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

رشد آموزش فیزیک ۷۹

آموزشی، تحلیلی، اطلاع رسانی

دوره‌ی بیست و دوم، شماره‌ی ۴، تابستان ۱۳۸۶، بها ۳۰۰ ریال

ISSN 1606 - 917X
www.roshdmag.ir

- نقش مدل در آموزش فیزیک
- روش تدریس نوین در درس فیزیک
- گفت‌وشنود با برنده‌ی جایزه‌ی نوبل سال ۲۰۰۵

کشاورزان برای محافظت از جوانه های حساس و آسیب پذیر درختان، در شب های سردی که دمای هوا به چندین درجه زیر صفر می رسد و احتمال یخ زدگی جوانه ها وجود دارد، به آن ها آب می پاشند.

این کار چگونه از جوانه ها در برابر سرمای شدید محافظت می کند؟

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

دوره‌ی بیستم ودوم ـ شماره‌ی ۴ ـ تابستان ۱۳۸۶

www.roshdmag.ir

ISSN : 1606-917X

شمارگان: ۱۲۰۰۰ نسخه
چاپ: شرکت افست (سهامی عام)
تلفن امور مشترکین: ۸۸۸۳۹۱۸۶
تلفن دفتر مجله: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱ داخلی: ۲۷۱
نشانی دفتر مجله: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۶۵۸۵
صندوق پستی امور مشترکان: ۳۳۳۱ - ۱۵۸۷۵

رشد آموزش فیزیک ۷۹

آموزشی، تحلیلی، اطلاع رسانی

تصویر روی جلد؛

طرح نور حاصل از آشکارساز سوپر ـ کامیوکاندە در ژاپن یک موئون پرتو کیهانی را نشان می‌دهد، در عمق ۱۰۰۰ متری زیر زمین، نقطه‌های خاکستری نشانگر آشکارسازهای فوتونی روی دیواره‌ی آشکارساز استوانه‌ای به ارتفاع ۴۱ متر و قطر ۳۱ متر هستند. این آشکارسازهای فوتونی تابش چرنکوف را آشکار می‌سازند که هنگام عبور ذرات باردار با سرعت بیش از سرعت نور در آب تولید می‌شوند. نقطه‌های رنگی نشانگر آشکارسازهای فوتونی است که نور را حس کرده‌اند، انتهای قرمز طیف نوری را نشان می‌دهد که ابتدا به آشکارساز رسیده است. موئون از انتهای دایره‌ی آشکارساز وارد آن شده است، که در آن‌جا اولین نور ظاهر شده است و در حدود ۱۲۰ نانو ثانیه بعد از دیواره‌ی نزدیک وسط تصویر خارج شده است (مرجع: The Particle Odyssey, Oxford University Press, 2002).

مدیر مسؤول: علیرضا حاجیان‌زاده
سردبیر: دکتر منیژه رهبر
مدیر داخلی: احمد احمدی
ویراستار: لعیا عروجی
طراح گرافیک: پروانه هادی‌پور رحیم آبادی
هیأت تحریریه: احمد احمدی، روح الله خلیلی بروجنی
منیژه رهبر، سیدجعفر مهرداد

سرمقاله: نسبت میان آموزش و پرورش القایی، نوآوری و توسعه	۲	روح‌اله خلیلی بروجنی
بمب‌های هیروشیما و ناکازاکی	۴	میکل هایسه کوفوئد
ما و خوانندگان	۱۰	
بیان روش تدریس نوین در درس فیزیک و ...	۱۱	عبدالکریم افروزه
گفت‌وشنود دانش‌آموزان دبیرستانی با برنده‌ی جایزه‌ی ...	۱۵	روی گلابر
رهیافتی ساده به پیامدهای آزمایشگاهی نسبیت عام	۱۶	پیتر رولاند
فیزیک: پندار و واقعیت	۲۲	پی. ار. والاس
تجربه‌های من در آموزش فیزیک	۲۵	فرح مرادخانی
نقش مدل در آموزش فیزیک	۲۷	یوجینا اتکینا
سینماتیک پرش طول	۳۲	آیون تان ـ جان زامرشیک
آیا دمای منفی زیر صفر کلوین امکان‌پذیر است؟	۳۶	سوسن رجایی
پرسش‌های مطرح فیزیک در قرن جدید	۴۰	فرح مرادخانی و عزیز خدادادی
ریشه‌یابی واژه‌های فیزیک	۴۲	جعفر مهرداد
جهان دانش هسته‌ای	۴۴	ماهان صابری
چند مسأله‌ی جالب و نقد و نظر	۴۶	محمد نادری
مداد گرافیتی انعطاف‌پذیر، ...	۴۹	استانیسلا و بندارک
مقدمه‌ای بر مواد آمورف	۵۲	محمدصادق یزدان‌پناه
صوت لیانی	۶۰	سایت ویکی پدیا

مجله رشد آموزش فیزیک، نوشته‌ها و حاصل تحقیقات پژوهشگران و متخصصان تعلیم و تربیت، بویژه آموزگاران، دبیران و مدرسان را، در صورتی که در نشریات عمومی درج نشده و مرتبط با موضوع مجله باشد، می‌پذیرد:

- مطالب باید یک خط در میان و در یک روی کاغذ نوشته و در صورت امکان تایپ شود.
- شکل قرار گرفتن جدولها، نمودارها و تصاویر ضمیمه باید در 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 ضمیمه مقاله باشد.
- در متنهای ارسالی باید تا حد امکان از معادل‌های فارسی واژه‌ها و اصطلاحات استفاده شود.
- زیرنویسها و منابع باید کامل و شامل نام اثر، نام نویسنده، نام مترجم، محل نشر، ناشر، سال انتشار و شماره صفحه‌ی مورد استفاده باشد.

مجله در رد، قبول، ویرایش و تلخیص مقاله‌های رسیده مختار است.

آرای مندرج در مقاله‌ها، ضرورتاً بیان نظر دفتر انتشارات کمک آموزشی نیست و مسؤولیت پاسخگویی به پرسشهای خوانندگان، با خود نویسنده یا مترجم است.

مجله از بازگرداندن مطالبی که برای چاپ مناسب تشخیص داده نمی‌شود، معذور است.

پرده بگردان و بزن ساز نو
هین که رسید از فلک آواز نو
تازه و خندان نشود گوش و هوش
تا ز خرد در نرسد راز نو
بَرجِه ساقی طرب آغاز کن
وز می کهنه بنه آغاز نو
«دیوان غزلیات شمس»

نسبت میان آموزش و پرورش القایی، نوآوری و توسعه

روح اله خلیلی بروجنی
khalili@talif.sch.ir

برای آن که بتوانم مراد خود را از آموزش و پرورش القایی روشن کنم و نسبت آن را با نوآوری و توسعه شرح دهم به نظر می رسد نگاهی به آنچه در غالب کلاس های درس مدارس می گذرد ما را در رسیدن به این معنا یاری دهد. بررسی های مختلف نشان می دهند که رویکرد اصلی و غالب در آموزش کشورمان، از جمله آموزش فیزیک، رویکرد انتقالی است. در این رویکرد معلم مرکز و محور اصلی در کل فرایند آموزش است و نقش دانش آموزان نیز صرفاً به حفظ، یادآوری و بازگویی عبارت ها و جمله هایی محدود می شود که می شنوند یا می خوانند، بی آن که فرصت و مجالی داشته باشند تا مفاهیم و محتوای آن ها را بکاوند. در این رویکرد، فرض بر این است که معرفت کاملی وجود دارد که معلم از آن برخوردار است و آموزش به عنوان یک فرایند یکسویه این فرصت را در اختیار صاحب این معرفت، یعنی معلم، می گذارد تا بخش هایی از معرفت خود را به تدریج و بنا بر سلیقه ی دلخواه به دانش آموزانی که در برابر او قرار دارند منتقل کند. در این صورت معلمی که در انجام این وظیفه تواناتر و سخت گیرتر باشد، شایسته تر و همین طور دانش آموزی که بتواند سهم بیشتری از این معرفت از پیش تعیین و پردازش شده

کلاس های درس امروز، دنیای فردا را می سازند.

را در مغز خود انباشته و در شرایط معینی آن‌ها را عیناً بازگو کند دانش‌آموز موفق‌تر و برگزیده‌تری محسوب می‌شود.[1]

وجه و ویژگی دیگر چنین آموزشی آن است که تا زمانی که معلم حضور دارد و در حال القا و عرضه‌ی بخشی از معرفت خود است به ظاهر دانش‌آموزان در حال یادگیری و کسب معلومات بیشتر هستند و در صورتی که معلم مطلب و موضوع جدیدی را عرضه نکند فرایند آموزش قطع می‌شود. به عبارت دیگر، فرایند آموزش، فرایندی یکسویه و گسسته است که تنها در نظام مدرسه‌ای و با **حضور و عمل** معلم شکل می‌گیرد و معنا می‌یابد و نهایت خواسته‌ی دانش‌آموز نیز آن است که تا می‌تواند تلاش کند تا بتواند در حد توان، معرفتی را که معلم منتقل می‌سازد کسب کند و در هنگام ارزشیابی و سنجش، که در این نوع آموزش به‌منزله‌ی نقطه‌ی پایانی فرایند آموزش محسوب می‌شود، پرسش‌های مطرح شده را مطابق نظر معلم پاسخ دهد و مسائل مطرح شده را به گونه‌ای حل کند تا سرانجام به پاسخی دست یابد که پیش از آن معلم به آن رسیده و مورد تائید اوست.

نتیجه‌ی منطقی چنین رویکردی در آموزش، که آن را آموزش و پرورش القایی نامیده‌ام[2]، نمی‌تواند به پویایی و نوآوری در ذهن و عمل دانش‌آموزان بینجامد. این نوع آموزش در طول زمان، دانش‌آموزان را به شهروندانی تابع و منفعل و یا به تعبیری دیگر به شهروندانی صرفاً کنش‌گر و نه کنش‌مند بدل می‌کند، که به تغییر و بهبود و اصلاح امور که از حیاتی‌ترین ویژگی‌های زندگی هر انسان در جهان امروز است، نمی‌اندیشند. به زعم این دانش‌آموزان، رابطه‌های اجتماعی از پیش تعیین شده‌اند و آن‌ها موظف‌اند تا خود را با شرایط حاکم هماهنگ سازند. افزون بر این، این نوع آموزش حتی با فلسفه‌ی خلقت انسان، که گفته‌اند نباید دو روز از زندگی‌اش مساوی باشد[3]، سازگار نیست. شاید کمترین هدف از فلسفه‌ی خلقت انسان آن باشد که بتواند به عنوان فردی ظاهر شود که بر جهان پیرامون خود اثر گذارد و آن را برای تحقق کرامت بیش‌تر انسانی تغییر دهد و از این طریق امکانات و فرصت‌های بیشتر و گسترده‌تری برای زندگی شرافتمندانه‌ی فردی و اجتماعی خود فراهم آورد.

حال پرسش‌های بسیار مهمی در این‌جا مطرح می‌شود، از جمله این‌که آیا چنین آموزشی می‌تواند شرایط و بسترهای لازم انسانی را برای توسعه فراهم سازد؟[4] آیا اساساً افرادی که بدین طریق آموزش دیده‌اند می‌توانند در توسعه‌ی کشور نقشی ایفا کنند؟ و دیگر آن‌که چه نسبتی میان آموزش و پرورش، نوآوری و توسعه وجود دارد؟

واقعیت آن است که حداقل چهار، پنج دهه است که نتیجه‌ی پژوهش‌ها، نشست‌ها و همایش‌های مختلف جهانی بر نقش کلیدی آموزش و پرورش در توسعه‌ی کشورها تأکید دارد و حتی یونسکو پا را از این هم فراتر گذارده و می‌گوید: «**هم در و هم کلید توسعه‌ی هر کشور، آموزش و پرورش است.**» همین طور پژوهش‌های مختلف بر نقش کلیدی انسان در توسعه‌ی پایدار تأکید دارد، و حتی می‌گویند **دلیل اصلی ناکامی اغلب برنامه‌های توسعه در جهان سوم آن است که در هیچ برنامه‌ی توسعه‌ای انسان به عنوان عنصر محوری مورد توجه قرار نمی‌گیرد.** از آنجاکه انسان در آموزش و پرورش آزاد و نوآور رشد و تکامل می‌یابد و خرد لازم را برای زندگی شرافتمندانه و مؤثر کسب می‌کند، بنابراین، به این مهم رهنمون می‌شویم که آموزش و پرورش القایی، اساساً فاقد دیدگاه، اجزا و توانایی‌های لازم برای پرورش انسان‌هایی است که بتوانند شرایط و بسترهای لازم را برای توسعه‌ی جامعه‌ی خود فراهم سازند.

به نظر می‌آید **تنها گزینه** و راه برون‌رفت از این وضعیت، عبور از آموزش و پرورش القایی به آموزش و پرورش آزاد و نوآور باشد. در این برون‌رفت، توجه بنیادی به آموزش و پرورش به معنای حقیقی و خارج کردن آن از حاشیه و آوردن به متن برنامه‌ریزی‌های کلان، هم از جنبه‌های نظری و هم در مقام عمل، یک **ضرورت** است. از جنبه‌ی نظری، بالا بردن آگاهی‌های افراد جامعه در **توجه و باور یافتن** به نقش بی‌بدیل یک آموزش و پرورش آزاد و نوآور برای ساختن فردایی بهتر باید به صورت برنامه‌ای مستمر درآید؛ چرا که کلاس‌های درس امروز، دنیای فردا را می‌سازند. همچنین در مقام عمل، ایجاد و تأمین شرایطی که بتوان بسترهای لازم را برای بالا بردن کیفیت و شایستگی معلمان فراهم ساخت باید به یک اصل محوری در برنامه‌ریزی‌های آموزش و پرورش تبدیل شود زیرا اعتقاد بر آن است که **آموزش و پرورش آزاد، خلاق، نوآور و باکیفیت حاصل کار معلمان آزاد، نوآور، و شایسته است.**

زیرنویس:

۱. این همان مفهوم بانکی آموزش است که در جریان آن دانش‌آموزان نقش بانک‌ها و معلمان نقش سپرده‌گذاران را ایفا می‌کنند. به بیان دیگر، در این نوع آموزش نقش دانش‌آموز به عنوان دریافت کننده‌ی اطلاعات از پیش تعیین شده است، دریافت کننده‌ای که بدون کمترین برهم‌کنشی، مغز خود را از این معلومات انباشته می‌سازد. در واقع، هرچه مغز دانش‌آموز بیش‌تر به انبار اطلاعات تبدیل شود، به جهت لَختی ناشی از انباشته شدن اطلاعات بر روی هم، توانایی او در برقراری ارتباط بین مفاهیم مختلفی که در ذهن خود انباشته است کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی ذهن و عقل و دانش‌آموز از فرصت خلاقیت و آفرینش نگاه‌های تازه و درنتیجه نوآوری که به یک معنا هدف اصلی آموزش‌اند، محروم می‌ماند.

۲. این اصطلاح را از پدیده‌ای به همین نام در فیزیک، وام گرفته‌ام.

۳. حضرت علی(ع) می‌فرمایند: مَنْ ساوَیٰ یَوماهُ فَهُوَ مَغبُونٌ (کسی که دو روزش مساوی باشد، زیان دیده است.)

۴. منظور از توسعه، توسعه‌ای است که همه‌ی ابعاد زندگی انسانی در آن لحاظ شده باشد.

بمب‌های هیروشیما و ناکازاکی:
نقش‌گزاری و علاقه‌ی دانش‌آموزان به فیزیک

میکل هایسه کوفوند[1]
مترجم: منیژه رهبر

چکیده

نقش‌گزاری یک روش آموزشی است که به ندرت در فیزیک به کار می‌رود. یک دلیل آن این است که نقش‌گزاری معمولاً طوری تدوین می‌شود که حاوی نوعی درگیری باشد و درگیری‌ها معمولاً در جریان آموزش فیزیک معمولی ظاهر نمی‌شوند. وقتی صحبت از نقش فیزیک در جنگ به میان می‌آید، نقش‌گزاری روشی ایده‌ال برای ارائه‌ی محتوا به دانش‌آموزان است. با شرکت در نقش‌گزاری، دانش‌آموزان به‌صورت فعال با شرایط آموزش درگیر، و به فیزیک علاقه‌مند می‌شوند. همین طور این فرصت را پیدا می‌کنند تا پیامدهای اخلاقی دخیل در مسأله را بفهمند.

این مقاله مثالی از برنامه‌های آموزشی مبتنی بر نقش‌گزاری را در زمینه‌ی گسترش، تصمیم‌گیری‌های مربوط، و استفاده از بمب‌های هیروشیما و ناکازاکی را در جنگ جهانی دوم نشان می‌دهد. برخی نتیجه‌های این پژوهش از ارزیابی برنامه در سال‌های پایین و بالای دوره‌ی متوسطه در دانمارک ارائه شده است.

مقدمه

اصلاح تمام دستگاه آموزشی دانمارک در سال ۲۰۰۵ آغاز شد. در این اصلاح، آموزش علوم و آموزش فیزیک مخصوصاً در سال‌های بالای دوره‌ی متوسطه نقشی مهم دارند [۱]. درنتیجه حتی دانش‌آموزانی که رشته‌شان علوم انسانی است باید چند درس فیزیک و علوم را بگذرانند. این تغییر به روش‌های جدید آموزش علوم نیاز دارد، زیرا اکنون این درس‌ها را باید گروه بزرگ‌تر و ناهمگن‌تری از دانش‌آموزان با سطح‌های علاقه‌ی مختلف به علوم بخوانند و بفهمند. یکی از هدف‌های این اصلاح آن است که آموزش علوم برای تمام دانش‌آموزان لازم و مربوط شود و معیار موفقیت جلب، نگه داشتن، و افزایش علاقه‌ی دانش‌آموزان به علوم است[۲].

گاربر[2] و همکاران[۳] نقش‌گزاری را روش خوبی برای ایجاد علاقه به علوم و مهارت علمی می‌دانند. این مقاله درباره‌ی این گزاره تحقیق می‌کند، تمرکز بر علاقه‌ی دانش‌آموزان به فیزیک و کفایت اخلاقی با استفاده از یک مثال نقش‌گزاری.

علاقه‌ی دانش‌آموزان به فیزیک

کاملاً بدیهی است که اگر دانش‌آموزان به موضوع‌هایی که تدریس می‌شود علاقه‌مند باشند، آموزش بسیار کارآمدتر می‌شود. دیوئی[3] در سال ۱۹۱۳ این مطلب را بررسی[۴] و ارتباط میان علاقه و کوشش در آموزش را برجسته کرد. همان‌طور که او گفته است، اگر متوجه علاقه‌ی دانش‌آموزان شوید توجه آن‌ها را جلب می‌کنید، و مبنای محکمی را برای آموزش به‌وجود می‌آورید. اما به‌رغم نتیجه‌گیری دیوئی در تقریباً ۱۰۰ سال پیش، امروزه برنامه‌ی درسی فیزیک هنوز برای اغلب دانش‌آموزان جذابیتی ندارد و آن‌ها فیزیک

را ملال‌آور می‌دانند[۵]. آنچه برای جلب، نگه داشتن، و گسترش علاقه‌ی دانش‌آموزان به آن نیاز داریم در دو دهه‌ی اخیر مورد بررسی گسترده قرار گرفته است. کَرپ[۴] و همکاران [۸ـ۶] می‌گویند که علاقه به گروه‌های **علاقه‌ی موقعیتی** تقسیم شده است، که در شرایط خاص ظاهر می‌شود، مثلاً یک ترکیب آموزشی، و **علاقه‌ی شخصی**، و توجه دائمی‌تری که در وجود شخص وجود دارد.

به نظر کرپ[۸] علاقه‌ی موقعیتی را در درجه‌ی اول عامل‌های خارجی به‌وجود می‌آورند. به‌وجود آمدن یا نیامدن علاقه‌ی موقعیتی به **جالب توجه بودن موقعیت** خاص بستگی دارد. برخی از عامل‌های خارجی مؤثر در این مورد عبارتند از معلم، محتوایی که تدریس می‌شود، برهم‌کنش اجتماعی، مواد آموزشی مورد استفاده، فعالیت‌ها، میزان درگیری دانش‌آموز، و ارائه‌ی محتوا.

بررسی رهیافت آموزش در این طرح مربوط به آن است که چگونه از روایت‌های فعال به صورت نقش‌گزاری استفاده کنیم تا باعث به‌وجود آوردن علاقه‌ی به فیزیک در دانش‌آموزان گردد.

نقش‌گزاری در آموزش فیزیک

نقش‌گزاری چیست و چگونه در قالب آموزش فیزیک قرار می‌گیرد؟ به‌طور مختصر، نقش‌گزاری یا روش‌های انگیزش روشی برای به‌وجود آوردن سنجیده‌ی جنبه‌های مختلف یک رویداد یا تجربه‌ی «زندگی واقعی» به صورت تقریبی و در شرایط کنترل شده است که در آن بیشتر این رویداد را معلم اجرا یا تعریف می‌کند[۹].

در طول سال‌ها، انواع مختلف نقش‌گزاری مورد توجه بوده و در شرایط مختلف بسیار به کار گرفته شده است. با این همه، استفاده از نقش‌گزاری در پژوهش آموزشی تاریخچه‌ای پراکنده دارد و به‌کارگیری مستند نقش‌گزاری در آموزش فیزیک تقریباً وجود ندارد.

اکنون که آموزش علوم توجه خود را بر توانایی متمرکز ساخته است، بهره‌گیری از نقش‌گزاری در آموزش فیزیک می‌تواند سودمند باشد.

اخلاق در فیزیک

گاربر و همکاران[۳] مدلی مبتنی بر توانایی برای سواد علمی پیشنهاد کرده‌اند که شامل هفت توانایی کلیدی دانش‌آموز برای بیرون کشیدن گلیم خود از آب در این دنیای پیچیده است. هفت توانایی مدل آن‌ها به **آنچه مردم می‌دانند** (توانایی موضوعی و معرفت‌شناختی)، و **آنچه مردم بدان ارج می‌نهند** (آموزشی، اجتماعی، توانایی آیین‌نامه‌ای و ارتباطی) و **آنچه مردم انجام می‌دهند** (توانایی اخلاقی) تقسیم شده است.

اگر بخواهیم توانایی اخلاقی دانش‌آموزان را بسط دهیم، باید فیزیک را به روش‌های نامتداول ارائه کنیم. نقش‌گزاری را می‌توان به‌عنوان ابزاری برای توسعه‌ی توانایی اخلاقی دانش‌آموزان به کار برد، اگر در برنامه‌ی این نقش‌گزاری درگیری از نوع اخلاقی دخیل باشد.

یک برنامه‌ی آموزشی مبتنی بر نقش‌گزاری

در این بخش یک برنامه‌ی آموزشی میان‌رشته‌ای مبتنی بر نقش‌گزاری با پشتیبانی فناوری اطلاعات ارائه می‌شود که برای دوره‌ی اول و دوم متوسطه در دانمارک طراحی شده است. در این برنامه‌ی آموزشی که **نمایش علمی شورانگیز**[۵] (DSP) نامیده می‌شود بررسی‌های فیزیکی، تاریخ، و اجتماعی دخیل هستند. این برنامه با همکاری دو مرکز در دانشگاه دانمارک جنوبی به‌وجود آمده است.[۶]

به طور خلاصه، سناریوی نقش‌گزاری دو جلسه‌ی خیالی در کاخ سفید در اوت ۱۹۴۵، مبتنی بر جلسه‌های واقعی کمیته‌ی موقت است.

موضوع سلاح‌های هسته‌ای در جنگ جهانی دوم به چند دلیل انتخاب شده است. اولاً، تمام سلاح‌های هسته‌ای هنوز موضوعی بسیار مباحثه‌برانگیز در جهان کنونی هستند و نقش‌گزاری به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا به صورت نقادانه به اخباری پاسخ دهند که هر روز از رسانه‌ها دریافت می‌کنند. ثانیاً، بسیاری از فناوری‌هایی که دانش‌آموزان با آن روبه‌رو می‌شوند مبتنی بر نظریه‌ی اتمی و اثرهای تابش است که قبل، در طول، و بعد از توسعه و استفاده از بمب‌ها کشف شده‌اند. ثالثاً، سالگرد شصتمین سال بمباران هیروشیما و ناکازاکی سال گذشته (۲۰۰۵) برگزار شد و نقش‌گزاری کمک می‌کند تا دانش‌آموزان این رویدادهای تاریخی را به خاطر آورند و بفهمند. و سرانجام، دانش‌آموزان می‌بینند چگونه فیزیک نقشی مهم را در تاریخ و جامعه ایفا می‌کند.

طراحی برنامه‌ی آموزشی

پرسشی که در هنگام به‌وجود آوردن یک برنامه‌ی آموزشی مطرح می‌شود این است که چگونه آن را طراحی کنیم و وارد برنامه آموزشی فیزیک موجود سازیم.

در این بخش طراحی DSP را به اختصار بررسی می‌کنیم، تا خواننده بینشی را درباره‌ی وارد کردن نقش‌گزاری به برنامه‌ی فیزیک موجود به‌دست آورد. طراحی اساسی DSP از شش مرحله‌ی زیر تشکیل شده است:

(۱) مقدمه.

(۲) توزیع شخصیت‌ها.

(۳) آماده‌سازی معلومات مربوط به شخصیت‌ها.

