple theory and experiment. Am. J. Phys. 55, 500-503 (1987)
● S. Butterworth. Eddy-Current Losses in Cylindrical Conductors, with Special Applications to the Alternating Current Resistances of Short Coils. Phil. Trans. R. Soc. Lon. A 222, 57-100 (1922)

۱۷. پسمانی شکلات

شکلات در دمای اتاق ماده‌ای جامد به‌نظر می‌رسد اما وقتی به حدود دمای بدن برسد ذوب می‌شود و هنگامی که دوباره سرد شود اغلب حتی در دمای اتاق ذوب شده باقی می‌ماند. گسترهٔ دمایی را که شکلات می‌تواند در هر دو حالت، ذوب شده و جامد وجود داشته باشد و بستگی آن به عوامل مرتبط را بررسی کنید.



منابع

● H. Schenk and R. Peschar. Understanding the structure of chocolate. Radiation Phys. and Chem. 71, 34, 829-835 (2004)
● E. O. Afoakwa, A. Paterson, and M. Fowler. Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate- a review. Trends in Food Sci. Technol. 18, 6, 290-298 (2007)
● D. Gabriele, M. Migliori, N. Baldino, and B. de Cindio. Influence of Fat Content on Chocolate Rheology. AIP Conf. Proc. 1027, pp. 1265-1267 (2008)
● K. Sato. Crystallization behaviour of fats and lipids - a review. Chem. Eng. Sci. 55, 7, 2255-2265 (2001)
● J. Bricknell and R. W. Hartel. Relation of fat bloom in chocolate to polymorphic transition of cocoa butter. J. Am. Oil Chemists' Soc. 75, 11, 1609-1615 (1998)
● Y. Kinta and T. Hatta. Morphology of fat bloom in chocolate. J. Am. Oil Scientists' Soc. 82, 9, 685 (2005)

پی‌نوشت

1. International Yong Physicists, Tournament

منبع

http://www.iypt.org/Tournaments/Shrewsbury

IN THE NAME OF ALLAH

107 رشد Roshd

About Educational Packages /2
Dynamic thought /J. Riazi /3
Effective evaluation in physics education/ A. Kikha and B. SahebZadeh /7
New devices for gravity measurements/R. Gholipur /13
Virtual Labortory, Yes or No/Kh.Hassanbeigzadeh /16
Sound propagation in "gharazeh tabiiyat" (part1) /Gh. Rahimi /18
What is geothermal energy?/M. Dickson and M. Fanelli /23
Matrix methods in optics ?araxial optics/M. Farzanian and F. Akhtarianfar /26
Studying effectiveness of mechanics education/M. Jahanifar, N. Taheri Asghari /28
Centrifugal force; Real or imaginary? /A. Zohourian Pordel /32
Physics at home /A. Musavizadeh /35
Physics Frontrier/M. Rahbar /36
Revisiting the ladder on a wall problem /Yahuda Salu /40
Application of philosophy of science in Physics lab/H. Sajadi /42
Medical imaging and radiation/L. E. Bloom Field /44
A Prerequisite called vaccum/ M. Saberi /53
Monthey transcript of Physics/ Z. Parvizi, T. Bazgear /56
Questions of 27th International youth Physics Tournament/ A. Seid Fadai /60

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

Managing Editor: Mohammad Naseri
Editor-in-Chief: Manijeh Rahbar
Executive Director: Ahmad Ahmadi
Graphic Designer: Navid Andarodi
Editorial Board: Ahmad Ahmadi, Rouhollah Khalili, Azita Seid Fadai, Hojat Alhagh Hoseini, Esfandyar Motamedi, Manijeh Rahbar

www.roshdmag.ir
Physics@roshdmag.ir
ISSN: 1606-917x
P.O. Box: 15875/6585
Department of Physcis, Tehran-Iran

Physics Education Journal

Vol.29- No.107- 2014

برگ اشتراک مجله‌های رشد

نحوهٔ اشتراک:
شما می‌توانید پس از واریز مبلغ اشتراک به شمارهٔ حساب ۳۹۶۲۰۰۰ بانکی تجارت، شعبهٔ نمایراک (زمانی که ۳۹۵، در وجه شرکت افست از طریق زیر، مشترک مجلهٔ شوید:
۱- مراجعه به وبگاه مجلات رشد به نشانی www.roshdmag.ir و تکمیل برگ اشتراک به همراه داشتن مشخصات فیش واریزی.
۲- ارسال اصل فیش بانکی به همراه برگ تکمیل شدهٔ اشتراک با پست سفارشی (کپی فیش را نزد خود نگه‌دارید).