(۴) نقش گزاری.
(۵) نتیجه گیری.

زیربخش‌های زیر در این مقاله این شش مرحله از برنامه‌ی آموزشی را به تفصیل بیان می‌کند.

مقدمه

در شروع این برنامه‌ی آموزشی معلم کتابچه‌ی ۳۰ صفحه‌ای را که برای نقش گزاری تهیه شده است بین دانش‌آموزان توزیع می‌کند. این کتابچه‌ها برای به‌وجود آوردن زمینه‌ی لازم برای درگیر شدن در نقش گزاری تهیه شده است. مطالب آن شامل فیزیک بمب‌های هسته‌ای، آنچه که به بمباران انجامید، و سرشت جامعه در مدت جنگ جهانی دوم است. این کتابچه‌ها شامل داستان خوبی نیز هست که تاریخ فیزیک و علوم را با تاریخ جنگ جهانی دوم یکپارچه می‌سازد.

توزیع شخصیت‌ها

اکنون دانش‌آموزان باید شخصیت‌هایی را انتخاب کنند که می‌خواهند در نقش گزاری نقش آن‌ها را به عهده بگیرند.

نقش گزاری در گروه‌های کوچک انجام می‌شود. به‌طوری که هیچ کدام از آن‌ها نمی‌توانند مخفی شوند و از شرکت در آن اجتناب کنند. تمام دانش‌آموزان باید شرکت‌کنندگانی فعال باشند.

شخصیت‌هایی که دانش‌آموزان می‌توانند برگزینند به سه گروه تقسیم می‌شوند و شامل نُه شخصیت جدول ۱ هستند. وقتی دانش‌آموزان نقش خود را انتخاب کردند به آن‌ها ورقه‌ای داده می‌شود که شخصیت را توصیف می‌کند.

آماده‌سازی معلومات مربوط به شخصیت‌ها

اکنون دانش‌آموزان باید خود را آماده سازند. هر ورقه‌ی مربوط به شخصیت‌ها حاوی پرسش‌های خاص است. این پرسش‌ها به دانش‌آموزان کمک می‌کند تا اطلاعات تخصصی را به دست آورند که باید در طی نقش گزاری ارائه دهند. با آماده‌سازی این پرسش‌ها، دانش‌آموزان شناخت عمیق‌تری را از موضوعی خاص به دست می‌آورند که شخصیت برگزیده‌ی آن‌ها متخصص آن است. فیزیکدان‌ها باید چیزهای بیشتری را درباره‌ی مبانی نظریه‌ی اتمی و فرایندهای شکافت مربوط به دو بمب ـ **پسر کوچک**[۷] و **مرد چاق**[۸] ـ به دست آورند. سیاست‌مداران و شخصیت‌های نظامی باید چیزهای بیشتری را درباره‌ی فناوری بمب یاد بگیرند، مثل این که چرا روی ژاپن گرد هم آمد، و چرا باید به وسیله‌ی هواپیما انداخته می‌شد، و همین طور وضعیت سیاسی در پایان جنگ جهانی دوم.

جدول ۱. نُه شخصیت مختلف در DSP

شخصیت‌های سیاسی و نظامی
* وزیر جنگ استیمسون[۹]
* وزیر دفاع لیهی[۱۰]
* وزیر کشور برنز[۱۱]

فیزیکدان‌ها
* ژنرال گروز[۱۲]
* رییس پروژه اوپنهایمر[۱۳]
* فیزیکدان تجربی ویلسون[۱۴]
* فیزیکدان اتمی فرمی[۱۵]

دکترها[a]
* دکتر کوئیمبی[۱۶]
* دکتر نولان[۱۷]

a. هر دو شخصیت مربوط به دکترها (کوئیمبی و نولان) تا اندازه‌ی تخیلی‌اند. زیرا اطلاعات مربوط به دکترهای پروژه‌ی مانهاتان بسیار پراکنده است.

دکترها باید درباره‌ی تأثیر مواد پرتوزا و ریزش‌های پس از انفجار هسته‌ای بر سلامت انسان‌ها چیزهایی را بدانند.

نُه گروه کوچک، یکی برای هر شخصیت، تشکیل می‌شود. در داخل هر گروه، دانش‌آموزانی که یک نقش را بازی می‌کنند با استفاده از موادی که در اختیار آن‌ها قرار دارد و صفحه‌ای که در شبکه بدین منظور به وجود آمده[۱۰] و کتاب‌های درسی خود همکاری می‌کنند تا اطلاعات علمی، سیاسی و تاریخی مورد نیاز را به‌دست آورند.

آماده‌سازی شخصیت‌ها

برای انجام درست نقش گزاری و فرورفتن در نقش شخصیت‌ها، دانش‌آموزان باید خود را با ویژگی‌های شخصیت مورد نظر هماهنگ سازند. این کار با مطالعه‌ی ورقه‌هایی مربوط به شخصیت‌ها، اطلاعات مربوط در صفحه‌ی شبکه و در اینترنت و پاسخ‌گویی به پرسش‌هایی انجام می‌شود که در ورقه مربوط به شخصیت است. پس از تکمیل این مرحله، دانش‌آموزی که مثلاً نقش اوپنهایمر را به عهده دارد اطلاعات بسیاری را درباره‌ی شخصیت اوپنهایمر و چگونگی تقلید نقش او در نقش گزاری می‌داند.

شکل ۱ . تصویری از جلسه پیش از نقش‌گزاری در موردی که اینشتین یکی از شخصیت‌ها بود.

نقش‌گزاری

اکنون زمانی است که باید دانش‌آموزان نقش خود را در نقش‌گزاری واقعی ایفا کنند. نقش‌گزاری از دو بخش تقریباً ۴۵ دقیقه‌ای با استراحت بین دو بخش تشکیل شده است. هر دو بخش جلسه‌های کمیته‌ی موقت را تقلید می‌کنند.

اولین بخش قبل از بمباران هیروشیما صورت می‌گیرد. سناریو ارائه‌ی سلاح امریکایی جدید ـ بمب هسته‌ای ـ است و شرکت کنندگان در جلسه درباره‌ی طرز کار، چگونگی استفاده از آن، و این که در کجا باید از آن استفاده کرد صحبت می‌کنند. اولین جلسه با نامه‌ای از رییس جمهور پایان می‌یابد که در آن تصمیم خود برای بمباران هیروشیما را اعلام می‌کند.

بخش بعدی نقش‌گزاری جلسه‌ی بعدی است که چند روز پس از جلسه‌ی اول و بمباران هیروشیما صورت می‌گیرد. در این جلسه، به دانش‌آموزان اطلاعاتی درباره‌ی برخی از پیامدهای بمب هسته‌ای داده می‌شود و آن‌ها باید تصمیم بگیرند آیا از بمب دوم برای بمباران ناکازاکی استفاده کنند یا نه.

هر گروه متشکل از ۶-۹ شخصیت است که نقش‌گزاری را همزمان انجام می‌دهند. این کار با نشستن دانش‌آموزان به دور یک میز (نگاه کنید به شکل ۱)، در کلاس‌های مختلف انجام می‌شود تا گروه‌های مختلف در کار هم اختلال ایجاد نکنند.

نقش‌گزاری را خود دانش‌آموزان کنترل می‌کنند. معلم می‌تواند آزادانه در کلاس‌ها قدم بزند و بدون دخالت در کار آن‌ها به نقش‌گزاری‌ها گوش دهد.

در آغاز هر بخش از نقش‌گزاری، به یکی از دانش‌آموزان (منشی گروه) مجموعه‌ای از کارت‌های رویداد داده می‌شود. این کارت‌ها حاوی پیام‌های رییس جمهور است، که نظر شخصیت‌ها را در مورد مطالب خاص جویا می‌شود، و نشان می‌دهد که چه وقت باید این پیام‌ها به صدای بلند برای افراد گروه خوانده شود.

نتیجه‌گیری

پس از نقش‌گزاری، تمام دانش‌آموزان در یک کلاس جمع می‌شوند تا درباره‌ی آنچه اتفاق افتاده است و پیامدهای نقش‌گزاری برای گروه‌های مختلف بحث کنند. چون برخی از قسمت‌های نهایی نقش‌گزاری ممکن است با چیزی که واقعاً رخ داده است تفاوت داشته باشد، این فرصت خوبی است تا بحث شود، مثلاً، اگر آمریکایی‌ها تصمیم می‌گرفتند از بمب‌ها استفاده نکنند، یا اگر بمب‌ها هرگز اختراع نشده بودند، چه اتفاقی می‌افتاد.

سرانجام از دانش‌آموزان خواسته می‌شود که وقتی عهده‌دار نقش هستند نامه‌ی کوتاهی را به یکی از اعضای خانواده‌ی خود یا طفلی در آینده بنویسند و شرح دهند که چه اتفاقی در جلسه‌ها افتاد و چرا این تصمیم‌ها گرفته شد. این باعث می‌شود تا دانش‌آموزان به طور نقادانه درباره‌ی جنبه‌های اخلاقی آنچه در نقش‌گزاری به وقوع پیوسته است بیندیشند و تجربه‌های خود را بنویسند.

شکل ۲ . ارزیابی کلی دانش‌آموزان از نقش‌گزاری هیروشیما و ناکازاکی

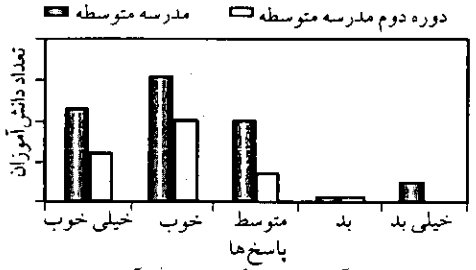
برخی نتیجه‌های اولیه

این برنامه‌ی آموزشی در اواخر بهار ۲۰۰۶ در مورد فیزیک در ده کلاس دوره‌ی اول متوسطه و در کلاس دوره‌ی دوم ارزیابی شد. این مقاله برخی نتیجه‌های اولیه را نشان می‌دهد که مبتنی بر یک پرسش‌نامه‌ی حاوی ۵۶ پرسش است که دانش‌آموزان پس از پایان دوره به آن پاسخ گفتند. نتیجه‌های بعدی شامل تحلیل مصاحبه با برخی از دانش‌آموزان و معلمان و ضبط ویدیویی خود نقش‌گزاری است.

نقش‌گزاری در آموزش فیزیک

یکی از چیزهایی که می‌خواستم بدانم این بود که نظر دانش‌آموزان درباره‌ی این نقش‌گزاری خاص DSP چیست (شکل ۲) و به طور کلی چقدر آن را برای آموزش فیزیک مناسب می‌دانند (شکل ۳). اکثریت دانش‌آموزان هم در مورد DSP و استفاده کلی از نقش‌گزاری نظر مثبت داشتند.

از اولین پرسش درباره‌ی نقش‌گزاری هیروشیما و ناکازاکی برخی از شاگردان اظهار نظر کردند که «این روشی خوب و هیجان‌انگیز برای آموختن است. شما بیشتر درگیر آن می‌شوید، و مانند آموختن به کمک تخته‌ی سیاه از آن خسته نمی‌شوید»، «فکر



شکل ۳ . دانش‌آموزان نقش‌گزاری را در آموزش فیزیک چقدر مناسب می‌دانند.

شکل ۴ . چگونه نقش‌گزاری علاقه‌ی دانش‌آموزان را به فیزیک تغییر داده است.

می‌کنم که سرگرمی خوبی بود» و «خُب: خوب است که همه‌ی افراد کلاس چیزی برای گفتن دارند، و کسی در عقب کلاس پنهان نمی‌شود». برخی از اظهارنظرهای پرسش دوم بدین قرار بودند «در مقایسه با آموزش معمولی، این نوع آموزش در ذهن می‌ماند»، «جایگزین خوبی برای آموزش معمولی به‌نظر می‌رسد»، «بسیار سرگرم کننده‌تر، و نوعی آموزش است که همه در آن شرکت دارند». نتیجه‌گیری از این دو پرسش آن است که دانش‌آموزان نقش‌گزاری را در آموزش فیزیک مفید می‌دانند.

علاقه‌ی دانش‌آموزان به فیزیک

برای بررسی این که آیا دانش‌آموزان به صورت فعال در وضعیت آموزش درگیر و به فیزیک علاقه‌مند می‌شوند، از دانش‌آموزان خواستم تا برخی از واژه‌های کلیدی برای توصیف جنبه‌های مثبت نقش‌گزاری را بنویسند. بسیاری از آن‌ها نوشتند که نقش‌گزاری روش: **جدیدی؛ متفاوتی؛ سرگرم کننده‌ای؛ هیجان‌انگیزی؛ چالش‌برانگیزی؛ و جالب‌توجهی** برای آموختن است. همین طور یکی از دانش‌آموزان نوشت «... و همزمان با آن ناگهان خواندن و تمرین مواد لازم برای آماده‌سازی نقش جالب شد»، که به روشنی بیان می‌کند چگونه آماده‌سازی فعال برای نقش‌گزاری به علاقه‌ی موقعیتی انجامیده است. دانش‌آموز دیگر اظهار داشت چگونه درگیری فعال در نقش‌گزاری در علاقه‌ی او به وضعیت آموزش تأثیر داشته است. او نوشت «... وقتی خودتان در یک کار شرکت دارید علاقه بیشتری به آن پیدا می‌کنید...».

همین طور تغییر علاقه‌ی دانش‌آموزان به فیزیک را با این پرسش بررسی کردم که علاقه‌ی آن‌ها به فیزیک پس از نقش‌گزاری در مقایسه به قبل از آن چه تغییری کرده است (شکل ۴). این پرسش‌ها، همین طور اظهار نظرهای دانش‌آموزان، نشان می‌دهد که این نقش‌گزاری خاص تأثیر مثبتی در علاقه‌ی بسیاری از دانش‌آموزان به فیزیک داشته است. یک نتیجه‌گیری محتاطانه‌ی مبتنی بر این نتیجه‌ها آن است که از نقش‌گزاری می‌توان برای ایجاد علاقه به فیزیک در آموزش آن استفاده کرد.

اخلاق در فیزیک

وقتی صحبت از توانایی اخلاقی به میان می‌آید، بدیهی است که این نقش‌گزاری خاص با مباحثه‌های مربوط به استفاده از بمب‌های هسته‌ای سبب توسعه‌ی توانایی‌های اخلاقی می‌شود. همان‌طور که برخی از دانش‌آموزان نوشتند «مطالب بسیاری را درباره‌ی خود جنگ و سردرگمی ایالات متحده می‌آموزید» و «مطالب بسیاری را درباره‌ی سردرگمی دانشمندان در هنگام تولید بمب یاد گرفتم. آن‌ها نمی‌دانستند که بمب برای آسیب‌رساندن به افراد غیر نظامی به‌کار می‌رود».

نتیجه‌گیری

نقش‌گزاری روشی برای ارائه‌ی محتوای فیزیک به دانش‌آموزان است که علاقه‌ی آن‌ها را به علوم با مشارکت فعال در فرایند آموزش زیاد می‌کند. به‌وجود آوردن یک طرح نقش‌گزاری که در آن درگیری‌های اخلاقی دخیل باشد، توانایی اخلاقی دانش‌آموزان را گسترش می‌دهد و باعث می‌شود که متوجه ارتباط میان فیزیک و اجتماع در متن تاریخی شدند.

با این همه، مهم است که متوجه محدودیت‌های نقش‌گزاری در آموزش فیزیک نیز باشیم. این روش به تمام توانایی‌های موضوع نمی‌پردازد. نقش‌گزاری را باید مکمل خوبی برای آموزش فیزیک در دوره‌ی اول و دوم متوسطه در نظر گرفت، اما البته جایگزین آموزشی آن نخواهد شد. همان‌طور که یکی از دانش‌آموزان اظهارنظر کرده است: «این موضوع باید به عنوان یک تغییر ظاهر شود، و نه چندان زیاد که چیز خاصی به نظر برسد».

زیرنویس:

1. Mikkel Heise Kofoed
2. Garber
3. Dewey
4. Krapp
5. Dramatic Science Play
6. DSP با همکاری بین **مرکز آموزش علوم و ریاضی**- مرکزی برای تقویت ارتباط علوم بین مدرسه‌ها، دانشگاه و صنعت به‌وجود آمده است- و مرکز هنرها و علوم- مرکزی برای تقویت گفت‌وشنود بین دنیای پژوهش و عامه‌ی مردم با استفاده از ابزارهای هنری به‌وجود آمده است.
7. Little Boy
8. Fat man
9. stimson
10. Leahy
11. Byrnes
12. Groves
13. Oppenheimer
14. Wilson
15. Fermi
16. Quimby
17. Nolan

منبع:

Physics Education, November 2006, pp 502-507

ما و خوانندگان

◆ ۱ . خانم **عذرا فقیهی آفارانی** زیر عنوان «**فیزیک و وحدت جهان**» گزیده‌ای از «دیدگاه‌های فلسفی فیزیکدانان معاصر و قرآن و علوم طبیعت اثر دکتر گلشنی» را همراه با ترجمه چند آیه مبارک قرآنی و روایت دینی، برای انتشار در مجله ارسال داشته‌اند. توجه خوانندگان گرامی را به برخی از این منتخبات عبرت‌انگیز و ارزشمند جلب می‌نماید.

(آیه ۲۲ سوره انبیاء) ـ «اگر در آن‌ها (آسمان‌ها و زمین) به جز خدای یکتا خدایانی وجود می‌داشت هر آینه خلل و فساد در آن‌ها راه می‌یافت.»

(آیه ۱۹۰ سوره آل‌عمران) ـ «همانا در آفرینش آسمان‌ها و زمین و گردش شب و روز نشانه‌هایی برای خردمندان موجود است.»

(روایتی از حضرت علی(ع)) ـ «تفکر در ملکوت آسمان‌ها و زمین پرستش مخلصان است.»

(اینشتین) [۱۲۵۷ـ۱۳۳۴هـ. ش] «تجاربی که تاکنون داشته‌ایم به ما این اجازه را می‌دهند که عقیده داشته باشیم، طبیعت خود مصداق ساده‌ترین اندیشه‌های ریاضی قابل تصور است...»

(ماکس پلانک) [۱۲۳۷ـ۱۳۲۶هـ. ش] «... فیزیکدان باید فرض کند که بر جهان فیزیکی قوانین معینی حاکمند که قابل فهم باشند گرچه او نتواند آن‌ها را کاملاً بفهمد و یا مشخصات و نحوه عملشان را به طور قطعی کشف کند...»

◆ ۲ . آقایان **عین‌الله محبّی** دبیر شیمی ناحیه یک اراک و **محسن رفیعی** ـ برگردان فارسی مایع قانون‌شکن در سایت آقای دکتر خرمی وجود دارد.

◆ ۳ . آقای حشمت کاکا ـ دبیرستان نمونه باقرالعلوم ایلام: «**موشکافی قوانین فیزیک**» براساس درست و با دانش کافی بسیار جالب و سودمند است. تفسیر و توضیح قوانین با اطلاعات مقدماتی، نوآموزان علوم را گمراه می‌کند.

◆ ۴ . **آقایان هدایت دادک و سلیمان رسولی مطلبی** درخصوص «آموزش پدیده‌ی فوتوالکتریک به زبان ساده» برایمان ارسال نموده‌اند که دربرگیرنده‌ی همان مفاهیمی است که در فیزیک ۲ پیش‌دانشگاهی به آن‌ها اشاره شده است. در پایان این مقاله به نرم‌افزاری اشاره شده است که نسخه‌ی نمایشی آن را می‌توانید از آدرس «www.openteach.com» دریافت کنید. در این نرم‌افزار علاوه بر پدیده‌ی فوتوالکتریک، پدیده‌های دیگری نیز شبیه‌سازی شده‌اند.

◆ ۵ . آقایان **مهدی نوعی باهوش، حسین کوشا، محمدحسن علامت‌ساز، سعید سرابی‌دانش، حسن اتحادمهرآباد، بهزاد رنجبری** و خانم **نرگس رزاق‌زاده** لطفاً در یکی از ساعت‌های اداری روزهای شنبه تا چهارشنبه با دفتر مجله‌ی رشد آموزش فیزیک به شماره‌ی ۸۸۳۰۲۰۲۱ تماس حاصل فرمایید.

بیان روش تدریس نوین در درس فیزیک و مقایسه آن با روش سنتی

عبدالکریم افروزه دبیر فیزیک شهرستان قیروکارزین
Afroozeh155@yahoo.com

چکیده

امروزه دبیرانی در کلاس درس موفق هستند که به یک روش تدریس دل نبسته‌اند و همواره در پی آن بوده‌اند که روش‌های تدریسی ارایه دهند که متناسب با بحث کتاب و فضای فیزیکی کلاس، و انعطاف‌پذیر باشد. زیرا بحث‌های مختلف کتاب روش‌های متفاوتی را طلب می‌کند. کتاب‌های درسی فیزیک دبیرستان از آن دسته کتاب‌هایی است که شامل مطالب و مباحثی به صورت‌های کمی، کیفی و تجربی است، بنابراین باید به دنبال روش‌هایی متناسب با این مطالب بود.

در این مقاله، سه نوع روش تدریس متناسب با بحث کتاب (کمی، کیفی و تجربی) برای درس فیزیک و آزمایشگاه همراه با محاسن آن بیان شده است. این طرح به مدت سه سال، در دبیرستان غیر انتفاعی خیام قیروکارزین در سال‌های ۸۱ تا ۸۴ اجرا شده است و درنهایت مقایسه‌ای بین نتایج آزمون نهایی دانش‌آموزان در درس فیزیک ۲ این دبیرستان (خیام) با دبیرستان اقبال انجام شده است.

بیان مسأله

همان‌طور که علوم همواره رو به رشد هستند و مرتب به روز می‌شوند، روش‌ها نیز باید با گذشت زمان تغییر کند و به روز شود. دانش‌آموزان امروزی هم از لحاظ علمی و هم از لحاظ نگرش فرهنگی با دانش‌آموزان قدیمی تفاوت دارند.

با توجه به متنوع بودن مطالب کتاب فیزیک شاید اکتفا کردن به یک روش تدریس دانش‌آموز را راضی نکند. با روش‌های دیروز نمی‌توان جوانان امروز را برای فردا آماده کرد. بنابراین متناسب با هر مبحثی باید روش تدریس خاصی را پیش گرفت.

لازمه‌ی یک تدریس خوب و مناسب، استفاده از روش‌هایی است که دانش‌آموز را از درس خسته و دلزده نکند، و روش‌های ارایه مطالب طوری باشد که دانش‌آموز مشتاقانه در سر کلاس حضور پیدا کند و متوجه گذر زمان کلاس نشود.

تشریح نحوه اجرای روش‌های تدریس برای حل مسأله

ما در این جا سه نوع روش تدریس متناسب با مطالب و مباحث کتاب بیان کرده‌ایم. به این صورت که مطالب کتاب را به سه دسته تقسیم کرده‌ایم:

الف ـ مباحث کمی: که معمولاً به حل مسائل با استفاده از رابطه‌ها برمی‌گردد.

ب ـ مباحث کیفی: که با مفاهیم و اصطلاحات فیزیکی سروکار دارد.

ج ـ مباحث تجربی: که به انجام آزمایش‌های فیزیکی مربوط می‌شود.

و متناسب با این مباحث روش تدریس خاص ارائه کرده‌ایم که به قرار زیر است:

الف ـ روش تدریس دو آزمونه (مختص مباحث کمی)

این روش برای مباحثی است که نیاز به فرمول‌های فیزیکی دارند و حل ریاضی کاربرد دارد. در این روش در هر جلسه دو آزمون از دانش‌آموزان گرفته می‌شود، به این صورت که آزمون اول در ابتدای

جلسه (آزمون ورودی) و آزمون دوم در پایان جلسه (ارزشیابی) گرفته می‌شود.

اساس آزمون اول براساس درس جلسه قبل و شامل دو پرسش است که معمولاً یکی تعریف کمیت‌ها و یا مفهومی، و دیگری مسأله است. بارم آن دو نمره و مدت زمان آن ده دقیقه است. بعد از اتمام آزمون، ۵ دقیقه دیگر صرف حل و بحث آزمون می‌شود و نمره‌های آن به عنوان نمره‌های مستمر در نظر گرفته می‌شود (البته برای کاهش نگرانی دانش‌آموزان در حدود ۶۰ درصد این نمره‌ها در نظر گرفته می‌شود، به عنوان مثال اگر دانش‌آموزی ده نمره از ده آزمون داشته باشد، ۶ نمره که بالاترین است برای او به عنوان نمره مستمر در نظر گرفته می‌شود).

بعد از آن درس جدید عنوان می‌شود که سعی می‌شود دبیر متکلم‌وحده نباشد و تدریس با همکاری گروه‌های دانش‌آموزی انجام شود. تدریس باید با یک یا چند پرسش شروع شود و در پایان به این پرسش‌ها با همکاری دانش‌آموزان پاسخ داده شود.

در ده دقیقه پایانی جلسه، آزمون دوم که شامل یک یا دو پرسش از درس همان جلسه است گرفته می‌شود، در این آزمون دانش‌آموزان به صورت گروهی جواب می‌دهند و نمره‌های آن نیز مانند آزمون اول در نظر گرفته می‌شود.

ب ـ روش تدریس دانش‌آموز محوری (مختص مباحث کیفی)

این روش بیشتر در مباحثی از فیزیک اجرا می‌شود که نیاز به حل ریاضی ندارند و به صورت کیفی بیان شده‌اند.

در این روش دانش‌آموزان کلاس به چند گروه تقسیم می‌شوند. یک یا چند قسمت از کتاب را مشخص می‌کنیم (برای مثال ۴ صفحه) و از دانش‌آموزان می‌خواهیم که این قسمت را مطالعه کنند و هر گروه اگر به پرسشی برخوردند که قادر به تشریح آن نبودند آن را یادداشت کنند.

البته زمان مطالعه نیز باید مشخص شود بعد از اتمام زمان از سر گروه می‌خواهیم که پرسش‌های خود را مطرح کند و از دیگر گروه‌ها می‌خواهیم که به این پرسش‌ها جواب دهند. به همین ترتیب ادامه می‌دهیم تا پرسشی باقی نماند. در پایان دبیر باید نتیجه‌گیری و بحث را کامل کند. سپس از هر گروه می‌خواهیم که با ذکر نام گروه، دو پرسش طرح کنند و به دبیر تحویل دهند. دبیر پرسش‌ها را بررسی می‌کند و از گروه‌های دیگر می‌خواهد که به آن‌ها پاسخ دهند. سپس پاسخ‌ها جمع‌آوری شده و به گروه‌های طراح داده می‌شود تا نمره‌گذاری کنند. این نمره‌ها به عنوان نمره مستمر در نظر گرفته می‌شود. (۶۰ درصد این نمره‌ها در نظر گرفته می‌شود.).

ج ـ روش تدریس معلم دوم (مختص مباحث تجربی)

این روش بیشتر در دروس آزمایشگاهی استفاده می‌شود. در این روش هنگام برگزاری کلاس آزمایشگاه فیزیک باید سعی شود به تعداد گروه‌ها آزمایش وجود داشته باشد. به عنوان مثال اگر ۴ گروه ۳ نفری داشته باشیم، ابتدا باید وسیله‌های لازم برای ۴ آزمایش متفاوت مربوط به درس فیزیک آماده شود. سپس دبیر برای هر گروه، آزمایش مربوط به آن گروه را توضیح می‌دهد. در مرحله‌های بعدی برای تعویض آزمایش‌ها دانش‌آموزان هر گروه نقش معلم را ایفا می‌کنند و هر گروه متقابلاً باید آزمایش‌ها را برای گروه دیگر توضیح دهد و سپس نتیجه‌های خود را با هم مقایسه کنند. دبیر در این مرحله نقش نظارتی را به عهده می‌گیرد. این مراحل تا جایی ادامه می‌یابد که همه‌ی گروه‌ها همه‌ی آزمایش‌ها را انجام دهند. البته هر گروه بعد از پایان هر آزمایش باید نتیجه‌ها را به اطلاع دبیر برساند.

سرگروه‌ها موظف هستند گزارش کامل آزمایشگاه را در جلسه آینده به دبیر مربوطه تحویل دهند تا نمره‌هایی به عنوان نمره مستمر برای آن‌ها در نظر گرفته شود.

محاسن اجرای طرح

الف ـ محاسن طرح کمّی

۱ـ دانش‌آموز با آمادگی سر کلاس درس حاضر می‌شود.

۲ـ دانش‌آموز سعی می‌کند در فرایند تدریس حضوری فعال داشته باشد تا در آزمون پایان جلسه موفق باشد.

۳ـ آزمون‌های مستمر باعث افزایش فرایند یادگیری می‌شود.

۴ـ دانش‌آموز نگرانی ندارد زیرا همه نمره‌ها به عنوان مستمر در نظر گرفته نمی‌شود.

۵ـ حدود ۲۵ درصد جلسه صرف فکر کردن دانش‌آموز می‌شود که باعث افزایش قدرت تحلیل‌گری ذهن او می‌شود.

۶ـ دانش‌آموز به هنگام امتحان پایانی با آسودگی خاطر درس

را مطالعه می‌کند، زیرا قبلاً به صورت جزبه‌جز آن‌ها را مطالعه کرده است.

ب ـ محاسن طرح کیفی

۱ـ دانش‌آموز با کتاب در تعامل است.

۲ـ عادت به جزوه‌نویسی کاهش می‌یابد.

۳ـ دانش‌آموزان کم‌رو نیز می‌توانند به کمک سرگروه پرسش‌هایشان را مطرح کنند.

۴ـ دانش‌آموز با نحوه طرح سؤال و ارزش‌گذاری آشنا می‌شود.

۵ـ دانش‌آموز به بحث کردن و تفسیر کردن علاقه‌مند می‌شود.

۶ـ دانش‌آموز در همان جلسه ارزش‌یابی می‌شود بنابراین سعی می‌کند در بحث‌های کلاسی شرکت کند و نظر دهد.

۷ـ دانش‌آموز نگرانی ندارد زیرا همه نمره‌ها به عنوان مستمر در نظر گرفته نمی‌شود.

۸ ـ دانش‌آموزان روش همکاری و همیاری با یکدیگر را یاد می‌گیرند.

ج ـ محاسن طرح تجربی

۱ـ دانش‌آموز علاوه بر انجام آزمایش باید آن را آموزش دهد بنابراین فرآیند یادگیری بهتر انجام می‌شود.

۲ـ آزمایش بیشتری در مدت زمان کمتری انجام می‌شود.

۳ـ دانش‌آموزان خودشان آزمایش انجام می‌دهند و مستقیم با وسایل آزمایشگاهی سروکار دارند.

۴ـ با توجه به محدود بودن وسایل آزمایشگاهی این روش به ما این امکان را می‌دهد که از وسایل استفاده بهینه شود.

۵ـ دبیر را خسته نمی‌کند زیرا هر آزمایش را برای تعداد کمی توضیح می‌دهد.

۶ـ دبیر، نظارت بیشتر و دقیق‌تری دارد.

معایب اجرای طرح

۱ـ کمی ساعت‌های تدریس با توجه به حجم کتاب.

۲ـ در کلاس‌های پرتعداد می‌تواند باعث شلوغی کلاس شود.

۳ـ مخالفت بعضی اولیا با این روش.

نتیجه‌های اجرای طرح و مقایسه با روش سنتی

اکنون آزمون پایانی دو کلاس تقریباً هم‌سطح که با دو روش سنتی و نوین توسط یک دبیر در طول یک سال تحصیلی تدریس شده را بررسی می‌کنیم.

نمره‌های زیر مربوط به نتیجه‌ی آزمون نهایی درس فیزیک ۲ و آزمایشگاه دو کلاس دوم است. در کلاس الف با روش نوین و در کلاس ب با روش سنتی تدریس شده است.

برای مقایسه‌ی این دو کلاس از درصد فراوانی نمره‌ها استفاده کرده‌ایم و نمودار ستونی آن را به صورت زیر رسم کرده‌ایم.

الف. نتیجه‌ی آزمون پایانی فیزیک ۲ دبیرستان خیام سال ۱۳۸۴

دانش‌آموزان	نمره پایانی
دانش‌آموز ۱	۱۸
دانش‌آموز ۲	۱۵
دانش‌آموز ۳	۱۸
دانش‌آموز ۴	۱۸/۵
دانش‌آموز ۵	۱۷/۵
دانش‌آموز ۶	۱۷
دانش‌آموز ۷	۱۵
دانش‌آموز ۸	۱۶/۶
دانش‌آموز ۹	۱۹
دانش‌آموز ۱۰	۹
دانش‌آموز ۱۱	۱۷/۵
دانش‌آموز ۱۲	۱۷/۲۵
دانش‌آموز ۱۳	۱۵
دانش‌آموز ۱۴	۱۳
دانش‌آموز ۱۵	۱۴

ب . نتیجه ی آزمون پایانی فیزیک ۲ دبیرستان اقبال سال ۱۳۸۴

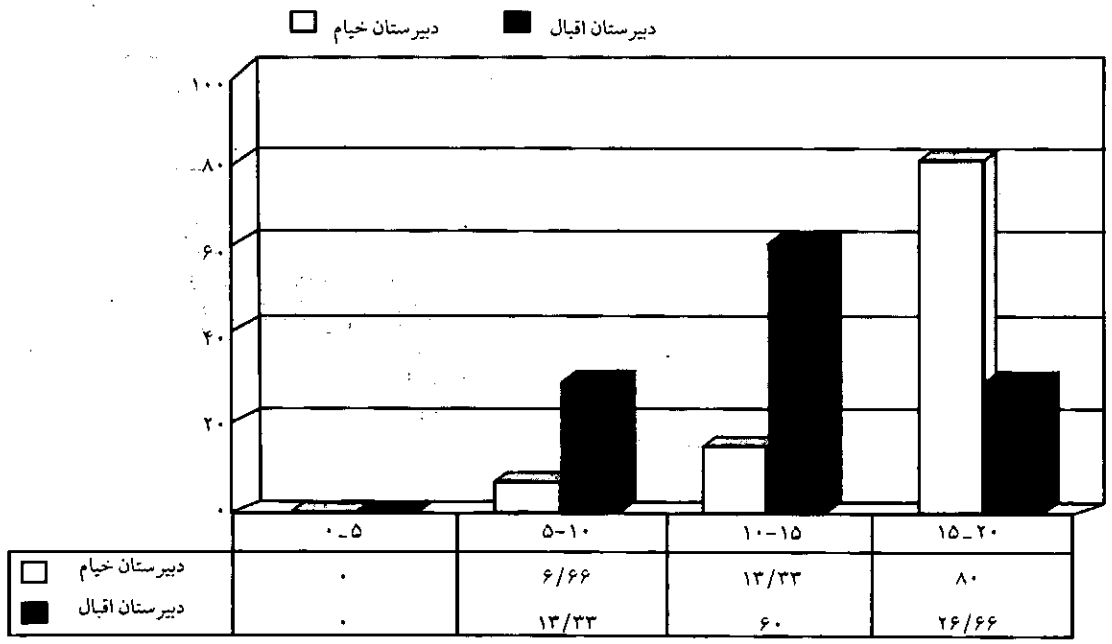
دانش‌آموزان	نمره پایانی
دانش‌آموز ۱	۱۴
دانش‌آموز ۲	۱۲/۷۵
دانش‌آموز ۳	۱۳/۵
دانش‌آموز ۴	۱۴
دانش‌آموز ۵	۱۶
دانش‌آموز ۶	۱۶
دانش‌آموز ۷	۱۱
دانش‌آموز ۸	۱۹
دانش‌آموز ۹	۱۳/۵
دانش‌آموز ۱۰	۱۷
دانش‌آموز ۱۱	۹
دانش‌آموز ۱۲	۱۴/۵
دانش‌آموز ۱۳	۱۵
دانش‌آموز ۱۴	۱۲
دانش‌آموز ۱۵	۸

نمودار نشان می دهد که نمره‌های ۸۰ درصد دانش‌آموزان خیام بین ۱۵ تا ۲۰ است در صورتی که در دبیرستان اقبال ۲۶/۶۶ درصد دانش‌آموزان این نمره‌ها را کسب کرده‌اند . نمره‌ی ۶/۶۶ درصد دانش‌آموزان خیام بین ۵ تا ۱۰ است در صورتی که ۱۳/۳۳ درصد دانش‌آموزان اقبال دارای این نمره‌ها هستند؛ همچنین درصد قبولی دبیرستان خیام ۹۳/۳۳ و دبیرستان اقبال ۸۶/۶۶ است .

با مقایسه‌های بالا می توان به مزیت روش نوین تدریس پی برد .

تقدیر و تشکر

در پایان از مدیریت دبیرستان خیام آقای اسدپوری و همچنین مدیریت دبیرستان اقبال آقایان فتحی و هاشمی کمال تشکر را دارم .



	۰_۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵_۲۰
دبیرستان خیام	۰	۶/۶۶	۱۳/۳۳	۸۰
دبیرستان اقبال	۰	۱۳/۳۳	۶۰	۲۶/۶۶

مصاحبه

پروفسور روی گلابر
ترجمه : آزیتا سیدفدایی

گفت‌وشنود

دانش‌آموزان دبیرستانی با

برنده‌ی جایزه‌ی نوبل سال ۲۰۰۵

اشاره

متن زیر ترجمه‌ای است از مصاحبه‌ای که تعدادی از دانش‌آموزان دبیرستانی در کشور لهستان با برنده‌ی جایزه‌ی نوبل فیزیک در سال ۲۰۰۵ داشته‌اند. هدف از آوردن این ترجمه در مجله‌ی رشد آموزش فیزیک توجه به این نکته است که دیدگاه‌ها و تصورها و پرسش‌هایی که دانش‌آموزان مقطع دبیرستان از بزرگان علم فیزیک دارند چیست؟

پس از مطالعه درمی‌یابید که دقت بر روی روش و منش و علاقه‌های دانشمندان، یکی از مواردی است که برای دانش‌آموزان مهم است. ای بسا به دنبال نقطه‌ی مشترکی بین خود و آن دانشمند می‌گردند! که این خود، نقطه‌ی شروعی، برای ایجاد انگیزه در دانشمند شدن است.

*** چه عاملی باعث شد که شما یکی از افرادی باشید که برنده‌ی جایزه نوبل شدید؟**

ـ تفکر سخت در مورد چیزهای زیادی که شما درنیافته‌اید.

*** چه مدت بر روی مسأله‌ای که باعث شد جایزه‌ی نوبل را دریافت کنید وقت گذاشتید؟**

ـ کار اصلی چیزی حدود دو سال طول کشید اما پرسش‌های اصلی آن چیزی حدود ۳۵ سال پیش مرا به خود مشغول کرده بود.

*** به نظر شما مهم‌ترین وظیفه‌ی یک فیزیکدان چیست؟**

ـ گسترش یافته‌های نو.

*** ترجیح می‌دهید تنها کار کنید یا در یک گروه؟**

ـ معمولاً نظریه‌پردازان تنها کار می‌کنند، اما آن‌ها مجبور به تماس نزدیک با سایرین هستند.

*** آیا مدرسه را دوست داشتید؟**

ـ بیشتر بخش‌های نوآوری آن را دوست داشتم، اما مدرسه باعث اتلاف وقت زیادی می‌شد.

*** فیزیک و ریاضیات را در مدرسه دوست داشتید؟**

ـ بله، آن‌ها به من اعتماد به نفس و بصیرت می‌دادند.

*** آیا به غیر از برنامه‌های درسی در مدرسه کارهای دیگری انجام می‌دادید؟**

ـ بله، مطالعه و تجربه در زمینه چیزهای مختلف.

*** کتاب یا مقاله‌ای که بر علاقه‌ی شما نسبت به فیزیک تأثیر گذاشته باشد را به یاد می‌آورید؟**

ـ کتاب‌های معروف آقای جیمز جینز و آرتور ادینگتون در دهه‌ی ۱۹۳۰.

*** وقتی جوان بودید آیا علاقه داشتید که درباره‌ی فیزیک با والدینتان یا یکی از اعضاء خانواده‌تان صحبت کنید؟**

ـ خیر.

*** دل‌مشغولی‌ها و موضوع‌های مورد علاقه شما در مدرسه چه بودند؟**

ـ آن‌ها عبارت بودند از: ساختن مدل‌هایی برای مسیر حرکت قطارها و همچنین ساختن تلسکوپ و ابزارهای نوری.

*** در حال حاضر مشغولیت شما چیست؟**

ـ کار و مطالعه.

*** فرزندان شما علاقه به فیزیک داشتند؟**

ـ نه خیلی زیاد.

*** فعالیتی در زمینه‌ی فیزیک دارند؟**

ـ خیر.

*** و اما یک پرسش خیلی شخصی:**
چگونه با همسرتان آشنا شدید؟

ـ زمان زیادی نیست که ازدواج کرده‌ام. ایشان، خواهر یکی از دوستان شاعر من است.

*** آیا هیچ شده که با همسر یا فرزندانتان درباره‌ی تحقیقتان صحبت کنید؟**

ـ بله، وقتی در خانه بودند، خیلی وقت‌ها این کار را می‌کردم.

*** از مطالعه ادبیات لذت می‌برید؟**

ـ بله.

*** موسیقی مورد علاقه‌تان چیست؟**

ـ J.S. Bach و بت هُوِن (L. Beethoven)

*** چه ورزش‌هایی را تجربه کرده‌اید؟**

ـ اسکیت و اسکی.

منبع :

Foton Journal of physics teachers and their students (Spring 2006); p: 64.

رهیافتی ساده به پیامدهای آزمایشگاهی نسبیت عام

پیتر رولاند
ترجمه: محمدرضا خوش‌بین‌خوش‌نظر

معمولاً فرض می‌شود که لازمه‌ی تحلیل سه آزمایش کلاسیک نسبیت عام به کارگیری ریاضیات کامل این نظریه در استنتاج آن‌هاست. ولی، در واقع استنتاج آن‌ها به کمک گرانش نیوتن و نسبیت خاص، دست کم به گونه‌ای که بخشی از آن قابل فهم باشد، برای دانش‌آموزان پیش‌دانشگاهی نیز امکان‌پذیر است.

هر وقت از من می‌خواهند با یک جمله فرق نظریه‌های نسبیت خاص و نسبیت عام را بیان کنم، معمولاً در پاسخ می‌گویم نظریه‌ی نسبیت خاص، جایگزین کردن فضای سه‌بعدی با یک چهاربعدی است که از اضافه شدن زمان به آن ساخته می‌شود، در حالی که نسبیت عام ایده‌ای است که براساس آن، فضازمان راستگوشه‌ی تخت در حضور میدان‌های گرانشی (یا اجسام جرم‌دار) خمیده می‌شود.

البته مرسوم است که نظریه‌ی نسبیت خاص را به روش خود اینشتین بیان کنند؛ یعنی براساس دو اصل موضوعی که نور دارای سرعت مطلقاً ثابت (c) است و قانون‌های فیزیکی باید برای هر دو ناظری که نسبت به هم در حرکت یکنواخت هستند، یکسان باشند. ولی به نظر من معنی غایی این نظریه در چهاربعدی بودن فضازمان است که ناشی از این دو اصل موضوع است. به هرحال، دست یافتن به نسبیت عام بر مبنایی به‌جز آنچه که خود اینشتین به شناخت آن دست یافت، ناممکن است.

اصولاً، فضازمان چهاربعدی را می‌توان به راحتی از نظریه‌ی برداری به دست آورد. برداری سه‌بعدی به طول r را درنظر می‌گیریم و آن را به سه مؤلفه در امتداد محورهای راستگوشه‌ی x، y و z تجزیه می‌کنیم. بنابراین با استفاده از قضیه‌ی فیثاغورس داریم:

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

با این همه، البته تعداد نامحدودی از چنین انتخاب‌هایی داریم و می‌توان آن‌ها را به طور یکسان انتخاب کرد. مثلاً مؤلفه‌های x'، y' و z' در امتداد محورهای راستگوشه‌ی دیگر به گونه‌ای که

$$r^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2$$

می‌گوییم تا هنگامی که شرط فیثاغورس برقرار باشد، r نسبت به انتخاب محورها ناورداست. در نسبیت خاص، با کمیت زمان (که برای تبدیل به یکاهای فضاگونه در سرعت نور ضرب می‌شود) به عنوان یک بُعد چهارم مجازی فضا رفتار می‌شود، به گونه‌ای که معادله‌ی فیثاغورس برای فضازمان (ها) را می‌توان چنین نوشت:

$$s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2$$

در این جا تنها تفاوت با رابطه‌ی فیثاغورس معمولی اضافه شدن جمله‌ی با علامت منفی c^2t^2 است. ولی از این معادله‌ی جدید درمی‌یابیم که نه فضا و نه زمان به تنهایی نسبت به انتخاب مختصات ناوردا نیستند و هر کدام به دیگری بستگی دارند و این منشاء تمام اثرهای قابل ملاحظه‌ی مربوط به نسبیت خاص است.

سوای رابطه‌ی میان جرم و انرژی، $E = mc^2$، سه تا از مشهورترین نتیجه‌های نسبیت خاص، انقباض طول، اتساع زمان و افزایش جرم مشاهده شده در دستگاه‌هایی است که نسبت به ما، به عنوان ناظر، حرکت می‌کنند. یعنی میله‌ای با طول مشخص که با سرعت v به ما نزدیک یا از ما دور می‌شود، از طول اولیه‌ی l_0 خود به طول $l_0\sqrt{1-v^2/c^2}$ منقبض می‌شود، و بازه‌ی زمانی اندازه‌گیری شده توسط ساعتی که با همان سرعت حرکت می‌کند از مقدار t_0 به $t_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$ اتساع می‌یابد، در حالی که اشیایی که نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند دچار افزایش جرمی برابر با $m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$ نسبت به جرم m_0 می‌شوند. رابطه‌ی بین این سه کمیت در نسبیت خاص به گونه‌ای است که یک اثر الزاماً مستلزم دیگری است. یک انقباض طول نسبیتی الزاماً به یک اتساع زمان و یک افزایش جرم نیاز دارد و برعکس. این تنها اصل کلی است که در تحلیل خود به آن نیاز داریم و **به هیچ فرمول دیگری نیاز نداریم**.

نسبیت عام و پیش‌بینی‌های آن

در نسبیت عام چیزها بسیار کمتر ساده‌اند. البته می‌توان خمیدگی فضازمان چاربعدی را با رسم اشیایی دوبعدی، از قبیل ورقه‌های پلاستیکی مجسم کرد که در حضور اشیاء سنگین، مانند کره‌های بزرگ، خمیده شده‌اند و با استفاده از آن‌ها به روشی کیفی درباره‌ی تشکیل عدسی‌های گرانشی و سیاهچاله‌ها صحبت کرد. ولی یک کتاب درسی نسبیت عام از ابزارهای ریاضی هولناکی که بر مبنای حسابان تانسوری است استفاده می‌کند که حتی اغلب دانشجویان پیشرفته را نیز دلسرد می‌کند. بنابراین به نظر می‌رسد برای کسانی که با رابطه‌های پیشرفته ریاضی آشنا نیستند توضیح اثرهای نسبیت عام به روش کیفی ضروری باشد.

با این همه، چنین نیست. به صورت پدیده‌شناختی می‌توان تمام اثرهای نسبیت عام را که تاکنون مشاهده شده‌اند به صورت معادله‌های جبری نسبتاً ساده توصیف کرد و نیازی به ریاضیاتی فراتر از جبر معمولی و ساده‌ترین نوع حسابان، همراه با اطلاعاتی از فیزیک، اندکی فراتر از دبیرستان، نیست. در واقع می‌توان تمام نتیجه‌های آزمایشگاهی استاندارد را که به عنوان آزمون‌های نسبیت عام به‌کار می‌روند با استفاده از گرانی نیوتون و نسبیت خاص به‌دست آورد.

اینشتین در نخستین بیان خود از نسبیت عام به سال ۱۹۱۵، سه نتیجه‌ی تجربی را مطرح کرد که می‌توانستند به‌عنوان آزمون‌های این نظریه به کار روند. اولین آن‌ها، انتقال به سرخ خط‌های طیفی خروجی از جرم‌های سنگینی چون خورشید بود. دومین آن‌ها، انحراف باریکه‌های نور در هنگام عبور از میدان‌های گرانشی قوی (باز هم، مانند خورشید) بود. در حالی که سومین (و متقاعدکننده‌ترین آن‌ها) حرکت تقدیمی مدارهای سیاره‌ای است، اثری که در قرن نوزدهم مشاهده شده بود و برجسته‌ترین مورد آن برای عطارد است. از آن وقت تاکنون فقط یک اثر جدید، هم پیشنهاد و هم آشکار ساخته شده است: و آن، کاهش سرعت تابش الکترومغناطیسی، معمولاً به شکل یک باریکه‌ی رادار، در میدان گرانشی یک جرم سنگین است. در تمام این حالت‌ها، پیش‌بینی‌های اینشتین با بیشترین دقت ثابت شده است، گرچه در چند مورد (به‌ویژه انتقال به سرخ و انحراف نور گرانشی) در زمان حیات اینشتین، به آن دقت مورد نیاز، به دست نیامده بود. سایر اثرهای مربوط به تابش گرانشی پیش‌بینی شده‌اند ولی تاکنون مستقیماً مشاهده نشده‌اند.

به‌دست آوردن اطلاعات در مورد این اثرها ـ معمولاً خم شدن نور و تقریباً همیشه حرکت تقدیمی حضیض [عطارد] ـ بدون استفاده‌ی کامل از معادله‌های میدان نظریه‌ی نسبیت عام ناممکن است که این به معنی آن است که معنی فیزیکی آن‌ها فراتر از آن است که هر دانش‌آموزی خود به آن برسد. با این همه، چند نفری مطرح کرده‌اند که دست‌کم برخی از این اثرها را می‌توان با عملیات ریاضی با پیچیدگی کمتر، بر مبنای نسبیت خاص، به دست آورد، و این روش‌ها برای هدف‌های آموزشی باید به طور گسترده‌تری شناخته شده باشند [۴-۱]. به اعتقاد من، حتی راه‌های ساده‌تر و آسان‌تری برای به‌دست آوردن این نتیجه‌ها، با استفاده از نظریه‌ی کلاسیک به همراه نسبیت خاص، وجود دارد و برای هدف‌های آموزشی، این راه‌های به‌دست آوردن باید شناخته شده‌تر باشند [۸-۴]. به نظر من با استفاده از نظریه‌ی کلاسیک، همین طور نسبیت خاص، حتی راه‌های ساده‌تری برای رسیدن به این نتیجه‌ها وجود دارد.