• نام مجلات درخواستی:
• نام و نام خانوادگی:
• تاریخ تولد: • میزان تحصیلات:
• تلفن:
• نشانی کامل پستی:
استان: شهرستان: خیابان:
شمارهٔ فیش بانکی: مبلغ پرداختی:
شمارهٔ پستی:
امضاء
• اگر قبلاً مشترک مجله بوده‌اید، شمارهٔ اشتراک خود را بنویسید:

• شماره حساب ۳۹۶۲۰۰۰ بانک تجارت شعبه نمایراک
• هزینهٔ اشتراک یکساله مجلات عمومی (غیر اختصاصی) شامل ۱۰ شماره ۲۰۰/۰۰۰ ریال
• هزینهٔ اشتراک یکساله مجلات تخصصی (چهار شماره) ۲۰۰/۰۰۰ ریال
• شماره حساب ۱۵۹۶۵/۱۱۱ بانک صادرات شعبهٔ سه‌راه امین‌حضور کد ۱۱۱
• پایگاه مجلات رشد: www.roshdmag.ir
• نشانی دفتر مجله: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۶۵۸۵ • تلفن: ۰۲۱-۷۷۳۳۶۶۵۶ / ۷۷۳۳۱۱۱۰

با مجله‌های رشد آشنا شوید

مجله‌های رشد توسط دفتر انتشارات و تکنولوژی آموزشی سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وابسته به وزارت آموزش و پرورش تهیه و منتشر می‌شود.

مجله‌های رشد عمومی و تخصصی برای معلمان، مدیران، مربیان، مشاوران و کارکنان اجرایی مدارس، دانش‌پژوهان مراکز تربیت معلم و دانشگاه‌های دبیری دانشگاه‌ها و مراکز تقاضمند تعلیم و تربیت تهیه و منتشر می‌شود.

• نشانی: تهران، خیابان ایرانشهر شمالی، ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش، پلاک ۲۶۶، دفتر انتشارات و تکنولوژی آموزشی
• تلفن و نمابر: ۸۸۳۰۱۴۸۰-۰۲۱

مجله‌های رشد کودک (برای دانش‌آموزان دورهٔ دوم دورهٔ ابتدایی، ۶ شماره در سال تحصیلی منتشر می‌شود)
رشد نوآموز (برای دانش‌آموزان دورهٔ پیش‌دبستانی، ۶ شماره در سال تحصیلی منتشر می‌شود)
رشد دانش‌آموز (برای دانش‌آموزان دورهٔ اول دورهٔ ابتدایی، ۶ شماره در سال تحصیلی منتشر می‌شود)
رشد جوانه (برای دانش‌آموزان دورهٔ راهنمایی تحصیلی، ۶ شماره در سال تحصیلی منتشر می‌شود)

مجله‌های بزرگسال عمومی (به صورت ماهانه و هشت شماره در هر سال تحصیلی منتشر می‌شود)
• رشد آموزش ابتدایی • رشد آموزش متوسطه • رشد تکنولوژی آموزشی
• رشد مدرسه فردا • رشد مدیریت مدرسه • رشد معلم

مجله‌های بزرگسال و دانش‌آموزی تخصصی (به صورت فصل‌نامه و چهار شماره در هر سال تحصیلی منتشر می‌شود)
• رشد برهان (برای دانش‌آموزان متوسطه اول (مجله ریاضی برای دانش‌آموزان دورهٔ متوسطه)) • رشد برهان (برای دانش‌آموزان متوسطه دوم (مجله ریاضی برای دانش‌آموزان دورهٔ متوسطه)) • رشد آموزش فیزیک • رشد آموزش معارف اسلامی • رشد آموزش زبان و ادب فارسی • رشد آموزش هنر • رشد آموزش مشاور مدرسه • رشد آموزش تربیت‌بدنی • رشد آموزش علوم اجتماعی • رشد آموزش ریاضی • رشد آموزش تاریخ • رشد آموزش جغرافیا • رشد آموزش زبان • رشد آموزش زیست‌شناسی • رشد آموزش شیمی • رشد آموزش زمین‌شناسی • رشد آموزش فنی و حرفه‌ای و کار و دانش • رشد آموزش پیش‌دبستانی