سوای ارزش آموزشی این روش‌ها، که دانش‌آموزان و معلمان را قادر به رسیدن این نتیجه‌ها به روشی غیر از آنچه که باور داشتند، می‌کند بر این باورم که این روش‌ها ساده‌ترند و به آشکار ساختن معنای فیزیکی عمیق‌تری، بیش از آنچه که تلویحاً به آن اشاره دارند، می‌انجامند. اصولاً، نسبیت عام، هم نسبیت خاص و هم گرانی نیوتونی را به عنوان حالت‌هایی حدی که در آن میدان‌های گرانشی نسبتاً ضعیف هستند در بر می‌گیرد. اگر بتوان نشان داد که همه‌ی اثرهای موجود را می‌توان بر حسب این نظریه‌ها توضیح داد، هنوز به سطحی نرسیده‌ایم که در آن نظریه‌ی نسبیت عام یکتاست. تاکنون

آزمون‌های ما فقط آزمون‌هایی برای نسبیت خاص و گرانی نیوتونی بوده‌اند. این که آیا این نتیجه‌ها بر بسط بیشتر به شرایط نسبیت عام نیز گسترش یابند، پرسشی ورای تحلیل حاضر است.

انتقال به سرخ گرانشی

به لحاظ تاریخی، ساده‌ترین این اثرهایی که توضیح می‌دهیم دشوارترین آن‌ها برای مشاهده است. انتقال به سرخ گرانشی تا سال ۱۹۶۰ با دقت قابل قبولی مشاهده نشده بود. اینشتین این اثر را ابتدا در سال ۱۹۰۷ و به طور قطعی‌تر در سال ۱۹۱۱ پیش‌بینی کرده بود، خیلی پیش از آن که درباره‌ی نظریه‌ی عام خود کار کند، و بنابراین احتمالاً به مجموعه‌ی کامل معادله‌های میدان اینشتینی نیاز نداشت. در واقع، اگر صرفاً برای فوتون بگذاریم $E = hf$ و $E = mc^2$ و گرانی نیوتونی را به کار می‌بریم، به این کار نیازی نیست. یک فوتون را در لبه‌ی خورشید (به جرم M و شعاع R) درنظر بگیرید. در میدان گرانشی خورشید، انرژی کل آن برابر با مجموع جرم ـ انرژی (مثبت) فوتون و انرژی پتانسیل (منفی) ناشی از میدان گرانشی است. این انرژی تصحیح شده را hf' می‌نامیم و از آن‌جا درمی‌یابیم؛

$$hf' = hf - \frac{GMm}{R}$$

که می‌توان آن را با استفاده از رابطه‌ی معمول hf / c^2 به جای جرم m فوتون، چنین نوشت؛

$$hf' = hf - \frac{GMhf}{Rc^2}$$

یا؛

$$hf' = hf(1 - \frac{GM}{Rc^2})$$

به بیان دیگر، بسامد مؤثر (یا اندازه‌گیری شده) فوتون f' با عامل $(1 - GM / Rc^2)$، که دقیقاً عاملی نسبیتی است، کاهش یافته و یا «به سرخ منتقل شده است». در اصل، بخش گرانشی این نتیجه‌گیری به هیچ‌وجه نسبیتی نیست؛ تنها بخش نسبیتی مسأله از ویژگی‌های خود فوتون به دست می‌آید.

به این روش، موضوع کاملاً شناخته شده است، اما اینشتین از راه بسیار متفاوتی به این نتیجه رسید و با استفاده از اصل هم‌ارزی (ایده‌ای که گرانی و شتاب را به لحاظ تجربی هم‌ارز می‌داند) و یک مدل الزاماً موجی، به مفهوم خمیدگی مسیر نور و درنهایت خمیدگی فضا، رسید و از این‌رو انتقال به سرخ گرانشی هنوز به عنوان یک آزمایش کلیدی در تثبیت نظریه‌ی گرانش عمومی او محسوب می‌شود. این بیش از آن‌که جنبه‌ی منطقی داشته باشد، جنبه‌ی تاریخی دارد. به این دلایل، نحوه‌ی به‌دست آوردن اینشتین تنها روشی است که در تمام کتاب‌های درسی به کار گرفته می‌شود. ولی چون او بنیان‌گذار نظریه‌ی فوتون‌ها نیز بود، جالب است که بپرسیم چرا او بعداً، هرگز از مفهوم ذره‌ای بودن نور در یک استنتاج ساده‌تر استفاده نکرد؟ پاسخ این است در زمانی که او نظریه‌ی نسبیت عام را بسط می‌داد، تقریباً همه‌ی فیزیکدان‌ها مفهوم فوتون را رد کرده بودند (از جمله ماکس پلانک، بنیان‌گذار معادله‌ی $E = hf$!). فقط وقتی اینشتین به واسطه‌ی نظریه‌ی نسبیت عام خود مشهور شد آمادگی لازم به نگاهی دیگر به این ایده به‌وجود آمد. اینشتین طبیعتاً نگران بود که نظریه‌ی نسبیت‌اش با ایده‌ای که می‌توانست بر آن برچسب حدسی بخورد لکه‌دار شود.

همان‌طور که اینشتین بلافاصله پس از این استنتاج خود دریافت، کاهش بسامد فوتون با افزایش دوره‌ی آن هم‌ارز است، یا با استفاده از فوتون به عنوان یک ساعت معیار، یک اتساع زمانی است. با به کار بردن اصول کلی نسبیت خاص که در بالا به آن‌ها اشاره شد، اتساع زمان، انقباض طول را نیز ایجاب می‌کند. این را استراندبرگ[1] و دیگران [۴-۲] با دقت زیاد برای میدان‌های گرانشی نشان داده‌اند، ولی تقریباً یک پیامد واضح نظریه‌ی نسبیت خاص است. این موضوع ما را به دومین اثر پیش‌بینی شده رهنمون می‌سازد: انحراف نور.

انحراف گرانشی نور

در سال ۱۹۱۱، اینشتین برای نشان دادن این‌که چنین اثری وجود دارد، به‌ویژه در حالتی که نور ستارگان دور دست از نزدیکی خورشید عبور می‌کنند، از اصل هم‌ارزی استفاده کرد. با این همه، چهار سال بعد، بر مبنای نظریه‌ی نسبیت عام، این پیش‌گویی خود را مضاعف ساخت، و از آن زمان، بسیاری فرض می‌کنند که هر محاسبه‌ای سوای نسبیت عام فقط نیمی از نتیجه‌ی صحیح را به‌دست می‌دهد. با این حال، همان‌طور که چندین نویسنده نشان داده‌اند [۵-۱] چنین نیست. این اثر مبنای تشکیل عدسی گرانشی و یکی از ساده‌ترین رهیافت‌ها به این مسأله، استفاده از ایده‌ی «شکست» گرانشی و محاسبه‌ی «ضریب شکست» گرانشی است. در این‌جا می‌گوییم سرعت (به صورت «زمان/فاصله») در یک میدان گرانشی با یک میله‌ی منقبض‌شده با ضریب $(1 - GM / Rc^2)$ و یک ساعت با زمان اتساع‌یافته‌ی $(1 - GM / Rc^2)$، در حالت کلی کاهش یافته با ضریب $(1 - GM / Rc^2)^2$، اندازه‌گیری می‌شود، که برای GM / Rc^2 کوچک، بسیار به $(1 - 2GM / Rc^2)$ نزدیک است. با تعریف ضریب شکست به صورت خارج‌قسمت سرعت مطلق نور بر سرعت اندازه‌گیری شده در میدان گرانشی، چنین به‌دست می‌آوریم؛

$$\text{ضریب شکست} = \frac{c}{c(1 - 2GM / Rc^2)}$$

این ضریب شکست متغیر است و بنابراین دقیقاً معادل با کمیت اپتیکی [ضریب شکست] نیست. بنابراین، در این‌جا باید با درنظر

شکل ۱. انحراف یک باریکه‌ی نور به هنگام عبور از نزدیکی خورشید (به مقیاس نیست.)

گرفتن زاویه‌ی دوگانه‌ی معمول (انحراف به داخل و انحراف به خارج) از انتگرال استفاده کرد و با روش‌هایی شبیه اصل هویگنس به نتیجه‌ی نهایی رسید. از این‌جا درمی‌یابیم پرتو نوری که به طور مستقیم از لبه‌ی خورشید می‌گذرد از مسیر خط مستقیم خود به اندازه‌ی $4GM/Rc^2$ رادیان، مقدار نسبیتی خالص، منحرف می‌شود. با استفاده از $M = 1/99\times10^{30}\,kg$ ، $R = 7\times10^{8}\,m$ و ثانیه‌ی کمانی $2/0625\times10^{5} = 1$ رادیان به انحراف ثانیه‌ی کمانی ۱/۷۴ می‌رسیم (شکل ۱ را ببینید).

ولی می‌توان از روشی راحت‌تر استفاده کرد و انحراف کامل نور را به طور **کلاسیک** به دست آورد. زیرا فوتون‌های نور مثل ذره‌های معمولی نیستند که جرم و انرژی آن‌ها به طور مستقلی تعریف شده باشند. چون فوتون‌ها جرم سکون ندارند، جرم و انرژی آن‌ها همواره نسبیتی است. در عین حال مقادیر آن‌ها به گونه‌ای **انتخاب شده است** که نسبیت با قانون‌های پایستگی کلاسیک جرم و انرژی سازگار باشد. درنتیجه، برخورد کلاسیک با فوتون‌های نور (گرچه نه با ذرات مادی) **برحسب معادله‌های انرژی** باید مشابه نوع نسبیتی آن باشد. بنابراین، بررسی محاسبه‌های کلاسیک که قدیمی‌تر از نسبیت هستند، ارزشمند است.

معلوم شده است که اینشتین وقتی نخستین محاسبه‌های انحراف نور خود را انجام می‌داد فقط اتساع زمان را درنظر گرفته و انقباض طول را نادیده گرفته بود [۵]. (این معادل استفاده از ضریب شکست $1/(1-GM/Rc^2)$ به جای $1/(1-2GM/Rc^2)$ است). ولی، همان‌طور که دیده‌ایم، منشاء اتساع زمان (برخلاف انقباض طول) صرفاً کلاسیک است، و بنابراین یک محاسبه‌ی کلاسیک باید دست کم نیمی از مقدار نسبیتی را به‌دست دهد. این موضوع از سال‌ها پیش استدلال شده بود، بخصوص براساس محاسبه‌های کلاسیک فیزیکدان انگلیسی **هنری کاوندیش**[۲] (۱۷۸۴) و اخترشناس باواریایی **جان فدن سولدنر**[۳] (۱۸۰۱)، که تغییری از مدار نیوتونی استاندارد را برای یک «ذره» نور به جرم m که از لبه‌ی خورشید می‌گذرد، درنظر گرفته بود [۶].

اصولاً، طبق این محاسبه‌ها، ذره‌ی نور به حدی سریع حرکت می‌کند که مدار نه دایره‌ای و نه بیضی، بلکه **هذلولی** است. این، حضور جمله‌ی **خروج از مرکز** $(e-1)$ را در معادله‌ای که سوای معادله‌ی گرانش نیوتون معمولی است، توضیح می‌دهد. آنگاه می‌توان از $1/e$ برای یافتن انحراف زاویه‌ای δ استفاده کرد، و با دو برابر کردن آن، مقدار اندازه‌گیری شده‌ی کل را یافت. بنابر تحلیل من، معادله‌ی **سولدنر** (که تنها موردی است که جزئیات آن به‌جا مانده) [۷]، شامل معادله‌ای به شکل زیر بود:

$$mc^2 = \frac{2GMm}{R}(e-1)$$

که معادله‌ی انرژی جنبشی است، که مانند فرمول «سرعت فرار» نیوتونی معمولی در مدار دایره‌ای است:

$$\frac{mc^2}{2} = \frac{2GMm}{R}$$

این معادله‌ی آخر را متقدمان قرن هجدهمی **سولدنر**، یعنی **ژان میشل**[۴] و **پیر لاپلاس**[۵] به کار برده بودند، و برای نور در محاسبه‌ی کلاسیک شعاع سیاهچاله $(R = 2GM/c^2)$ به کار رفته بود. **سولدنر** ایده‌ی خود را مستقیماً از کار **لاپلاس** برگرفته و به معادله‌های لاپلاس در مقاله‌ی خود اشاره کرده بود. او روشی را پی گرفته بود (گیراندازی مداری) که اساساً عکس روش فرار مداری **لاپلاس** بود.

چون $e >> 1$ است، از معادله‌ی انرژی جنبشی درمی‌یابیم:

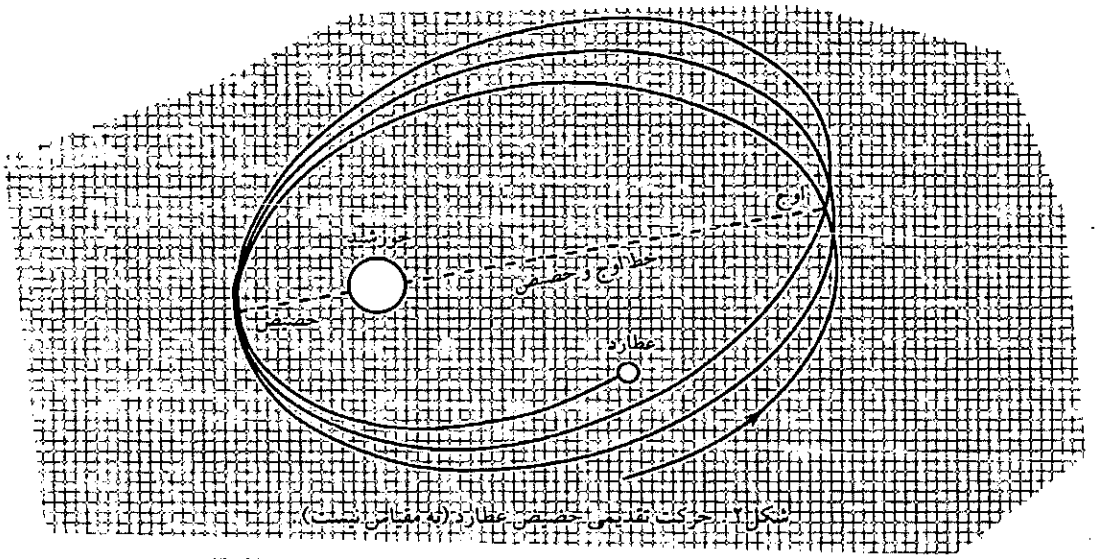
$$2\delta = \frac{2}{e} = \frac{4GM}{Rc^2}$$

که مقدار اندازه‌گیری‌شده‌ی دقیق است. ولی، به نظر می‌رسد، که **سولدنر** فقط از نصف زاویه‌ی دوگانه را در انتگرال‌گیری نهایی خود استفاده کرد، و بنابراین فقط نیمی از انحراف نسبیتی را به‌دست آورد. درنتیجه، بسیاری فرض کرده‌اند او باید ترجیحاً از معادله‌ی **انرژی پتانسیل** به شکل زیر استفاده می‌کرده است:

$$mc^2 = \frac{Mm}{R}(e-1)$$

با این همه، این معادله فقط برای مداری که در حالت پایاست به کار می‌رود، در حالی که معادله‌ی انرژی جنبشی برای مداری که **در حال شکل گرفتن** است، همان‌طور که **سولدنر** برای یک ذره‌ی نور فرض کرده بود، درست است.

اتفاقاً جالب است، **میشل**، که تحت تأثیر کار موازی کمتر شناخته شده‌ی **کاوندیش** بود، از محاسبه‌های سیاهچاله‌ی خود



شکل ۲. حرکت تقدیمی حضیض عطارد (به مقیاس نیست)

برای پیشنهادی در تغییر ضریب شکست نور در یک میدان گرانشی استفاده کرد که معادل یک انتقال طیفی است، و مقدار عددی درست را به دست آورد، گرچه مدل خاص نوری که او استفاده کرد، به جای انتقال به سرخ به انتقال به آبی می‌انجامیده است.

حرکت تقدیمی حضیض عطارد

حتی اغلب کسانی که یک استنتاج نسبیت خاصی را برای انحراف نور پذیرفته‌اند از به‌کارگیری نسبیت خاص در حرکت تقدیمی حضیض [عطارد]، «گل سرسبد» آزمایش‌های نسبیت عام، سر باز زده‌اند. با وجود این، می‌توان این اثر را هم مانند بقیه، با روش نسبیت خاص بررسی کرد. حرکت تقدیمی حضیض به این معنی است که مدارهای بیضی سیاره‌ها کاملاً بسته نیستند بلکه نقطه‌های حضیض آن‌ها یا نزدیک‌ترین نقطه‌های آن‌ها به خورشید مانند فرفره‌ای با دوره‌ی چرخش قابل اندازه‌گیری می‌چرخند (شکل ۲). خیلی‌ها متوجه نیستند که این نیوتون بود که در ابتدا این اثر را پیش از سال ۱۶۸۷ کشف کرد، و یک فرمول کامل برای حل آن ارائه داد. البته او اثر نسبیتی را کشف نکرد، ولی نشان داد که اگر قانون عکس مجذوری مشهور گرانی میان خورشید و یک سیاره با جمله‌های نیروی اضافی ناشی از کشش‌های قابل اندازه‌گیری توسط سایر سیارات اصلاح شود، آنگاه یک اثر تقدیمی رخ می‌دهد که می‌شود آن را محاسبه کرد. نیوتون در جلد اول کتاب اصول[۶] خود، بیان داشت که اگر نیروی مرکز گریز [یعنی مرکز گرا] به صورت زیر باشد:

$$\frac{bA^m - cA^n}{A^3}$$

زاویه‌ی میان اوج و حضیض برابر مقدار زیر می‌شود

$$180^\circ\sqrt{\frac{b-c}{mb-nc}}$$

که در آن A فاصله، و همه‌ی جمله‌های دیگر ثابت هستند. «زاویه‌ی بین اوج و حضیض‌ها» برابر زاویه‌ی میان اوج و حضیض‌های متوالی و زاویه‌ی میان دو حضیض متوالی، دو برابر این مقدار است. خوانندگان بلافاصله متوجه می‌شوند که برای یک قانون عکس مجذوری کامل، با $m=1$ و $c=0$، زاویه‌ی میان حضیض‌های متوالی 360° یا 2π رادیان است، که درست همان است که برای یک مدار بسته پیش‌بینی می‌کنیم.

نیوتون ممکن است طرح اصلی این روش را داده باشد ولی به‌کارگیری آن در اجزای واقعی منظومه‌ی شمسی سال‌ها طول کشید و تلاش عظیمی از ابتکار ریاضی برای آن صرف شد. عطارد، نزدیک‌ترین سیاره به خورشید، یکی از پیچیده‌ترین مدارها را داشت. سرانجام، در سال ۱۸۵۹، اخترشناس فرانسوی، اوربین لوریه[۷]، نشان داد که عطارد حرکت تقدیمی را با ۵۷۴ «ثانیه‌ی کمانی بر قرن» انجام می‌دهد که ۵۳۱ ثانیه‌ی کمانی از آن را می‌شد توسط اختلال‌های ناشی از سیاره‌های دیگر توضیح داد؛ ولی ۴۳ ثانیه‌ی کمانی در تمام تحلیل‌ها باقی می‌ماند. با این حال همین که اینشتین در سال ۱۹۱۵ نظریه‌ی نسبیت عام خود را مطرح کرد، آن را به طور موفقیت‌آمیزی برای عطارد به کار برد. او به یک زاویه‌ی تقدیمی اضافی $6\pi GM/rc^2$ دست یافت که ناشی از خمیدگی فضا در فاصله‌ی مداری عطارد (r) است، و با گذاشتن ثابت‌های مربوط، به طور دقیق ۴۳ ثانیه‌ی کمانی را به دست می‌دهد. این نوعی از سازگاری دقیق نظریه با آزمایش بود که دانشمندان معمولاً فقط می‌توانند خواب آن را ببینند. اینشتین چنین نوشت: «برای چند روز از خوشی از خود بی‌خود بودم» [۸].

اینشتین هیچ گاه نسبیت خاص را برای این مسأله به کار

نگرفت، زیرا علاقه بعدی او به چیزهای دیگر بود. احتمالاً از ذهن او نگذشته بود که چنین چیزی ممکن است، ولی در واقع چنین چیزی دقیقاً امکان‌پذیر است و این استنتاج نه چندان سخت، ولی به هر حال دشوارتر از آن دو اثر نوری است. پیش از هر چیز، پتانسیل نیوتونی را برای میدان گرانشی خورشید در فاصله‌ی ستاره‌ای r درنظر می‌گیریم:

$$V = -\frac{GM}{r}$$

به یاد داریم که میله‌های اندازه‌گیری استاندارد در میدان گرانشی با ضریب $(1 - GM/rc^2)$ منقبض می‌شوند و با اعمال این اثر خواهیم داشت:

$$V = -\frac{GM}{r(1 - GM/rc^2)}$$

در این جا، مهم است متوجه باشیم که هر انقباض ناشی از گرانی در میله‌ها **به طور شعاعی** (در جهت میدان) رخ خواهند داد و نه **به طور مماسی** (در جهت حرکت سیاره). در هر حال، برای یک سیاره با سرعت v واقع در مداری پایا، معادله‌ی مداری معمول به کار می‌آید:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

و درنتیجه؛

$$V = -\frac{GM}{r(1 - v^2/c^2)}$$

با استفاده از بسط دوجمله‌ای معمول برای v^2/c^2 کوچک خواهیم داشت:

$$V = -\frac{GM}{r}\left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$= -\frac{GM}{r} - \frac{GMv^2}{rc^2}$$

به یک اصل دیگر نظریه‌ی مداری نیز نیاز داریم و آن، پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ی (mvr) است. آن را با نوشتن:

$$v = \frac{\alpha}{r}$$

بیان می‌کنیم، که α تکانه‌ی زاویه‌ای به ازای واحد جرم، یک ثابت است. با قرار دادن v^2 در عبارت V به رابطه‌ی زیر می‌رسیم:

$$V = -\frac{GM}{r} - \frac{GM\alpha^2}{r^2c^2}$$

با توجه به این که شدت میدان گرانشی یا نیرو به ازای واحد جرم F برابر dV/dr-است، با مشتق‌گیری از این عبارت خواهیم داشت:

$$F = -\frac{GM}{r^2} - \frac{3GM\alpha^2}{r^4c^2}$$

این معادله‌ای کاملاً شناخته شده است که حرکت تقدیمی نسبیتی حضیض را به دست می‌دهد، و این اثر ناشی از وارون توان مرتبه چهارم اضافی در عبارت نیرو است. در حل این معادله، به تبدیل به مختصات قطبی، چندین جای‌گذاری، عامل‌های ضربی خاص و مشتق‌گیری‌های بیشتری می‌توانند دخیل باشد، ولی خوانندگان به سادگی می‌توانند به جای این کار، در همان معادله‌ی قدیمی نیوتونی مقادیر را جای‌گذاری کنند! در اینجا، با حذف جمله‌ی مشترک GM-، $b = 1$، $c = -3\alpha^2/c^2r^2$، $m = 1$ و $n = 1$ قرار می‌دهیم. آنگاه تقدیم نیوتونی بر مدار چنین می‌شود:

$$2\pi\sqrt{\frac{1 + 3\alpha^2/c^2r^2}{1 - 3\alpha^2/c^2r^2}} = 2\pi\sqrt{1 + \frac{6\alpha^2}{c^2r^2}}$$

که با استفاده‌ی دوباره از تقریب دوجمله‌ای برای یک مدار تقریباً دایره‌ای، بر حسب رادیان چنین می‌شود:

$$\frac{6\pi\alpha^2}{c^2r^2} = \frac{6\pi v^2}{c^2} = \frac{6\pi GM}{rc^2}$$

برای آن که بیضی بودن مدار عطارد را به حساب آوریم، می‌توانیم r را با $a(1-e^2)$ جایگزین کنیم، که a طول نیم‌محور بزرگ $(=5/791\times10^{10}\,m)$، و e خروج از مرکز $(=0/2056)$ است. با استفاده از مقدارهای $1/5475\times10^{3}\,m$ به جای GM/c^2 و سال $0/24084$ به‌جای دوره‌ی حرکت نجومی، به ۴۳ثانیه‌ی کمانی بر قرن موردنظر می‌رسیم.

زیرنویس

1- Strandberg
2- Henry Cavendish
3- John von soldner
4- John Michell
5- Pierre Laplace
6- Principa
7- Urbin Leverrier

منبع:

Peter Rowlands, Physics Education vol. 32, Jan 1997, P. 49-55

مراجع

1- Schiff L. I., 1960 Am. J. Phys. 28, 340
2- Stranberg, W. M. P., 1986, Am. J. Phys. 54, 326
3- Tian R. and Li. z. 1990, Am. J. Phys. 58, 890
4- Chosal S. K. and Chakraborty P., 1991, Eur. J. Phys. 12, 260
5- Comer R. P. and Lathrop J. D., 1976, Am. J. Phys. 46, 801
6- Will C. M., 1988, Am. J. Phys. 56, 413
7- Jaki S. L., 1978, Found. Phys. 8, 927
8- Hollingdale S., 1989, Makers of Mathematics (London: Penguin) P. 379

قسمت سوم

فیزیک: پندار و واقعیت

پی . ار . والاس
ترجمه : عبدالحسن بصیره
عضو هیئت علمی گروه فیزیک ـ دانشگاه کردستان

ج : گفتید می خواهید درباره ی «واقعیت ساخته ی ناظر» صحبت کنید . همان طور که گفتید ما در بحثمان آن را دور زدیم و از حاشیه ی آن گذشتیم تا به این نتیجه گیری رسیدیم که حداقل در یکی از شکل های قوی خود، برقرار نبود . زیرا اگر فرض کنیم با انجام آزمایشی در خانه بتوان واقعیت دوردستی را خلق کرد، نشان داده شد که حقیقت ندارد . هرچند این عقیده معمولاً چیزی شبیه این را مطرح می کند : وقتی می گوییم دستگاهی «مخلوطی از حالت ها» است، که در هنگام یک اندازه گیری روی آن به یک حالت فرو ریزد . دستگاه قبلاً در آن حالت نبوده، لذا ما آن حالت را ساخته ایم .

س : من نمی دانم اشکال عمده در این جا چیست؛ مطمئناً، با هر کاری که انجام می دهیم شرطی را به وجود می آوریم، دوست داشته باشید آن را حالت می نامیم، شرطی که قبلاً آن جا نبوده است . هیچ کس درباره ی آن بحثی ندارد، و این مختص مکانیک کوانتومی نیست .

ج : بسیار خوب، بگذار درباره ی «گربه ی شرودینگر» برایت بگویم . شرودینگر می خواست ببیند آیا جنبه های «عجیب و غریب» مکانیک کوانتومی، که فقط با پدیده هایی در ابعاد اتمی سروکار دارد، در دنیای فیزیک ماکروسکوپی نیز بازتاب می یابند و معنا پیدا می کنند؟ لذا به این فکر افتاد : فرض کنید گربه ای را با یک چشمه ی پرتوزا و یک آشکار ساز در جعبه ای قرار دهیم به طوری که واپاشی هسته روی آن ثبت شود، و همین طور باعث آزاد شدن سم کشنده ای از ظرفی شود که گربه را به قتل برساند . می توان ماده ی پرتوزای از نوعی را یافت که احتمال واپاشی آن در یک ساعت دقیقاً نیم باشد . مکانیک کوانتومی معمولی بیان می کند که هسته ی پرتوزا نه در حالت واپاشیده است و نه در حال واپاشیده . در حالی که فقط *احتمال* واپاشی را که در هر زمان دلخواه صورت می گیرد می دانیم . در این صورت می گوییم که دستگاه در یک حالت «مخلوط» است یعنی :

(حالت واپاشیده) + (حالت واپاشیده)

اما این برای گربه پیامدهایی را دربرخواهد داشت؛ به طوری که به همین ترتیب می توان نوشت :

(حالت مرده ی گربه) + (حالت زنده ی گربه)

تا یک ساعت بعد که مشاهده را انجام دهیم، نمی دانیم کدام یک رخ داده است، اما وقتی که نگاه می کنیم آن حالت فرو می ریزد، و می دانیم که گربه مرده است یا زنده .

اینک دو شیوه برخورد با این طرح وجود دارد . یکی این که بگوییم گرچه ما تا زمانی که نگاه نکردیم *نمی دانستیم*، اما نتیجه قبلاً در آن زمان *تعیین* شده بود، دوم آن که بگوییم قبل از آن که نگاه کنیم گربه نه قطعاً مرده بود و نه قطعاً زنده . فلاسفه ممکن است در این باره با ایهام و دوپهلو صحبت کنند اما دانشمندان به نظر من *باید* فرض کنند که یک جهان فیزیکی واقعی وجود دارد، در غیر این صورت کسی کار آن ها را که برای فهم آن است توجیه نخواهد کرد . هرچند این دیدگاه دوم است که راه را بر باورهایی نظیر «واقعیت ساخته ی ناظر» می گشاید...

س : ببخشید که صحبت شما را قطع می کنم، ولی قبل از آن که ادامه دهیم باید مطلبی برایم روشن شود : در بیان علمی، چگونه می توان بین حالت های یک چیز ساده نظیر قطعه ای ماده ی پرتوزا و چیز پیچیده ای چون گربه مطابقت یک به یک برقرار کرد . حال کاری

به دستگاهی که واپاشی پرتوزا را به آزاد شدن سم یا خودفرایند مسموم شدن مربوط می‌کند نداریم؟ گربه، به‌هرحال، یک شیئ «ماکروسکوپی» است، و تمام «مشاهده» یک مشاهده‌ی ماکروسکوپی است، و من نمی‌توانم ببینم با توصیف اشیاء بزرگ مقیاس توسط مکانیک کوانتومی چگونه می‌توانیم به این پرسش عمیق‌تر پاسخ دهیم. حتی تردید دارم که چنین چیزی ممکن باشد، اما اگر هم باشد، مطمئناً مفیدتر از آن نیست که بکوشیم صدای مرا با ردگیری حرکت هر مولکول هوا توضیح دهیم. حال حتی اگر این کار بی‌محتوا را بتوان انجام داد، فقط تحریف این زودباوری است که مدعی آن شویم می‌توان دستگاه دو حالتی یک هسته‌ی پرتوزا را به یک دستگاه دوحالتی یک گربه منتقل کرد.

ج: فکر می‌کنم آنچه می‌گویی مزایایی دارد، ولی فقط به حداقل شناخت درباره‌ی گربه علاقه‌مندیم، که زنده یا مرده بودن آن است. علاوه بر آن، این امر باید برای هر موجود دیگر از جغد گرفته تا فیل صادق باشد. وقتی زنده یا مرده بودن، موضوع اصلی نیست، هر گزینه‌ی برگشت‌ناپذیر دیگری بین دو حالت ممکن نیز می‌تواند به کار رود.

س: خب، آیا راه دیگری برای نگرش به این مسأله وجود ندارد؟ گربه، روی هم رفته، فقط یک شاخص ماکروسکوپی از چیزی است که رخ داده، و اگر دوست دارید آن را یک ابزار اندازه‌گیری تقریبی بنامیم. چیزی بدون حرکت ولی باز هم بزرگ به همان خوبی خواهد بود. حتی مهم نیست که آنچه در جعبه رخ می‌دهد را با ابزاری ردیابی و آشکارسازی کنیم. چیزی که به نظر می‌رسد ما را از مسأله وجدان بشری خلاص کند. یک دستگاه مزیتی دارد که گربه ندارد، یعنی می‌تواند «*زمان*» واپاشی پرتوزا را، اگر انجام شود، به‌طور خودکار ثبت کند که البته هیچ ربطی به وقتی که به آن نگاه می‌کنیم ندارد. به نظر من این‌جا کل مطلب بر سر رابطه‌ی ابزارهای اندازه‌گیری و چیزی است که اندازه می‌گیرند.

ج: البته، این آن چیزی است که در مکانیک کوانتومی به «مسأله اندازه‌گیری» معروف است و کتاب‌های متعددی نیز درباره‌ی آن نوشته شده است.

س: بنابراین، نکته‌ی افسانه‌ی گربه‌ی شرودینگر چیست؟ آیا فکر نمی‌کنید نوعی پارادوکس باشد؟

ج: خب، منظور شرودینگر طرح این پرسش بود که آیا آنچه را به عنوان ویژگی رفتار کوانتومی در نظر می‌گیریم می‌توان به قلمروی ماکروسکوپی تعمیم داد. چون به‌نظر او، انجام این کار پیامدهای غیرقابل قبولی داشت، که تمام شالوده‌ی مکانیک کوانتومی را مورد تردید قرار می‌داد. چیزی که ابداً باعث ناخشنودی او نمی‌شد.

س: خب، فکر نمی‌کنم که تمام این‌ها چیزی را ثابت کند، لذا دوست دارم که به موضوع حالت‌های کوانتومی باز گردم، و منظور من حالت‌های کوانتومی *واقعی* است نه حالت‌های گربه!!

ج: متأسفم. من برای توصیف ایده‌ی حالت‌های کوانتومی، و ترکیب حالت‌ها، گربه را وارد کردم. این مثال خوبی نبود، لذا بهتر است درباره‌ی اتم هیدروژن صحبت کنیم، زیرا این مثال چیزی را نشان می‌دهد که مهم است. قبل از آن‌که به آن بحث بپردازیم بسیاری مطالب دیگر وجود دارند که باید در جای خود قرار بگیرند. هرچند این امر مستلزم گفتن مطالبی است که شما از پیش می‌دانید، نظیر آن که الکترون‌ها می‌توانند به صورت امواج یا میدان‌ها رفتار کنند. لذا فکر می‌کنم باید به تاریخچه‌ی این امر برگردم که چگونه تمام این موارد پیش آمدند تا پدیده‌های کوانتومی در چشم‌انداز مناسب خود قرار گیرند. روی هم رفته، بین مکانیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی انقلاب عظیمی در مفاهیم به‌وجود آمد، و ما مجبوریم بدانیم چه چیزی در این امر دخیل است. لذا، برای آغاز بحث، بگذار بگویم که مکانیک نیوتونی هدف فیزیک را پرداختن به حرکت اشیأ، یا اگر دوست‌دارید بگویم ذرات، در فضا و زمان می‌دانست، یا بهتر است بگویم در فضا بر حسب زمان.

در واقع موضوع پیش‌بینی خط سیر یا مسیر این ذرات با استفاده از قانون‌های فیزیک، یعنی قانون‌های او بود.

س: ولی مطالبی را که دانشمندان می‌خواستند توضیح دهند مربوط به «ذرات» نبود، بلکه به اشیأ *واقعی* نظیر مدارهای سیاره‌ها مربوط می‌شد.

ج: بسیار خوب، ولی این زیبایی بصیرت نیوتون بود. اگر مجبور باشید که برای هر شیئی که بررسی می‌کنید قانون‌های جداگانه‌ای بسازید، زندگی یک دانشمند بسیار ناامید کننده خواهد بود. در صورتی که نیوتون دید اگر هرچیز را متشکل از ذرات در نظر بگیرید، قانون‌های او می‌توانند برای استنتاج رفتار اشیایی نظیر سیاره‌ها نیز به‌کار روند. در حقیقت، این بسیار خوب از کار درآمد، زیرا اگر سیاره‌ها را اجسام صلب در نظر بگیریم فقط دو نوع رفتار خواهند داشت. از یک سو، کاملاً نظیر ذراتی مدارهایی را طی می‌کنند، به علاوه حرکت دورانی مستقلی نیز دارند، که هریک از آن‌ها بر دیگری تأثیر نمی‌گذارد. بنابراین، اخترشناسان می‌توانند با نادیده گرفتن حرکت دورانی، آن‌ها را در حرکت مدارهایشان بررسی کنند.

در قرن نوزدهم، هنگامی که مواد گوناگون را تا دماهای بالا گرم کردند، کارهای زیادی در زمینه تابش نور، و به شکل کلی‌تری، در زمینه امواج الکترومغناطیسی انجام شد. پس از آن، کار مرتبطی در زمینه جذب تابش به ویژه نور خورشید صورت گرفت. مسأله‌ی غیر منتظره‌ای که یافته شد این بود که تابش در تمام بسامدها نه گسیل می‌شود و نه جذب می‌گردد، بلکه این کار فقط برای بسامدهای خاصی رخ می‌دهد. این مسئله علم طیف‌نمایی را به‌وجود آورد. ولی برای مدتی مدید، کسی برای این بسامدهای خاص توضیحی نداشت، هرچند که معادله‌های ریاضی ساده‌ای برای بسیاری از آنها وجود داشت.

پس از این که پلانک و انیشتین ایده‌ی کوانتوم‌های الکترومغناطیسی، یا فوتون‌ها، را مطرح کردند، ارنست رادرفورد نشان داد که اتم چیزی شبیه منظومه‌ی شمسی است، با جسم بسیار سنگینی در مرکز و الکترون‌های سبکی که به دور آن می‌چرخند، ولی مشکل مدل منظومه‌ی شمسی این بود که ذرات تشکیل دهنده‌ی اتم بار الکتریکی دارند و با نیروهای الکتریکی به هم می‌پیوستند، حال از زمان ماکسول می‌دانستند که هرگاه ذرات باردار شتاب بگیرند، انرژی الکترومغناطیسی با طیف بسامد پیوسته‌ای را از خود تابش می‌کنند. ولی موضوع مهم این بود، که اگر کسی این تابش را محاسبه می‌کرد، به قدری شدید می‌شد که الکترون‌ها تمام انرژی خود را در کسر کوچکی از ثانیه تابش می‌کردند و در مسیری مارپیچ به هسته سقوط می‌کردند. این فاجعه‌آمیز بود زیرا ظاهراً نظریه پیش‌بینی می‌کرد که اتم نباید پایدار باشد!!

س: من قبلاً همه این‌ها را می‌دانستم، ولی از یادآوری مجدد آن‌ها سپاسگزارم. آیا در این جا نبود که نیلس بور وارد کار شد؟

ج: دقیقاً بور نظریه مدار را با این حکم «تثبیت» کرد که تمام مدارها مدارهای مجاز نیستند، مگر آن‌هایی که مضرب صحیحی از «کوانتوم‌های» تکانه زاویه‌ای باشند (و کوانتوم مورد بحث همان ثابت پلانک بود). این مدارهای «مجاز» دارای انرژی‌های گسسته‌ای بودند. سپس بور استدلال کرد که اگر اتمی گذاری ناگهانی از یکی از این حالت‌ها به حالتی با انرژی کمتر داشته باشد اختلاف انرژی دو حالت به صورت یک کوانتوم نور تابش می‌شود. چون این فوتون‌ها فقط می‌توانستند انرژی‌های خاصی داشته باشند، طبق قانون پلانک این تابش نیز فقط می‌توانست بسامدهای گسسته و ویژه‌ای داشته باشد که برای طیف شناسان بسیار رضایت‌بخش بود. نه فقط این، بلکه بسامدهای پیش‌بینی شده، حداقل برای هیدروژن، با مشاهده‌های انجام شده کاملاً سازگار بود.

س: ولی قطعاً برای یک دانشمند کافی نیست که بتواند اعداد دنیای واقعی را باز تولید کند. آیا نباید نظریه‌ها با یکدیگر سازگار و منطبق بر دانسته‌های پیشین باشند؟ بور چگونه ثابت کرد که اتم‌ها تابش پیوسته‌ای ندارند و طبق پیش‌بینی ماکسول فرو نمی‌ریزند؟

ج: او این کار را نکرد. او صرفاً احساس می‌کرد که باید نکته مهمی در سازگاری نظریه‌اش با آزمایش وجود داشته باشد، و وجود مدارهای پایدار مربوط به عاملی باشد که هنوز توضیح داده نشده است. آنچه را که او تشخیص نمی‌داد اشکالی بود که در کل دستگاه نیوتونی دنبال کردن مسیرهای ذات وجود داشت.

س: از این عبارت پیداست که گام بعدی باید کاملاً انقلابی باشد.

ج: بله، این گام را لویی دوبروی در پاریس برداشت. او پیشنهاد عجیبی را مطرح ساخت به این معنا که اگر نور بتواند رفتار ذره‌گونه (نظیر فوتون‌ها) داشته باشد، شاید الکترون‌ها نیز بتوانند شبیه *میدان*، یا به تعبیر او، شبیه امواج رفتار کنند. آن‌ها البته امواج خاصی بودند، چون بار دارند و لاجرم باید جذب هسته می‌شدند.

س: گمان می‌کنم که ایده‌ی امواج، دیگر بر خلاف ذرات مداری دیگر موضوع تابش پیوسته و حرکت مارپیچ به سوی هسته پیش نمی‌آمد. هرچند که هنوز نمی‌دانم چرا آن‌ها بارهای شتابدار نبودند؟

ج: در مواردی مانند این، معمولاً سعی می‌کنید به تجربه‌های قبلی بازگردید؛ می‌پرسید آیا من قبلاً چیزی شبیه این ندیده‌ام؟ و اروین شرودینگر عقیده‌ی راهگشا را بدین طریق به دست آورد. در قرن نوزدهم مسأله‌ای وجود داشت که توجه زیادی را جلب کرده بود. مسأله این بود: اگر دستگاه پیوسته‌ای داشته باشید و این دستگاه به طریقی مقید شود، فقط می‌تواند با بسامدهای خاصی به ارتعاش درآید. چون پلانک بسامد را به انرژی مرتبط ساخته بود، به نظر می‌رسید که این مسأله نیز راهی برای توضیح *انرژی‌های* گسسته باشد. آلات موسیقی مثال خوبی برای این مسأله‌اند. مثلاً تار ویلن، لوله‌ارگ، طبل و فلوت و همه‌ی نواهای موسیقی مربوط به این پدیده‌ها هستند. البته امروزه ما مثال‌های دیگری را، نظیر کاواک‌های موج الکترومغناطیسی در این زمینه می‌شناسیم.

س: اما در این مسأله همیشه ساختن سدی مادی برای بازتاب امواج دخیل است. در اتم شرودینگر چه چیزی این نقش را بازی می‌کند؟

ج: در واقع، هسته با جذب الکتریکی الکترون این نقش را بازی می‌کند (حتی اگر میدان الکترون باشد)، و از فرار آن از هسته جلوگیری می‌کند. شرودینگر برای توصیف آن یک «معادله‌ی موج» به وجود آورد و دریافت که انرژی‌ها (یا بسامدها) درست همان مقداری هستند که ما برای برازش به آنچه که طیف‌نمایی می‌دانستیم به آن نیاز داشتیم.

س: منظور شما این است که او همان معادله‌ای را برای انرژی‌ها به دست آورد که بور به دست آورده بود؟

ج: بله، و بهتر از آن، زیرا او دریافت که حالت‌هایی می‌توانند وجود داشته باشند که هیچ تکانه زاویه‌ای نسبت به هسته ندارند، لذا به هیچ‌وجه شبیه مدار نیستند. خیلی ساده آن‌ها مدار نیستند، چون با یک میدان سروکار دارید، پس نمی‌توانید آن را از نقطه به نقطه‌ی دیگر دنبال کنید. بنابراین تمام دستگاه مکانیک نیوتونی باید کنار گذاشته می‌شد.

س: بنابراین، دیگر لازم نبود اشیأ را از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر دنبال کرد، بلکه باید *حالت‌های* ممکن دستگاه‌ها را تعیین کرد! اما این امر پرسش‌های دیگری را پیش می‌کشد، این طور نیست؟ ابتدا «موج». یک موج چیست؟ دوم، چگونه تغییر در این دستگاه را توصیف می‌کنید؟ به نظر می‌رسد که حالت‌ها اشیأ منجمدی باشند. بدون شک در دنیای فیزیکی هرکس هنوز تاریخچه‌ای از اشیأ دارد؟

ج: ما بخشی از موضوع را کاملاً بررسی کردیم، بنابراین، بگذار در جلسه فردا به این پرسش‌ها بپردازیم.

منبع:

physics: Imagination and Reality, F.Wallas, 1991

تجربه‌های من در آموزش فیزیک

فرح مرادخانی
دبیر فیزیک شهریار

فیزیک زیباترین شاخه دانش بشری است. فیزیک دنیا را روشن می‌کند.

قسمتی از پیام یونسکو به مناسبت
سال جهانی فیزیک (۲۰۰۵ میلادی)

چگونه درس زیبای فیزیک را بیاموزیم؟

در طول سال‌ها معلمی فیزیک، بارها شنیده‌ام که دانش‌آموزان وقت زیادی را برای خواندن فیزیک صرف کرده‌اند، اما به خوبی از عهده پاسخگویی به پرسش‌ها و حل مسأله‌های فیزیک برنمی‌آیند. چرا؟ شاید هنوز یاد نگرفته‌اند چگونه باید این درس را بخوانند! روش یادگیری هر درس از جمله مهارت‌های مهمی است که باید آن را آموخت تا با صرف وقت کمتر نتیجه‌ی مطلوب‌تری به دست آورد.

در ابتدا توجه به این نکته ضروری است که:

«فیزیک دانشی تجربی است» و آموختن عمیق آن تنها با انجام آزمایش امکان‌پذیر است. بنابراین باید محیط خانه، مدرسه و اطراف خود را تبدیل به آزمایشگاه و وسیله‌ی کشف «قانون‌های فیزیکی» کرد و از هر پدیده و وسیله برای آموختن بهره گرفت و اما چگونه فیزیک بخوانیم؟

ـ مرحله اول در یادگیری فیزیک «پیش مطالعه» است. برای این‌که یادگیری بهتر و سریع‌تر انجام شود، لازم است، قبل از تدریس معلم، دانش‌آموز نسبت به مطالبی که قرار است تدریس شود آمادگی ذهنی پیدا کند. این کار با نگاه کلی به مطالب و خواندن سرفصل‌ها و عنوان‌ها امکان‌پذیر است و وقت زیادی نمی‌گیرد.

ـ در مرحله دوم دانش‌آموز باید مطالب را به طور سطحی خوانده

فیزیک یعنی خوب فکر کردن، فیزیک یعنی خوب گوش دادن، فیزیک یعنی کم حرف زدن.

دکتر محمود حسابی، پدر فیزیک ایران

«طرح سؤال» کند و طرح سؤال موجب برانگیختن حس کنجکاوی و ایجاد انگیزه برای خواندن مطلب می‌شود که تا رسیدن به پاسخ ادامه می‌یابد.

ـ مرحله سوم حضور به موقع و با آرامش در کلاس درس، «تمرکز حواس» در هنگام تدریس معلم و پاسخ دادن به پرسش‌ها و حل مثال‌های مطرح شده توسط دبیر است. لازم است، مطالب مهم و نکته‌ها و حل مثال‌ها در دفتر فیزیک یادداشت شود. پس از اتمام درس و قبل از ترک کلاس بهتر است چند لحظه تمرکز و مطالب ارائه شده را در ذهن خود مرتب کنیم.

ـ متأسفانه بسیاری از دانش‌آموزان فکر می‌کنند، وقتی درس را در کلاس یادگرفتند، کافی است و آن را می‌توانند در موقع لزوم ارائه دهند، در صورتی که ۵۰٪ مطالب پس از خروج از کلاس فراموش می‌شود و اگر دوباره خوانده نشود، چیزی به یاد نمی‌ماند. بنابراین توجه به این نکته ضروری است که: «یادگیری فقط محصول تکرار است» لازم است که درس ارائه شده را در «همان روز» با دقت و تمرکز حواس در محیط آرام و بی‌سروصدا خواند و مطالب مهم آن را یادداشت و تکالیف مرتبط با آن را حتماً انجام داد.

ـ در هنگام خواندن درس، باید از راه رفتن و بلند خواندن خودداری کرد، بلکه در جایی ساکت نشست و کاغذ و مداد نیز برای تمرین و نوشتن مطالب مهم به همراه داشت. مثال‌های مطرح شده در کلاس و در کتاب را یکی‌یکی خوانده، حل کنیم و سپس به حل آن در دفتر یا کتاب نگاه کنیم تا اشکال‌هایمان مشخص شود. در صورت باقی ماندن مشکل، لازم است آن را یادداشت و در اولین فرصت از دانش‌آموزان دیگر یا دبیر مربوطه پرسید.

ـ بعضی از دانش‌آموزان به جای این که خود مسأله را حل کنند، حل آن را می‌خوانند. حتی در کلاس هم خود اقدام به حل مسأله نمی‌کنند بلکه به حل کردن همکلاسی خود نگاه می‌کنند. مسلم است که این رفتار منجر به «یادگیری» نمی‌شود. تا دانش‌آموز خود را با مسأله درگیر نکند و برای حل آن تلاش نکند و راه‌حل را تا رسیدن به پاسخ نهایی ادامه ندهد چیزی یاد نمی‌گیرد.

ـ خلاصه کردن مطالب هر فصل، با رسم «الگوی یاداوری» مطالعه مجدد را آسان و سریع خواهد کرد. به این ترتیب می‌توان مطالب پنج فصل یک کتاب را در پنج ورق کاغذ خلاصه نمود.

ـ با توجه به این که برای بیان قانون‌های فیزیکی از «زبان ریاضی» استفاده می‌شود، لازم است عملیات ریاضی و حل معادله‌ها را برای به‌دست آوردن پاسخ مسأله‌های فیزیک خوب یادبگیریم. چون هر کمیت فیزیکی با یک حرف انگلیسی مشخص می‌شود، لزومی ندارد برای نشان دادن هر مقدار مجهول در فیزیک مانند ریاضی از حروف x و y استفاده شود. بلکه کمیت مجهول را با همان نامی که دارد، در رابطه قرار می‌دهیم و با گذاشتن مقدار کمیت‌های معلوم با یکاهای مناسب، مجهول را به‌دست می‌آوریم. به عنوان مثال در رابطه انرژی جنبشی اگر مقدار جرم برحسب کیلوگرم و سرعت بر حسب متر بر ثانیه باشد آن‌ها را در رابطه $K = 1/2mv^2$ قرار می‌دهیم و مقدار K را که مجهول است، به‌دست می‌آوریم. چون که هر مسأله فیزیکی نکته خاصی را دربر دارد، بهتر است از کتاب‌های کار که در رابطه با مطالب درسی تعدادی تست، مسأله، آزمایش، فعالیت و... نیز برای هر فصل طرح نموده است، استفاده کرد. و پس از حل تمرین‌ها به پاسخی که برای آن تمرین در انتهای کتاب آمده نگاه کرد و به رفع اشکال پرداخت.

نقش مدل در آموزش فیزیک

یوجینا اتکینا
ترجمه : احمد توحیدی

واژه مدل‌سازی در فیزیک، شیمی و آموزش علوم بسیار فراگیر شده است. در فیزیک، دانش‌آموزان مدل‌های منظومه خورشیدی، نور و اتم را می‌آموزند. آن‌ها در درس زیست‌شناسی هم با مدل زانو، دستگاه گردش خون و فرآیندهای سوخت‌وساز روبه‌رو می‌شوند. در مقاله‌های متعددی امتیاز درگیر شدن دانش‌آموزان در ساختن مدل توضیح داده شده است. «آموزش مدل‌سازی» نمونه‌ای از کل یک برنامه آموزشی بر پایه مدل‌سازی است، دانش‌آموزان در کلاس‌های سنتی درس فیزیک از مفهوم واژه‌ی مدل درک روشنی ندارند و درنتیجه متوجه نقش این مفهوم در فیزیک نمی‌شوند. همین طور معلمان فیزیک مشکلاتی در تعریف این واژه دارند. هدف‌های این مقاله عبارتند از الف) بررسی دوباره‌ی واژه مدل به آن صورتی که در علوم به کار می‌رود. ب) پیشنهاد چند نوع فعالیت برای درگیر کردن دانش‌آموزان در ساختن مدل‌ها در یک طرح منظم دوره‌ی فیزیک مقدماتی.

مدل چیست؟

رویکرد مدل‌سازی در فیزیک با رنه دکارت و همکارانش شروع شد. او برای نخستین بار مطرح کرد که ساختار ذهنی یک دانشمند درباره‌ی جهان نباید «فرضیه‌ای در نظر گرفته شود که نشانگر باورهای اوست بلکه مدل‌های مفیدی هستند که می‌توان از آن‌ها پیامدهای سازگار با مشاهده‌ها را استنتاج کرد.»

در پژوهش‌های آموزش فیزیک واژه مدل با نام دیوید هستنز و همکارانش همراه است. آن‌ها برای مدت بیش از بیست سال از کاربرد مدل‌ها در آموزش فیزیک حمایت کرده‌اند. او مدل را به صورت زیر تعریف می‌کند «مدل جسم قائم‌مقام و نمایش مفهومی موجودی حقیقی است. این مدل‌ها در فیزیک مدل‌های ریاضیاتی هستند که در آن‌ها ویژگی‌های فیزیکی با متغیرهایی کمّی مدل نشان داده می‌شوند.»

به طور کلی، فیزیکدانان چند ایده‌ی مشترک در مورد مدل‌ها دارند:

الف) مدل روایت ساده شده‌ی یک شئ یا فرآیند مورد بررسی است: دانشمند سازنده‌ی مدل و درباره‌ی جنبه‌هایی که باید نادیده گرفته شوند.

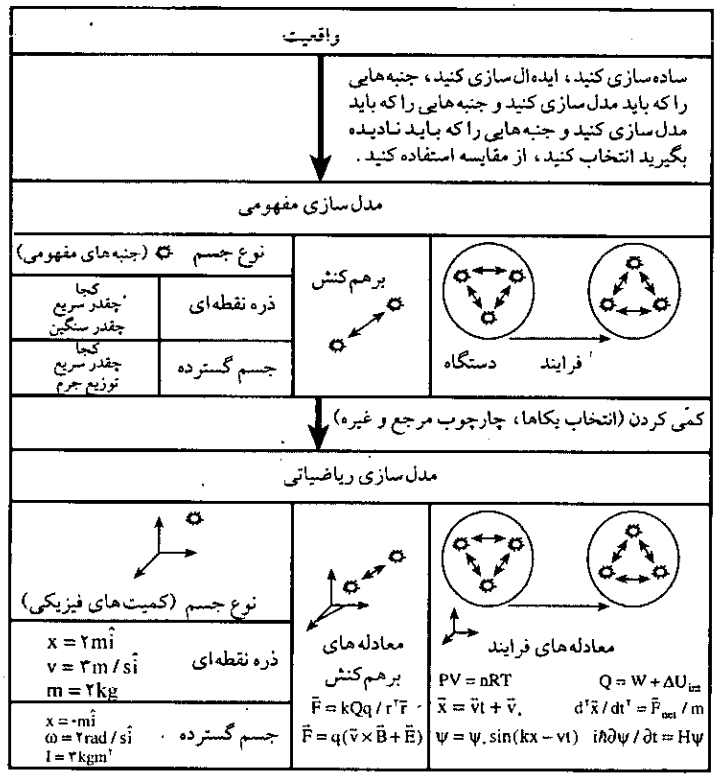
ب) مدل می‌تواند توضیحی یا توصیفی باشد، مدل‌های توضیحی مبتنی بر شباهت‌ها هستند یعنی شئ یا فرآیندی را به شئ یا فرآیندی آشنا ربط می‌دهند.

ج) مدل باید توان پیش‌بینی داشته باشد.

د) توان پیش‌بینی محدودیت‌هایی دارد.

تسلط بر این ایده‌ها دشوار است. هنگام ساده کردن یک شئ یا فرآیند چه چیزی را باید نادیده گرفت؟ آیا از یک شئ یا فرآیند یکسان در موقعیت‌های متفاوت می‌توان به صورت‌های مختلف مدل‌سازی کرد؟ چگونه می‌توان تصمیم گرفت که کدام مدل ویژه مناسب است؟

در بخش زیر معنای واژه مدل به طور عمیق‌تر بررسی می‌شود



شکل ۱ـ می‌توان با تمرکز بر یک جسم، یک برهم‌کنش، یک دستگاه، یا یک فرایند طبیعت را مدل‌سازی کرد. مدل‌های دارای قابلیت کمّی مدل‌های شامل عبارت‌های ریاضیاتی چون معادله‌های حالت و معادله‌های علیتی هستند.

و درنهایت با استفاده از نتیجه‌های به‌دست آمده فعالیت‌هایی را برای دانش‌آموزان طراحی خواهیم کرد که پرسش‌های عنوان شده در بالا را دربرگیرد.

رده‌بندی مدل‌ها

همان‌طور که در بالا گفته شد، دانشمندان مدل‌ها یا شکل‌های ساده شده را به کار می‌برند تا پدیده‌های فیزیکی مشاهده شده را توصیف کنند و یا توضیح دهند و بروندادهای پدیده‌های جدید را پیش‌بینی کنند. هنگام ساده کردن پدیده‌ای برای ساختن یک مدل ما چهار چیز را ساده می‌کنیم، ۱) اجسام ۲) برهم‌کنش بین اجسام ۳) دستگاه اجسام همراه با برهم‌کنش‌های میان آن‌ها با هم یا جداگانه ۴) فرآیندها (شکل(۱)). با این رده‌بندی چهار نوع مدل به‌دست می‌آوریم.

۱. **مدل‌های اجسام**: هنگامی که تصمیم می‌گیریم یک پدیده فیزیکی را بررسی کنیم، نخست اجسام دخیل در آن را مشخص می‌کنیم، سپس تصمیم می‌گیریم که چگونه این اشیا را ساده کنیم. برای مثال، یک اتومبیل را می‌توان به صورت ذره نقطه‌ای، جسم صُلب گسترده و یا چند جسم صُلب گسترده مدل‌سازی کرد.

۲. **مدل‌های برهم‌کنش‌ها**: هنگامی که در چند جسم دخیل هستند، باید برهم‌کنش بین آن‌ها درنظر گرفته شود. بنابراین باید تصمیم بگیریم که کدام یک از برهم‌کنش‌ها را نادیده بگیریم و کدام‌یک را به‌حساب آوریم. برهم‌کنش‌ها را می‌توان به طور کمی بر حسب قدرت و جهت یک نیرو یا میدان و یا مقدار و علامت انرژی پتانسیل مدل‌سازی کرد. در این حال عبارت‌های ریاضیاتی به‌دست می‌آید که آن‌ها را معادله‌های برهم‌کنش می‌نامیم. قانون کولن مثالی از یک معادله برهم‌کنشی است.

۳. **مدل‌های دستگاه‌ها**: با ترکیب مدل اشیا و برهم‌کنش‌ها برای یک دستگاه فیزیکی، مدلی برای آن به‌دست می‌آوریم. برای مثال، اگر گازی را به صورت ذره‌های نقطه‌ای ساده‌سازی کنیم که با دیواره‌ی ظرف برخورد کشسان دارند، مدل دستگاهی را به‌دست

می‌آوریم که به نام گاز کامل مشهور است.

۴(الف). مدل‌های فرآیندها (کیفی): رفتار یک دستگاه به علت برهم‌کنش میان اجسام درون یا بیرون آن تغییر می‌کند. مدلی که تغییرات یک دستگاه را توصیف می‌کند مدل فرآیندی نامیده می‌شود. برای مثال، فرآیند ترمودینامیکی که در آن گاز درون یک ظرف با یک پیستون متحرک دخیل است را می‌توان با درنظر گرفتن برهم‌کنش‌های ذرات با پیستون، با کاربرد مدل گاز کامل به طور کیفی توضیح داد.

۴(ب). مدل‌های فرآیندها (کمّی): هنگامی که مدل دستگاه یا فرآیندها را کمّی می‌کنیم، عبارت‌های ریاضیاتی به‌دست می‌آید که **معادله‌های حالت** و **معادله‌های علیتی** نامیده می‌شوند. معادله حالت چگونگی تغییر یک یا چند ویژگی دستگاه را در ارتباط بایکدیگر توصیف می‌کند، اما علت تغییر مشخص نیست. معادله علیتی، تحت تأثیر قرار گرفتن ویژگی‌های دستگاه را در برهم‌کنش‌های آن‌ها با محیط توصیف می‌کند.

معادله حالت عبارت ریاضیاتی است که در آن هر کمیت نظیر ویژگی‌های مختلف یک دستگاه منفرد است. برای مثال، عبارت $x = x_0 + v_0 t$ معادله حالت برای مدل فرآیندی یک ذره است. قانون گاز کامل، معادله حالت برای مدل فرآیندی شامل یک گاز کامل، نمونه دیگری است. هر کمیت در معادله نظیر ویژگی‌های یک گاز است (دستگاه از ذرات نقطه‌ای). از طرف دیگر، معادله علیتی عبارت ریاضیاتی است که شامل کمیت‌های نظیر برهم‌کنش‌های فیزیکی بین دستگاه با محیط اطرافش است. برای مثال، در قانون اول ترمودینامیک گرما و کار سبب تغییرات انرژی داخلی دستگاه می‌شود. معادله‌های علیتی ضربه ـ تکانه، کار ـ انرژی و شرودینگر نمونه‌های دیگری هستند. بیشتر معادله‌های علیتی مبتنی بر تقارن هستند.

هریک از این معادله‌ها را می‌توان به روش‌های گوناگون شامل واژه‌ها، تابع‌های ریاضیاتی، منحنی‌ها، تصویرها و نمایش مدل ویژه مانند نمودارهای حرکت جسم آزاد، و غیره نمایش داد. دانش‌آموزان باید در مورد چگونگی کاربرد این نمایش‌ها در حل مسائل آموزش ببینند. مقاله‌های بسیاری درباره‌ی اهمیت نمادها در آموزش فیزیک و موفقیت آن‌ها در راهبردهای آموزشی نوشته شده است.

اغلب دانش‌آموزان در کلاس‌های درس با این که درگیر مدل‌سازی هستند اما از آن‌ها آگاهی چندانی ندارند. در بخش زیر چند فعالیت پیشنهاد می‌کنیم که این فرآیند را برای دانش‌آموزان روشن می‌سازد و آن‌ها را تشویق می‌کند تا از مدل‌سازی هوشیارانه استفاده و درباره‌ی آن تفکر کنند.

درگیر شدن دانش‌آموزان در ساختن مدل‌ها و آزمایش آن‌ها

هستنز و همکارانش در آموزش فیزیک کارهای بسیار زیادی در مورد مدل‌سازی از پدیده‌ها برای پژوهش و حل مسائل انجام داده‌اند. رهیافت آن‌ها بر فرض سازگاری میان کاربرد راه‌بردهای زبان محلی ویژه، نمایش‌ها و حل مسائل هنگام آموزش استوار است. پیشنهاد می‌کنیم دانش‌آموزان می‌توانند با استفاده از مدل‌سازی‌های ظریف از موقعیت‌های حقیقی در کلاس‌های درس فیزیک یا هنگام حل مسائل و تمرین‌های آزمایشگاهی درگیر شوند. مثال‌هایی از فعالیت‌هایی که به دانش‌آموزان در تمرین ساخت، تکمیل، دوباره‌سازی مدل‌ها کمک می‌کند ارائه می‌دهیم. این فعالیت‌ها در سه رده گروه‌بندی شده‌اند. نوع مدل‌ها تحت عنوان «رده‌بندی مدل‌ها» در بخش‌های (مدل اجسام، برهم‌کنش‌ها، دستگاه‌ها و فرآیندها)، *اهداف* مدل‌ها تحت عنوان «مدل چیست؟» در بخش‌های (توصیف، توضیح، پیش‌بینی) و محدودیت مدل‌ها. عبارت‌های به‌کار رفته در فعالیت‌ها از توصیه‌های هلر و همکاران گرفته شده است.

انواع مدل‌های مختلف

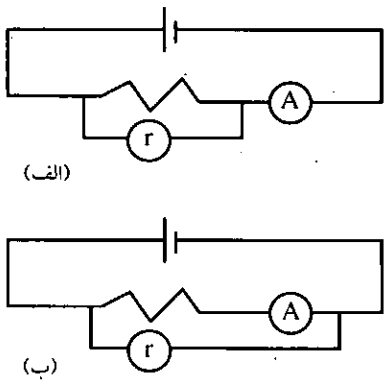
۱) انتخاب مدل برای یک جسم

قطاری به طول ۷۰m با شتاب $2\,m/s^2$ ایستگاه را ترک می‌کند. شما در سکوی ورودی به فاصله ۳۰m از قطار هستید. برای این که تعیین کنید آیا می‌توانید به قطار برسید، مدل قطار را به صورت ذره‌ی نقطه‌ای و یا جسم صلبی با طول معین انتخاب می‌کنید؟ توضیح دهید.

۲) انتخاب مدل برای یک برهم‌کنش

فرض کنید شما به عنوان مشاور سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا (ناسا) انتخاب شده‌اید. وظیفه شما به شرح زیر است:

سرپرست گروهی هستید که باید یک برنامه رایانه‌ای طراحی کند که بتواند در سریع‌ترین زمان مقدار انرژی لازم برای یک دستگاه موشک زمین به هوا را محاسبه کند؛ موشک به مداری بالای زمین پرتاب می‌شود. انرژی پتانسیل گرانشی یک دستگاه شامل دو جسم به جرم‌های M و m برابر با $U = -\frac{GMm}{r}$ است. برای این که برنامه رایانه تا حد امکان سریع انجام شود شما می‌خواهید بدانید که در چه زمان می‌توانید، معادله انرژی پتانسیل گرانشی دستگاه را به



شکل۲ـ با استفاده از خواندن آمپرسنج و ولت‌سنج مقدار مقاومتی را که به نتیجه‌های مختلف برای آرایش‌های مختلف مدار می‌انجامد محاسبه کنید.

صورت $U = mgh$ درنظر بگیرید.

الف) در چه مکانی شما معادله $U = 0$ و در چه زمانی معادله $U = mgh$ را به کار می‌برید؟

ب) با استفاده از پاسخ الف) نشان دهید که می‌توانید از معادله $U = -\frac{GmM}{r}$، معادله $U = mgh$ را به‌دست آورید. (راهنمایی: $\frac{1}{R+h} \approx (\frac{1}{R}) - (\frac{h}{R^2})$ است اگر $h << R$ باشد.)

پ) بر پایه تقریبی که در قسمت ب) استفاده کردید، فکر می‌کنید در چه زمانی کاربرد معادله‌ی $U = mgh$ منطقی است؟

۳) انتخاب مدل برای یک دستگاه

فرض کنید مربی آزمایشگاه هستید و در کشوی میز آزمایشگاه یک مقاومت الکتریکی پیدا می‌کنید. می‌خواهید مقدار آن را به‌دست آورید. باتری، آمپرسنج، ولت‌سنج و چند سیم رابط در اختیار دارید. تصمیم می‌گیرید با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و جریانی که از آن می‌گذرد مقدار مقاومت را پیدا کنید. مداری مانند شکل (۲ـ الف) درست می‌کنید. اما پس از آن می‌فهمید روش دیگری برای انجام این کار نیز وجود دارد (شکل (۲ـ ب))

چه فرض‌هایی برای مدل‌سازی در مورد اجسام و فرآیندهای موجود به ترتیب در مدارهای اول و دوم لازم است؟ چه اطلاعاتی در مورد اجزای مدارها نیاز دارید تا با توجه به آن‌ها تصمیم بگیرید کدام‌یک از روش‌های (الف یا ب) قابل اجرا است (راهنمایی: به یاد داشته باشید که هر دو وسیله‌ی اندازه‌گیری دارای مقاومت داخلی هستند).

۴) انتخاب مدل برای یک فرآیند
معادله‌های حالت

ظرفی به حجم $0/50 m^3$ دارای $4/46$ مول هوا با دمای اولیه $500 K$ و فشار $37/06 kPa$ است. هنگامی که حجم گاز در اثر تراکم به $0/10 m^3$ برسد دما و فشار آن به ترتیب $133 K$ و $49/10 kPa$ اندازه‌گیری می‌شود. مدل‌های گاز کامل و واندروالس را می‌توان برای یک گاز انتخاب کرد. تعیین کنید کدام‌یک از مدل‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده سازگاری دارد. (برای هوا $a = 0/1358 \frac{Jm^3}{mol^2}$، $b = 3/64 \times 10^{-5} \frac{m^3}{mol}$ است.) اگر یکی از مدل‌ها برای مقادیر اندازه‌گیری شده دقیق‌تر باشد، توضیح دهید چرا این مورد درست است.

معادله‌های علیتی

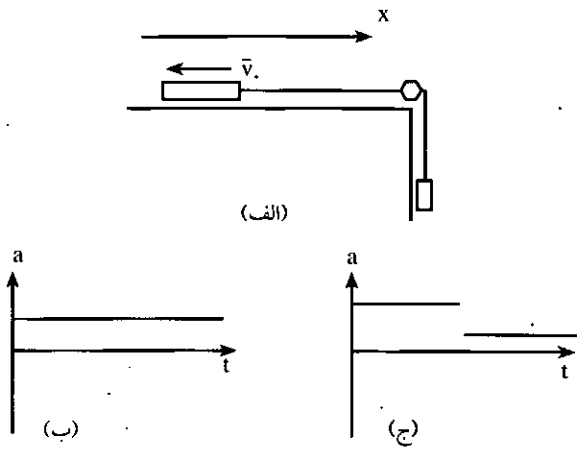
فرض کنید در حالِ تحلیل تصویر تک به تک یک فیلم ویدیویی درباره سقوط یک توپ پلاستیکی هستید ($m = 500 g$ ، $R = 20 cm$). شتاب حرکت ثابت و برابر با $8/8 \frac{m}{s^2}$ است. تصمیم می‌گیرید با مدل‌سازی برهم‌کنش‌های توپ با زمین و هوا، موقعیت آن را تحلیل کنید. چه فرض‌هایی برای مدل‌سازی در مورد برهم‌کنش‌ها و فرآیندها نیاز دارید تا شتاب توپ را توضیح دهید؟

پیشنهادهایی برای کاربرد مدل‌ها
۵) کاربرد مدل‌ها برای توصیف پدیده‌ها

برای خواهر کوچکتان یک ماشین کوکی عروسکی خریده‌اید. کدام‌یک از مدل‌های زیر حرکت ماشین را بهتر توصیف می‌کند؟ مدل حرکت با سرعت ثابت، شتاب ثابت یا شتاب متغیر

۶) کاربرد مدل‌ها برای توضیح پدیده‌ها

ارابه‌ای روی تخت هوا قرار داده‌اید. ارابه با نخ نازکی که از روی قرقره‌ای می‌گذرد به وزنه‌ای متصل شده است (شکل (۳ـ الف)). ناگهان ارابه را به سمت چپ می‌کشید. ارابه نخست



شکل ۳ـ (الف) ارابه و تخت هوا با نخی به هم متصل شده‌اند که از قرقره‌ای می گذرد و جسم آویزان به آن ناگهان هُل داده شده و رها می‌شود. (ب) نمودار شتاب برحسب زمان را برای ارابه رسم کنید. (ج) نمودار شتاب بر حسب زمان را برای همین ارابه در هنگام تکرار آزمایش در مسیر معمول رسم کنید.

به سمت چپ می‌آید حرکت آن کند می‌شود و می‌ایستد. سپس با سرعت تندشونده به سمت راست حرکت می‌کند. در شکل (۳ـب) نمودار شتاب بر حسب زمان ارابه نشان داده شده است. هنگامی که بار دیگر آزمایش را با ارابه در همان مسیر تکرار می‌کنید نمودار متفاوتی به دست می‌آورید (شکل (۳ـج)).

مدل‌هایی برای اجسام، برهم‌کنش‌ها، دستگاه‌ها و فرآیندها پیشنهاد کنید. نمودارها و تفاوت میان آن‌ها را با استفاده از این مدل‌ها توضیح دهید.

۷) کاربرد مدل‌ها برای پیش‌بینی پدیده‌ها

بالونی محتوی گاز هلیم که با نخ نازکی بسته شده است در یک جعبه شفاف قرار دارد. جعبه به کمک چرخ‌هایی که در زیر آن نصب شده است می‌تواند حرکت کند. بگویید چرا بالون و نخ در جهت قائم قرار گرفته‌اند. برای این مسأله چه نوع مدلی از اجسام و برهم‌کنش‌ها را به کار می‌برید؟ پیش‌بینی کنید اگر ناگهان جعبه را به سمت چپ حرکت دهید جهت نخ و بالون چگونه تغییر می‌کند؟ برای این‌که پیش‌بینی کنید نخست توضیح دهید چه نوع مدلی از اجسام و برهم‌کنش‌ها را برای دستگاه پیشنهادی خود انتخاب کرده‌اید و برای رویداد فرآیندها چگونه مدل‌سازی می‌کنید؟ آزمایش را انجام دهید و نتیجه‌ی آزمایش را مشاهده کنید. اگر پیش‌بینی شما با نتیجه آزمایش سازگاری نداشت در مدل انتخابی تجدیدنظر کنید تا پیش‌بینی جدید شما با نتیجه آزمایش سازگاری داشته باشد.

محدودیت‌های مدل

۸) محدودیت‌های مدل اجسام با برهم‌کنش‌ها و فرآیندها

دوستان هم‌گروه آزمایشگاهی شما می‌خواهند گرمای ویژه یک قطعه فلز را پیدا کنند. آن‌ها آن را مدت ۵ دقیقه روی اجاقی که دمای آن ۲۰۰°C می‌گذارند. سپس قطعه را در یک فلاسک محتوی ۲۰۰g یخ صفر درجه سانتی‌گراد قرار می‌دهند. در فلاسک را می‌بندند و مدت ۵ دقیقه صبر می‌کنند. سپس در فلاسک را باز کرده متوجه می‌شوند که همه‌ی یخ ذوب شده است. آن‌ها دمای آب حاصل از ذوب یخ را ۲۰°C اندازه‌گیری می‌کنند. گرمای ویژه قطعه‌ی فلز را با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست آورید.

$$m_{\text{یخ}} L_f + m_{\text{یخ}} C_{\text{آب}} \Delta T_{\text{یخ-آب}} + m_{\text{فلز}} C_{\text{فلز}} \Delta T_{\text{فلز}} = 0$$

$$C_{\text{فلز}} = -\left[0/2\text{kg} \times (33/5 \times 10^4 \frac{\text{J}}{\text{kg}}) + (0/2\text{kg}) \times \frac{4186\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \times 20^\circ\text{C}\right] /$$

$$\left[0/5\text{kg} \times (-180^\circ\text{C})\right] = 930\text{J/kg.K}$$

همه‌ی فرض‌هایی را که گروه دوستانتان در مدل‌سازی برای اجسام، برهم‌کنش‌ها، دستگاه‌ها و فرآیندها کرده‌اند مشخص کرده و بررسی کنید که آیا هریک از این فرض‌ها قابل قبول است یا خیر.

نتیجه

انتخاب مدلی سازنده که یک پدیده مورد بررسی را توصیف می‌کند یا آن را توضیح می‌دهد بخشی از کار رایج دانشمندان است. اما دانش‌آموزان با آن آشنا نیستند. آن‌ها در درک مدل و کاربرد آن برای تحلیل پدیده‌های فیزیکی و حل مسائل مشکلاتی دارند. امیدواریم که با ابداع و کاربرد راه‌کارهایی شبیه آنچه ارائه کردیم، دانش‌آموزان بتوانند مهارت بیشتری در مدل‌سازی پیدا کنند. می‌توانید برای کمک به دانش‌آموزان آن‌ها را در «فرا-مدل‌سازی» ـ تمرکز بر اهداف و برونداد فرآیندهای مدل‌سازی ـ درگیر کنید. مربیان را تشویق می‌کنیم تا با کامل کردن تمرین‌هایی که در بالا ارائه شد، آن‌ها را در برنامه آموزشی دانش‌آموزان بگنجانند. راه‌حل مسائل ارائه شده در مقاله و تمرین‌های دیگری در سایت رایانه‌ای زیر موجود است.

http://paer.rutgers.edu/scientificAbilities/ModelingTask/default.aspx.

منبع:

1. Eugenia Etkina, Aaron Warren, and Michael Gentile The physics Teacher. Vol 44, January 2006

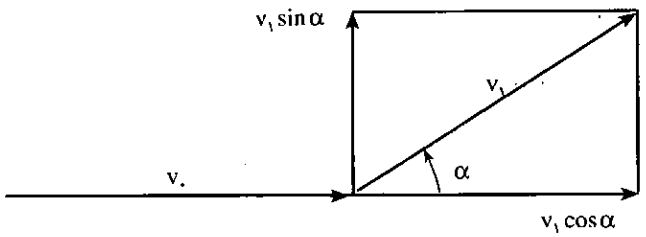
سینماتیک پرش طول

آیون تان[*] ـ جان زامرشیک[**]
ترجمه: سیّدمهدی میرقیّوم‌نیا

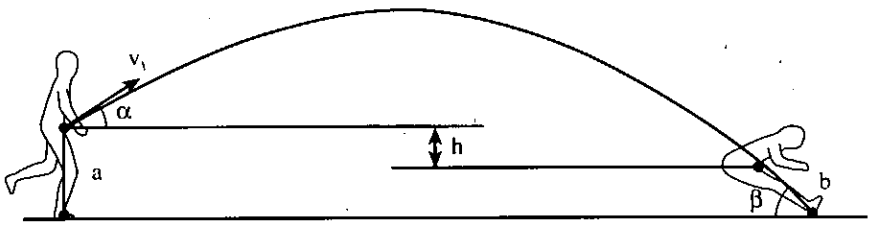
پرش طول یکی از طبیعی‌ترین رشته‌های ورزشی در دو و میدانی است. شرکت‌کننده در این رشته‌ی ورزشی، مجاز است که فاصله ۴۰ متری قبل از رسیدن به محل پرش را، با سرعتی بالا بدود و سپس با خیزی بلند داخلِ محوطه مجاز، فرود آید. پرش طول رشته‌ای است که در آن توانایی طبیعی ورزشکار، نقش عمده‌ای ایفا می‌کند و روش در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد. مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در پرش طول، عبارتند از سرعت و اوج گیری دونده. این حقیقت را می‌توان با مثال‌هایی از بزرگ‌ترین قهرمانان تاریخ این رشته جسی اونز[1] و کارل لوئیز[2] نشان داد که بزرگ‌ترین قهرمانان دو سرعت زمان خود هم بودند. توانایی پرش آن‌ها تابع سرعت خام آن‌ها بود. از سوی دیگر، در قهرمانان دیگر این رشته، از قبیل رالف بوستون[3]، باب بیمون[4] و رکورددار فعلی جهان مایک پاول[5]، فقدان سرعت زیاد خود را با اوج گیری جبران می‌کند. مثلاً، رالف بوستون پرش ارتفاع به میزان ۶ فوت و ۹ اینچ انجام می‌داد.

از دیدگاه سینماتیک، برای بیشینه کردن پرش طول، زاویه بهینه پرش کدام است؟ پر واضح است که در نبود مقاومت هوا، زاویه پرتاب بهینه برای پرتاب با بیشترین برد در صفحه افقی 45° است. اما این موضوع برای پرش طول صادق نیست چرا که در این جا پرتاب به بهای از دست دادن بخش قابل توجهی از انرژی جنبشی انتقالی قبل از پرش صورت می‌گیرد.

ابتدا بدون درنظر گرفتن مقاومت هوا، زاویه بهینه برای پرش را در صفحه افقی محاسبه می‌کنیم. این مربوط به موردی است که شخص به طور قائم فرود آید. به طوری که در هنگام پرش و فرود آمدن، گرانیگاه‌اش در ارتفاع معینی باقی بماند. فرض کنید v_0 سرعت اولیه قبل از پرش، v_1 سرعت پرش و α زاویه پرش نسبت به سطح افقی باشد (شکل ۱). انرژی جنبشی کل، قبل از پرش $E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$ است. این انرژی به صورت انرژی جنبشی انتقالی است.



شکل۱ . نمودار بردارهای سرعت : v_0 سرعت دویدن قبل از پرش، v_1 سرعت پرش و α زاویه پرتاب است .



شکل۲ . هندسه‌ی پرش طول . a فاصله گرانیگاه شخص پرنده از محل تماس پا با زمین در آغاز پرش و b فاصله گرانیگاه از محل تماس پا با بدن در هنگام فرود است .

۷ کسری از این انرژی است که به صورت گرما و صدا تلف می‌شود . بخش دیگری از این انرژی ΔE به انرژی حرکت در جهت قائم تبدیل می‌شود : $\Delta E = ۱/۲ m v_1^۲ \sin^۲\alpha$. انرژی جنبشی انتقالی پس از پرش برابر است با : $E_1 = ۱/۲ m v_1^۲$. با توجه به پایستگی انرژی داریم :

$$E_1 = E_0 - \gamma E_0 - \Delta E \qquad (۱)$$

پس از قرار دادن این مقدارها در معادله (۱) و ساده کردن آن داریم :

$$v_1 = \frac{(۱-\gamma)^{\frac{۱}{۲}}}{(۱+\sin^۲\alpha)^{\frac{۱}{۲}}} v_0 \qquad (۲)$$

برد تابه R از سینماتیک مقدماتی تعیین می‌شود :

$$R = \frac{v_1^۲ \sin ۲\alpha}{g} = \frac{A \sin ۲\alpha}{۱+\sin^۲\alpha} \qquad (۳)$$

که در آن $A = (۱-\gamma) v_0^۲ / g$ است .

با دو بار مشتق‌گیری از معادله (۳) نسبت به α خواهیم داشت :

$$\frac{dR}{d\alpha} = \frac{۳\cos ۲\alpha - ۱}{(۱+\sin^۲\alpha)^۲} A \qquad (۴)$$

و

$$\frac{d^۲R}{d\alpha^۲} = \frac{۴(۳\sin ۴\alpha + ۱۴\sin ۲\alpha)}{(\cos ۲\alpha - ۳)^۳} A \qquad (۵)$$

اگر $dR/d\alpha$ را برابر صفر قرار دهیم، زاویه بهینه پرتاب را برای صفحه افقی به‌دست می‌آوریم :

$$\alpha_m = ۱/۲ \cos^{-۱}(۱/۳) = ۳۵/۲۶^\circ$$

با قرار دادن این مقدار در معادله‌ی (۵) می‌توان نشان داد که این زاویه پرتاب نظیر با برد بیشینه است . توجه کنید که این زاویه مستقل از v_0 و γ است .

در واقع شخص پرنده برای این که بیشترین فاصله افقی را طی کند، هنگام فرود پاهای خود را جلوی بدن خود قرار می‌دهد (شکل۲) . در وضعیت فرود، گرانیگاه او، نسبت به سطح لحظه پرش به اندازه‌ی h پایین می‌آید و نیز $b < a$ خواهد بود . (به شکل۲ مراجعه کنید .) اگر β زاویه فرود باشد، $h = a - b\sin\beta$. در این وضعیت طول پرش از رابطه زیر تعیین می‌شود :

$$R = \frac{v_1 \cos\alpha}{g}\left[v_1 \sin\alpha + (v_1^۲ \sin^۲\alpha + ۲gh)^{\frac{۱}{۲}}\right] + L \qquad (۶)$$

که در آن $L = b\cos\beta$ است . با قرار دادن v_1 از معادله (۲) در معادله بالا داریم :

$$R = A\frac{\sin ۲\alpha}{۱+\sin^۲\alpha}\left[۱+(۱+B\frac{۱+\sin^۲\alpha}{\sin^۲\alpha})^{\frac{۱}{۲}}\right] + L \qquad (۷)$$

که $B = h/A$.

اصولاً زاویه‌ی فرود باید حتی‌الامکان کوچک باشد، اما به لحاظ عددی باید به اندازه‌ای باشد که شخص با نشیمنگاه خود فرود آید .

جدول۱ . زاویه بهینه برای برد بیشینه

سرعت قبل از پرش دویدن (v_0,m/s)	سرعت پرش (v_1,m/s)	زاویه پرش بهینه (درجه α_m)	برد R m	برد R ft-in
۱۰/۰	۸/۳۵	۳۲/۶۵	۷/۵۹	۲۴-۱۱
۱۰/۵	۸/۷۵	۳۲/۸۷	۸/۲۶	۲۷-۰۱
۱۱/۰	۹/۱۶	۳۳/۰۶	۸/۹۶	۲۹-۰۵
۱۱/۵	۹/۵۷	۳۳/۲۳	۹/۶۹	۳۱-۰۹

تجربه نشان می‌دهد که این زاویه ۴۵° است. با رجوع به تعریف β ، توجه کنید که زاویه بین پاها و افق، به طور قابل توجه‌ای کوچک‌تر است. اگر L را ثابت فرض کنیم، می‌توان زاویه پرتاب را نظیر برد بیشینه به طور تحلیلی محاسبه کرد. با مشتق‌گیری از معادله (۷) نسبت به α ، برابر صفر قرار دادن نتیجه مشتق و ساده کردن آن، معادله‌ی غیرجبری زیر حاصل می‌شود:

$$p(\alpha) = q(\alpha) \qquad (۸)$$

که در آن

$$p(\alpha) = ۲ + ۱۲B + ۲^{\frac{۱}{۲}} \operatorname{cosec}\alpha [۱ + ۳B - (B+۱)\cos ۲\alpha]^{\frac{۱}{۲}} \qquad (۹)$$

و

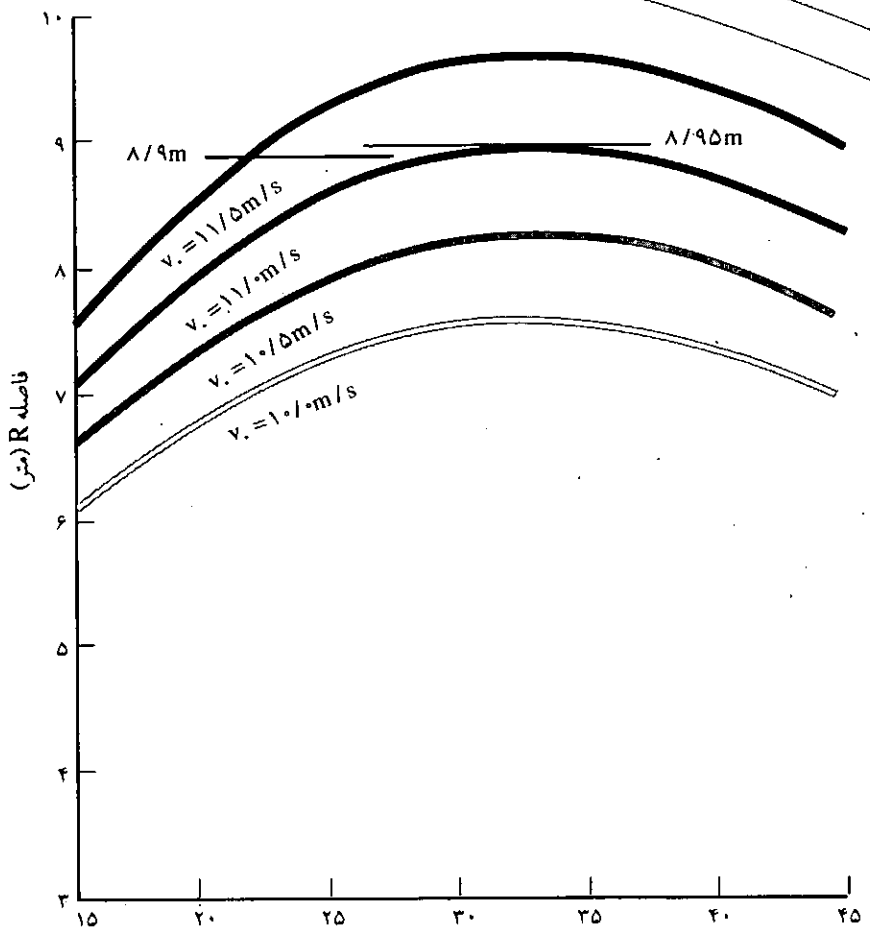
$$q(\alpha) = \left\{ ۶ + ۴B + ۳۲^{\frac{۱}{۲}} \operatorname{cosec}\alpha [۱ + ۳B - (B+۱)\cos ۲\alpha]^{\frac{۱}{۲}} \right\} \cos ۲\alpha \qquad (۱۰)$$

معادله‌ی (۸) را می‌توان به طور ترسیمی یا به روش عددی حل کرد.

برای **کارل لویس** (با طول قد ۱/۸۶m یا ۶ فوت و ۲ اینچ)، اندازه a = ۰/۹۳m برابر b = ۰/۶m و β = ۴۵° به طور تقریبی داریم: h = ۰/۵۱m و L = ۰/۴۲m . به علاوه تحلیل **مک فارلند** و **تان** مقدار γ = ۱/۱ را پیشنهاد می‌کند. با محاسبه هر دو طرف معادله‌ی (۸)، با افزایش تدریجی زاویه‌ی پرتاب برای برد بیشینه، زاویه بهینه α_m را تعیین می‌کنیم. جدول(۱)، نتیجه‌های حاصل را برای سرعت‌های مختلف v. نشان می‌دهد. آشکار است که α_m کوچک‌تر از مقدار قبلی ۳۵/۲۶° برای صفحه افقی است. همین طور با افزایش v. ، مقدار α_m اندکی افزایش می‌یابد. این موضوع با این واقعیت که زاویه شیب با افزایش v. کاهش می‌یابد سازگار است و درنتیجه R افزایش می‌یابد.

مطابق محاسبه‌های مدل، حد سرعت در دوی ۱۰۰ متر برای دونده‌ای مانند **کارل لویس** سرعت ۱۱/۵m/s بود. برخلاف آن‌چه که در برخی از نوشته‌ها مطرح می‌شود، این سرعت به بیشترین سرعتی که یک انسان می‌تواند به آن دست یابد، بسیار نزدیک است. جدول(۱) نشان می‌دهد که به لحاظ نظری دویدن با چنین سرعتی، پرشی به طول ۹/۶۹m یا ۳۱ft و ۹in را امکان‌پذیر می‌کند. چون این مقدار از آخرین رکورد ثبت‌شده در این رشته (یعنی ۸/۹۵m یا ۲۹ft و $۴\frac{۱}{۲}$in) به اندازه‌ی ۲ft بیشتر است، در حال حاضر می‌توان این طول را حد بالایی پرش طول درنظر گرفت. علاوه بر این، جدول نشان می‌دهد که برای ثبت رکوردهای برتر، شخص باید حداقل سرعت ۱۱m/s داشته باشد. قبل از رسیدن **مایک پاول** به رکورد جهانی خود، بین **کارل لویس** و **مایک پاول**، ۲۳ سال برای شکستن رکورد قدیمی **باب بیمون** (۸/۹۰m یا ۲۹ft و $۲\frac{۱}{۲}$in) رقابت جذابی وجود داشت. در برابر کاهش سرعت انفجاری **لویس**، **پاول** باید برای دست یافتن به رکورد خود، زاویه پرتاب بزرگ‌تری می‌داشت.

زاویه پرشی که در پرش‌های **جسی اونز** ثبت شده بین ۲۵° و ۲۶° است که به طرز قابل ملاحظه‌ای از مقدار بهینه زاویه پرش α_m کوچک‌تر است. با درنظر گرفتن این که **اونز** نیز مانند **لویس** یک پرنده سرعتی بود، این موضوع تعجب‌آور نیست. دیگر بزرگان این رشته مانند **رالف بوستون**، **باب بیمون**، **لین دیویس** و **آرنی رابینسون**، همگی برای دستیابی به رکورد خود، از «اوج گیری»[۹] استفاده کرده‌اند.



شکل۳. فاصله R برحسب زاویه پرتاب α برای سرعت‌های دویدن قبل از پرش

شکل(۳) بستگی فاصله R را به زاویه پرتاب، به ازای سرعت‌های دویدن مختلف، نشان می‌دهد. این شکل مجدداً این واقعیت را نشان می‌دهد که حداقل سرعت دویدن لازم برای رسیدن به امتیاز جهانی، ۱۱m/s است.

شکل(۳) نشان می‌دهد که کارل لویس که رکوردی بیش از ۲۸ـft را به نام خود ثبت کرده بود، بیش از هر دونده دیگری اهل ترکیب دو روش بود. او کسی بود که در شکستن رکورد چشمگیر بیمون در سطح دریا ناموفق بود، اما اگر با توجه به نظریه، پرش را با زاویه پرتاب کوچک ۲۲° انجام می‌داد، می‌توانست به هدف خود دست یابد.

زیرنویس:

* بخش فیزیک دانشگاه آلاباما

** دبیر دایرة المعارف علوم ورزشی نیویورک

1. Jesse owens
2. Carl Lewis
3. Ralph Boston
4. Bob Beamon
5. Mike Powel

منبع:

The Physics Teacher, Vol.38, March 2000.

مراجع:

1. R. L. Quercetani, *A World History of Track and Field Athletics* (Oxford, 1964), p. 246.
2. E. McFarland in *Encyclopedia of Sports Science*, edited by John Zumerchik (MacMillan, 1997), p. 185.
3. A. Tan, "The mathematics and physics of pole vault", *Theta*, **10**(2), 14(1996).
4. R. E. Becker, *Introduction to Theoretical Mechanics* (McGraw-Hill, 1964), p. 126.
5. This differentiation is tedious business. However, it is easily handled by the software *Mathematica*, Version 3.0 (Wolfram Research, 1997).
6. A. Tan, "Kinematics of the 100 metres sprint", *Theta*, 9 (2), 13 (1995).
7. D. Wallechinsky, *The Complete Book of the Olympics* (Little, Brown & Co., 1996), p. 14.
8. M. Adrian and J. Cooper, *Biomechanics of Human Movement* (Benchmark, 1989), p. 51.

آیا دمای منفی زیر صفر کلوین امکان‌پذیر است؟

گردآوری: سوسن رجایی
دانشکده فنی دکتر شریعتی
Sou-rajaei@yahoo.com

علم ترمودینامیک، قدیمی‌تر از دیدگاه اتمی ماده است. بنابراین، کمیت‌های ترمودینامیکی نظیر دما، از دید اتمی تعریف نشده‌اند. آیا این دما مفهوم تجربی هم دارد؟ این پرسشی است که ممکن است مطرح باشد. و مطمئناً بحث درباره آن جالب است. زیرا به درک مفهوم دما کمک می‌کند.

چکیده: بحث زیر، یک مفهوم آماری ساده شده از دماست. با این تعریف درمی‌یابیم که هم، دمای منفی و هم دمای بینهایت امکان‌پذیر است. و برای توضیح حالت ماده در لیزرها به‌کار می‌رود. همان‌طور که در روش‌های رسیدن به دماهای خیلی پایین نیز کاربرد دارد.

دما

اکثراً پاسخ پرسش بالا این است که، خیر. زیرا در صفر کلوین جنبش مولکول‌ها متوقف می‌شود، پس نمی‌توانیم در کمتر از صفر کلوین جنبشی داشته باشیم. این پاسخ در حالی که کاملاً غلط نیست، این موضوع را در نظر نمی‌گیرد که دما به‌صورت جنبش مولکول‌ها تعریف نشده است. دما برای یک دستگاه معین میانگین انرژی جنبشی مولکول‌هاست. اما این یک تساوی است نه تعریف. دما معمولاً ساده قلمداد می‌شود زیرا می‌توانیم آن‌را حس کنیم. ولی آیا تا کنون فکر کرده‌اید که چگونه می‌توان آن‌را برای موجود بیگانه‌ای که نمی‌تواند آن را حس کند، توضیح داد؟ این کار بسیار مشکل خواهد بود. برای مثال آنتروپی خیلی ساده‌تر است. ولی به‌خاطر آن‌که نمی‌توانیم آن‌را حس کنیم هنوز مشکل به‌نظر می‌رسد.

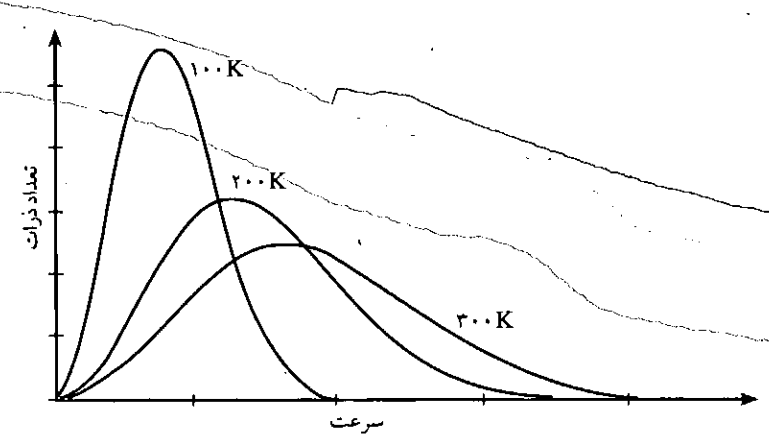
پاسخ صحیح این است که دمای کلوین منفی نمی‌تواند با سرد شدن به‌دست آید. جالب‌تر آن‌که حتی دمای صفر کلوین هم با سرد شدن به‌دست نمی‌آید.

مدل آماری

در یک گاز متشکل از اتم‌هایی شبیه توپ‌های ریز و سخت، دما متناسب است با میانگین انرژی جنبشی ذرات. اما قطعاً، کسی انتظار ندارد که تمام مولکول‌ها سرعت یکسان داشته باشند. شکل ۱ - (توزیع ماکسول) توزیع سرعت‌های مولکولی را برای سه دمای مختلف نشان می‌دهد.

واضح است که توزیع سرعت‌های مولکولی به دما بستگی دارد. و برعکس، دما بر اساس نسبت تعداد مولکول‌های پرسرعت بر تعداد مولکول‌های کم‌سرعت تعیین شده است. یک مدل می‌تواند برای تفهیم این موضوع به ما کمک کند.

برای سهولت، دستگاهی را در نظر می‌گیریم که فقط دو تراز



شکل ۱ـ این شکل توزیع سرعت‌های ماکسول را برای سه دمای مختلف نشان می‌دهد حتی در دمای پایین، کسر کوچکی از مولکول‌ها دارای سرعت زیاد هستند. این کسر با افزایش دما، زیاد می‌شود در همان حال تعداد مولکول‌های با سرعت کم، کمتر شده ولی صفر نمی‌شود.

انرژی داشته باشد E_h انرژی زیاد، و E_l انرژی کم. ذرات یا انرژی دارند یا ندارند.

هنگامی که دستگاه گرم شود، انرژی به آن منتقل می‌شود. ذرات به‌هرحال باید این انرژی را کسب کنند. در این مدل این موضوع فقط در صورتی اتفاق می‌افتد که تغییر انرژی ذرات از کم به زیاد باشد.

تعداد ذرات در تراز انرژی iأم توسط توزیع بولتزمن تعیین می‌شود:

$$N_i = C \times \exp(-E_i / kT)$$

که در آن C مقدار ثابت در یک دمای داده شده، N_i تعداد ذراتی که انرژی آن‌ها E_i، E_i انرژی تراز Iأم است که می‌تواند صفر یا مقدار دیگری باشد، همچنین K ثابت بولتزمن: $(1/38 \times 10^{-23}\ J/K)$، و T دمای مطلق است.

هنگامی که فقط دو تراز انرژی داشته باشیم نسبت جمعیت این ترازها عبارت است از:

$$N_h / N_l = \exp(-\Delta E / kT)$$
$$\Delta E = E_h - E_l$$

اگر معادله بالا را برحسب T حل کنیم، رابطه (۱) حاصل می‌شود:

$$T = \frac{-\Delta E / k}{\ln[N_h + N_l]} \qquad (۱)$$

رفتار مدل: دمای یک جسم

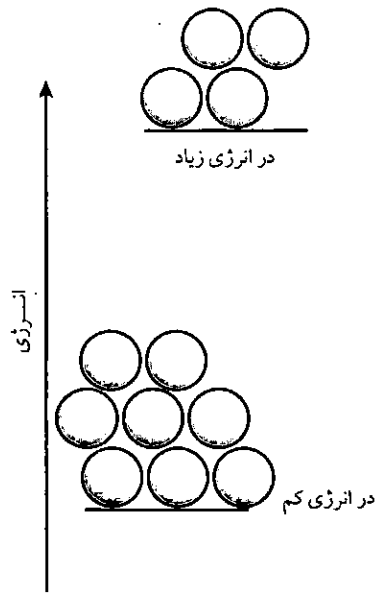
برای اجسامی که در دماهای عادی هستند داریم:

$$N_l \geq N_h$$

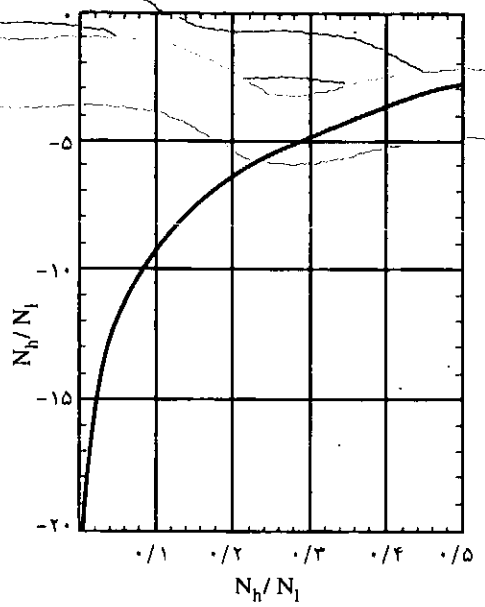
بدین ترتیب حاصل کسر مخرج عددی کوچک‌تر از یک ln آن منفی، و دما مثبت می‌شود. (شکل۲)

سرمایش و گرمایش

اگر گرما اضافه شود، تعداد بیشتری از ذرات از تراز پایین به تراز بالا می‌روند. (توجه کنید که خود ترازها تغییر نمی‌کنند.) پس تعداد ذرات با انرژی زیاد، N_h افزایش و N_l کاهش می‌یابد. بنابراین لگاریتم کمتر منفی می‌شود و دما بالا می‌رود. انرژی کل مجموعه نیز بالا می‌رود، زیراحالا تعداد ذرات بیشتری در تراز بالا هستند. از طرف دیگر، اگر از انرژی یک جسم کم شود، E_l انرژی تراز پایین با جمعیت تراز بالا اشغال می‌شود. مقدار لگاریتم بیشتر منفی می‌شود و دما به صفر میل می‌کند.



شکل ۲ـ در این مثال ۴اتم در تراز بالا و هشت اتم در تراز پایین هستند. این دستگاه یک دمای سرد معمولی دارد. فرض کنید که اختلاف انرژی دو تراز k ۱۰ (k ثابت بولتزمن است) باشد. دمای دستگاه در این حالت ۱۴٫۴۲ کلوین است.



شکل۳ـ وقتی شناسه کوچک باشد تغییرات لگاریتم زیاد است. در نسبت‌های کوچک N_h / N_l شیب لگاریتم خیلی زیاد است. بنابراین اگر فقط تعداد کمی از ذرات ترازشان از پایین به بالا تغییر کند، دما به طور قابل توجهی بالا می‌رود. و همان‌طور که به سادگی تصور می‌شود، کار ساده‌ای نیست که تمام تعداد 10^{23} ذره را تراز پایین نگه داشت. توجه کنید که تنها با افزودن مقدار اندکی انرژی، تعداد بسیار زیادی از ذرات به تراز بالا می‌روند.

$$\lim_{\frac{N_h}{N_l}\to 0}\left[\frac{-\Delta E/k}{\ln\left[\frac{N_h}{N_l}\right]}\right]=0$$

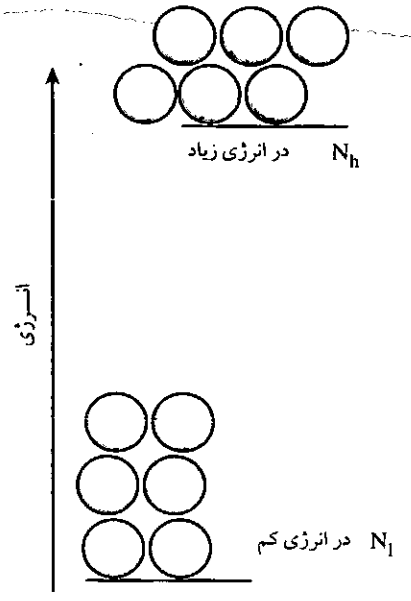
همان‌طور که نمودار لگاریتمی شکل۳- نشان می‌دهد، از آنچه گفته شد می‌توان دریافت که رسیدن به صفر مطلق بسیار دشوار است.

دمای بی‌نهایت هر گاه جمعیت دو تراز یکسان شود (شکل۴)، کسر مخرج مساوی یک و حاصل لگاریتم صفر و در نتیجه:

$$\mathrm{Lim}_{N_h\to N_l}\left[\frac{-\Delta E/k}{\ln\left[\frac{N_h}{N_l}\right]}\right]=\infty$$

مقدار دما بی‌نهایت می‌شود. (توجه کنید که دلتا تغییر نمی‌کند). چون تعداد ذرات همیشه محدود است، فقط مقدار محدودی انرژی برای رسیدن به دمای نامحدود (∞) لازم است. به‌هرحال، **دمای بی‌نهایت با گرم کردن حاصل نمی‌شود**. زیرا برای گرم کردن به جسم داغ‌تری احتیاج است.

دمای مطلق منفی: به محض آن‌که جمعیت تراز بالا بیشتر شود،



شکل۴ـ هرگاه جمعیت دو تراز مساوی باشد دمای سیستم بی‌نهایت است.

(شکل۵) یک دمای مطلق منفی خواهیم داشت. آیا این موضوع امکان‌پذیر است؟ بلی، اما نه با سرد کردن.

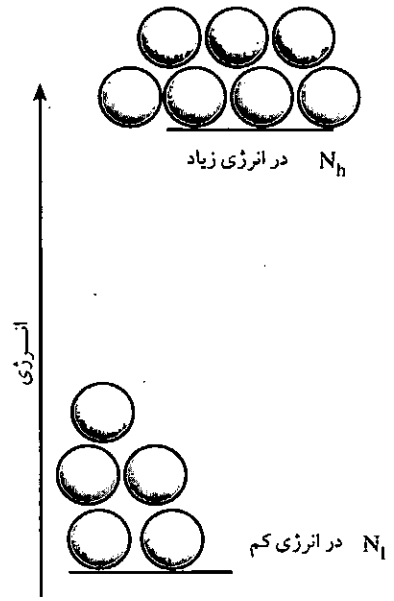
فرمول(۱) و همین‌طور شکل نشان می‌دهد که ماده در حالتی که به آن دمای مطلق منفی نسبت داده شود، انرژی بیشتری نسبت به دماهای سرد معمولی دارد، زیرا بیشتر ذرات در تراز انرژی بالاتر هستند. گرچه باید انرژی دستگاه اضافه شود تا دمای مطلق منفی به‌دست آید. ولی تأکید می‌شود که این حالت با گرم کردن حاصل نمی‌شود.

دستگاه‌هایی در دمای مطلق منفی

به‌هرحال، هر دو نوع دستگاه یکی با دمای مطلق منفی و دیگری با دمای بی‌نهایت قابل حصول هستند. در دستگاه‌های لیزری قبل از آن‌که تمام دستگاه نور لیزر تابش کند، باید اتم‌های بیشتری برانگیخته شوند، و یک دمای منفی برای دستگاه به‌دست آید. در بیشتر لیزرها برانگیزش اتم‌ها از طریق روش‌های الکترونیکی انجام می‌شود. توجه داشته باشید که اتم‌ها توسط گرم شدن برانگیخته نمی‌شوند.

دستگاه‌هایی با دمای بی‌نهایت

دستگاه‌های با دمای بی‌نهایت برای رسیدن به کم‌ترین دماهای ممکن به‌کار می‌روند. روش آن همان روش **وامغناطیدگی بی‌دررو**ست. برای به‌دست آوردن ایده‌ای از موضوع، به اثر مغناطیسی مربوط به اسپین الکترون نظری می‌اندازیم. هر الکترون مانند یک مغناطیس کوچک در نظر گرفته می‌شود که، در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی فقط می‌تواند دو جهت داشته باشد یا



شکل۵ ـ دستگاه در دمای مطلق منفی اگر بیشتر ذرات در تراز بالا باشند، دمای مطلق یک دستگاه منفی است.

همسو با میدان یا برخلاف آن. بدون یک میدان، «مغناطیس‌های الکترونی» به‌صورت کاتوره‌ای توزیع شده‌اند. انرژی هر دو حالت یکسان است بنابراین، احتمال داشتن هر جهتی یکسان است. اگر یک میدان خارجی به‌کار رود، انرژی حالت همسو، کمتر و انرژی حالت غیر همسو بیشتر می‌شود.

این پدیده برای سرد کردن مواد نمونه مناسب می‌تواند به‌کار رود. (خواص مغناطیسی ویژه مورد نیاز است). برای سرد کردن نمونه‌ای تا دمای هلیم مایع، علاوه بر غوطه‌ور کردن آن در هلیم مایع، به میدان مغناطیسی نیز نیاز داریم، رابطه(۱) می‌گوید اگر دو تراز انرژی متفاوت، ولی جمعیت یکسان داشته باشد در این صورت دما بی‌نهایت است. و این چیزی است که در اولین لحظه‌ها رخ می‌دهد. یعنی تعداد ذرات همسو با میدان با تعداد ذراتی که خلاف جهت میدان هستند یکسان است، بدون آن‌که انرژی این دو حالت در حضور میدان مغناطیسی خارجی یکسان باشد. در ضمن از انرژی بی‌نهایت نیز برای به‌دست آوردن دمای بی‌نهایت استفاده نکرده‌ایم. در واقع انرژی نمونه زیاد نمی‌شود، بلکه برعکس، چون دمایش بی‌نهایت است، دستگاه همان‌طور که حالت‌های غیرهمسو به همسو تغییر می‌یابند، انرژی از دست می‌دهد. انرژی به‌صورت گرما از نمونه به هلیم مایع منتقل می‌شود. و دمایش از بی‌نهایت به دمای حمام هلیم می‌رسد.

سپس نمونه از حمام هلیم جدا می‌شود و میدان مغناطیسی تا صفر کاهش می‌یابد. انرژی که به هلیم منتقل شده بود نمی‌تواند به نمونه بازگردد. بنابراین در این مرحله، در حالی که جمعیت غیر همسوها و همسوها به تدریج مساوی می‌شوند، نمونه سرد می‌شود. این نحوه رسیدن به کمترین دمای ممکنی است که تا کنون به‌دست آمده است.

دستگاه‌های با بیش از دو تراز انرژی

معمولاً دستگاه‌ها بیش از دو حالت برانگیخته دارند و بنابراین تراز انرژیشان بیش از دوتاست. آیا این دماها برای چنین دستگاه‌هایی نیز کاربرد دارند؟

اگر به حدود مدل دو ترازی دقت کنیم مفهوم دما روشن‌تر می‌شود. ابتدا، هر تراز می‌باید به حد کافی اشغال شود تا از افت‌وخیزهای کاتوره‌ای ذرات جلوگیری کند. به‌خاطر داشته باشید که دستگاه دینامیکی است، و ذرات پیوسته انرژی مبادله می‌کنند. بنابراین، در مدلی که در هر تراز تعداد کمی ذرات داشته باشیم، آن مدل با شکست مواجه می‌شود.

البته، رابطه بولتزمن داده شده برای دستگاه‌های چندترازی نیز برقرار است.

حالا می‌توان مفهوم تعادل گرمایی را روشن کرد:

یک دستگاه در تعادل گرمایی است، هرگاه تعداد ذرات در هر تراز انرژی از توزیع بولتزمن پیروی کند.

افت‌وخیزهای کاتوره‌ای موجب انحراف از این توزیع می‌گردد، اما هرچه افت و خیزها بزرگ‌تر باشد احتمالش نیز کم‌تر است. بنابراین در بیشتر اوقات، دستگاه به آن توزیع نزدیک است.

رابطهٔ $E_{kin} = \frac{3}{2}kT$ نشان می‌دهد که، در رابطه با بحث بالا، دمای محدود به معنای انرژی محدود است. در واقع تعداد ترازهای انتقالی بسیار زیاد و نزدیک به بی‌نهایت است. در دستگاهی با حجمی حدود یک سانتی‌متر مکعب تعداد ترازهای انتقالی بیشتر از مولکول‌هاست. بنابراین ترازهای انتقالی نمی‌توانند با مدل بالا توصیف شوند. ذرات آزادی که در حرکت انتقالیشان انرژی ذخیره می‌کنند نمی‌توانند دمای منفی کلوین داشته باشند.

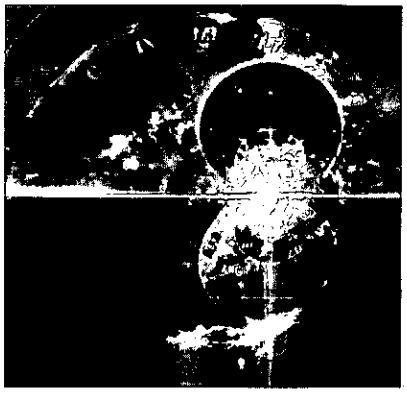
اگر دمای منفی‌ای را در فرمول بولتزمن قرار دهید، مقدار تابع به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. هر تراز انرژی باید بیشتر از تراز پایین‌ترش جمعیت داشته باشد. البته ممکن نیست که بتوان این نوع ترازها را نگه‌داشت. نتیجه‌ای که می‌گیریم این است که در دستگاه‌هایی که جمعیت وارون دارند، ترازها نمی‌توانند در تعادل گرمایی با سایر ترازهای همان دستگاه باشند. یعنی دمای مطلق منفی یک مقدار تعادلی نیست.

مراجع:

1. Kittle and Kromer, Thermal physics
2. N.F.Ramsey, "thermodynamics and statistical mechanics at negative absolute temperature," phys. Rev 103,20(1956).

اریک هاسلتاین
ترجمه : فرح مرادخانی ، عزیز خدادادی
دبیران فیزیک شهریار

پرسش‌های مطرح فیزیک در قرن جدید



مقاله زیر به ۱۱ پرسشی می‌پردازد که اکنون ذهن فیزیکدانان فعال را به خود مشغول داشته است ، به برخی از آن‌ها به احتمال زیاد در دهه آینده پاسخ داده خواهد شد .

۱ . ماده تاریک چیست؟

اختر شناسان نشان داده‌اند که اجسام موجود در عالم ، از کهکشان‌های یک میلیون بار کوچک‌تر از کهکشان ما تا بزرگ‌ترین خوشه‌های کهکشانی را نوعی ماده به یکدیگر می‌پیوندد که از جنس ماده‌ای نیست که ما از آن ساخته شده‌ایم و هیچ نوری از خود گسیل نمی‌دارد . این ماده احتمالاً از یک یا چند ذره بنیادی ناشناخته تشکیل شده است که تجمع آن‌ها ، جاذبه گرانشی تولید می‌کند ، که به تشکیل کهکشان‌ها و ساختارهای بزرگ مقیاس عالم انجامیده است . این ذرات ممکن است هم‌اکنون از آزمایشگاه‌های زمینی ما عبور کنند .

۲ . انرژی تاریک چیست؟

اندازه‌گیری‌های اخیر نشان می‌دهد که سرعت انبساط عالم ، به جای کند شدن ، در حال افزایش است . این نتیجه‌گیری با این ایده‌ی بنیادی که گرانی جاذبه است تناقض دارد . اگر این اندازه‌گیری‌ها تداوم داشته باشند ، نیاز به حضور شکلی از ماده به نام «انرژی تاریک» دارند که گرانی آن به جای جاذبه ، دافعه است . اندازه‌گیری مفصل‌تر آهنگ انبساط عالم ، می‌تواند مدل‌های نظری مناسب برای به‌حساب آوردن «انرژی تاریک» را مشخص کند .

۳ . عناصر سنگین‌تر از آهن تا اورانیم چگونه ساخته شده‌اند؟

شناخت دانشمندان از چگونگی تولید عنصرهای تا آهن در ستاره‌ها و ابرنواخترها نسبتاً کامل است ، اما منشأ دقیق عنصرهای

سنگین‌تر از آهن تا اورانیم به صورت معما باقی مانده است.

۴. آیا نوترینوها جرم دارند؟

علم کیهان‌شناسی بیان می‌کند که، نوترینوها باید در حال حاضر به فراوانی در عالم وجود داشته باشند. فیزیکدانان اخیراً شواهد و دلایل زیادی را یافته‌اند که نشان می‌دهد نوترینوها جرم مختصری دارند. حتی ممکن است علاوه بر سه نوترینو در مدل استاندارد فعلی انواع بیشتری از نوترینوها وجود داشته باشند.

۵. ذرات بسیار پرانرژی از کجا می‌آیند؟

فیزیکدانان انواع شگفت‌آوری از پدیده‌های مربوط به ذرات پرانرژی در عالم را ثبت کرده‌اند، این پدیده شامل باریکه‌هایی از ذرات باانرژی غیرمنتظره زیاد است که منشأ آن معلوم نیست. در آزمایشگاه شتابگرها می‌توان باریکه‌های ذرات پرانرژی را تولید کرد، اما انرژی این پرتوهای کیهانی بسیار فراتر از انرژی قابل حصول در زمین است.

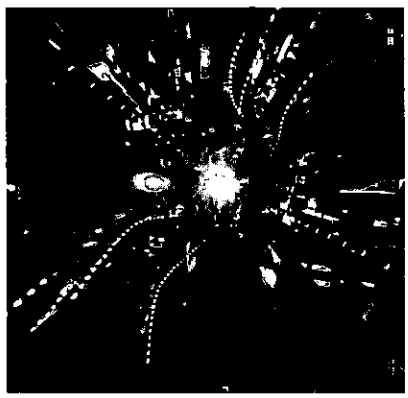
۶. برای توصیف رویدادها در انرژی‌ها و دماهای بسیار زیاد آیا به نظریه‌ی جدیدی از نور و ماده نیاز داریم؟

به نظر می‌رسد که ماده و تابشی که در آزمایشگاه آشکارسازی می‌شود را بتوان با قانون‌های مکانیک کوانتومی الکترومغناطیس و وحدت آن‌ها تحت عنوان الکترودینامیک کوانتومی، به خوبی توصیف کرد. عالم کنونی ما دارای مکان‌ها و اجسامی از قبیل ستاره‌های نوترونی و چشمه‌های فوران پرتو گاما است، که انرژی آن‌ها خیلی فراتر از حد نهایی انرژی است که می‌توان برای آزمودن این نظریه‌های بنیادی بر روی زمین تولید کرد.

۷. آیا در دماها و چگالی‌های فوق‌العاده زیاد حالت‌های تازه‌ای از ماده وجود دارد؟

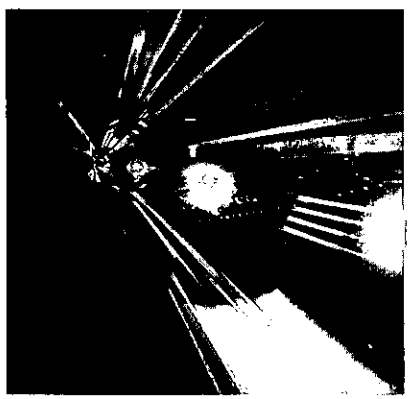
نظریه چگونگی شکل‌گیری هسته اتمی عناصر شیمیایی از پروتون‌ها و نوترون‌ها به‌خوبی گسترش یافته است. در چگالی‌ها و دماهای بسیار بالا، پروتون‌ها، و نوترون‌ها ممکن است حل شوند و به صورت سوپ «نامتمایزی» از کوارک‌ها و گلوئون‌ها درآیند که می‌توان در شتابگرهای یون ـ سنگین بررسی کرد. هنوز چگالی‌های زیادتری وجود دارند که می‌توان در ستاره‌های نوترونی و عالم اولیه بررسی کرد.

۸. آیا پروتون‌ها ناپایدارند؟



ماده‌ای که ما از آن ساخته شده‌ایم باقی‌مانده‌ی ناچیزی از نابودی ماده و پادماده‌ی ـ نه کاملاً به مقدار مساوی ـ در عالم آغازین است. وجود این عدم‌توازن کوچک ممکن است به این فرض مربوط شود که پروتون‌ها به عنوان ساده‌ترین شکل ماده، ناپایدارند، و برتری مختصر تشکیل ماده نسبت به پادماده در ذات قانون‌های فیزیک باشد.

۹. گرانی چیست؟



سیاهچاله‌ها در همه جای عالم موجودند، و گرانی شدید آن‌ها را می‌توان کاوید. آثار گرانی شدید در آغاز عالم پیامدهای قابل مشاهده دارد. نظریه‌ی اینشتین در این مورد باید به همان خوبی منظومه خورشیدی کار کند. نظریه‌ی کامل باید گرانی یا اثرهای کوانتومی را که نظریه گرانی اینشتین درنظر نگرفته است وارد کند یا توضیح دهد که چرا وجود آن‌ها لازم نیست.

۱۰. آیا ابعاد دیگری وجود دارند؟

به منظور توسعه‌ی نظریه اینشتین و شناخت سرشت کوانتومی گرانی، فیزیکدانان ذرات بنیادی وجود ابعاد فضا ـ زمان ورای ادراک ما را مطرح کرده‌اند. وجود این ابعاد می‌تواند استلزام‌هایی بر تولد و تحول تدریجی عالم داشته باشد، و در برهم‌کنش‌های ذرات بنیادی، و دگرگون شدن نیروی گرانی در فاصله‌های کوتاه تأثیر بگذارد.

۱۱. عالم چگونه آغاز شد؟

شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد در لحظه‌های اولیه، عالم انفجاری عظیم همراه با انبساط اضافی، معروف به تورم، صورت گرفته است، به طوری که منشأ بزرگ‌ترین اشیاء موجود در عالم در این کرک کوانتومی زیر اتمی بوده است. دلیل اساسی و فیزیکی این تورم یک معما است.

منبع:

http://www.pnl.gov/energyscience/01-02/11-questions/11questions.htm

(قسمت ششم)

ریشه‌یابی واژه‌های فیزیک

سیدجعفر مهرداد

۲۷ـ جریان‌پا

انگلیسی: rheostat

فرانسوی: rhéostat(m)

عربی: مقاوِم متغیر

«جریان‌پا» مقاومت الکتریکی متغیری است که مقدار آن را می‌توان به طور پیوسته تغییر داد.[۱]

متداول‌ترین «جریان‌پا» نوع فلزی آن است که به عنوان «جریان‌پای لغزنده» در آزمایشگاه‌های مدارس به کار می‌رود. «جریان‌پا»ی کربنی و الکترولیتی از انواع دیگر آن است.[۲] می‌توان با تغییر مقاومت یک «جریان‌پا»، شدت جریان برق در یک مدار را وارسی و مراقبت کرد.

rheostat [rheo + stat] :rheo واژه‌ی یونانی به معنی جریان (stream, current) و stat پسوند است و به یک معنی تنظیم و حفظ مقدار ثابت خاصی را در یک ابزار نشان می‌دهد.[۳]

در کتاب‌های فارسی معادل rheosta واژه‌های رئوستا، راوستا و مقاومت متغیر به کار رفته است.[۴] «جریان‌پا» (ی) [= جریان پاینده] صفت فاعلی مرکب و مرخّم است. مرخّم به معنی دم‌بریده است. در دستور زبان کلمه مرخم آن است که حرفی یا حروفی از آخر آن بیندازند. پاینده اسم فاعل با صفت فاعلی پایيدن به معنی مواظبت کردن، در نظر داشتن، ثابت ماندن، رصد کردن و... است. هرگاه اسم فاعل با کلمه‌ی دیگری ترکیب شود اسم فاعل مرکب می‌سازد و علامت فاعلی «نده» از آخر آن می‌افتد مانند دیرپا (ی) [= دیر پاینده] به معنی پایدار، بادوام، که بسیار پاید و خانه‌پا (ی) [= خانه پاینده] به معنی آن که از خانه محافظت کند، سرای‌دار و راه‌پیما (ی) [= راه پیماینده] به معنی راه‌رونده، مسافر.[۵]

۲۸ـ دماپا

انگلیسی: thermostat

فرانسوی: thermostat(m)

عربی: منظِم حراری

دماپا، ابزاری است که به طور خودکار دما را ثابت نگه می‌دارد. دماپای برقی برای تنظیم دمای اتوی برقی یا آب‌گرمکن برقی یا دمای اتاقی که به وسیله بخاری برقی گرم می‌شود و مانند این‌ها به کار می‌رود. این‌گونه دماپا معمولاً از دو نوار فلزی مختلف میخ‌پرچ شده ساخته شده است به علت تفاوت ضریب انبساط دو فلز، دو نوار فلزی میخ پرچ شده بر اثر گرما به تدریج خم و در لحظه معینی موجب قطع مدار برق می‌شوند و با سرد

شدن دو نوار فلزی به حالت اول برمی‌گردند و بر اثر قطع و وصل مدار برق دما ثابت می‌ماند.[1]

thermo : [thermo+stat] thermostat

واژه یونانی thermos به معنی گرماست.[2] در کتاب‌های درسی معادل thermostat «دماپا» اختیار شده است. (رجوع شود به ۲۷ـ جریان پا) دما معادل temperature «کمیتی که معرف انرژی جنبشی متوسط مولکول‌های جسم است».[3]

در کتاب‌های فارسی به جای thermostat گرمش پا، گرمش وان، دماپای نیز به کار رفته است.[2]

۲۹ـ دماسنج

انگلیسی : Thermometer

فرانسوی : Thermomètre(m)

عربی : ترمومتر، محرار

دماسنج براساس خاصیتی از جسم که با گرما تغییر می‌کند درست شده است و برای اندازه‌گیری «دما» به کار می‌رود و انواع مختلف دارد. دماسنج پزشکی متداول‌ترین نوع آن است.[1]

دماسنج معادل [thermo+meter] thermometer و به‌جای thermo «دما» و meter «سنج» اختیار شده است. (رجوع شود به دماپا و الکترومتر)

به جای thermometer در کتاب‌های فارسی واژه‌های دماسنج، میزان‌الحراره، ترمومتر، گرماسنج، گرمازینه‌سنج، تف‌سنج، زینه‌سنج، گرمش‌سنج، گرمه‌سنج، گرمش‌زینه‌سنج، زینه‌سنج گرما، حرارت‌سنج و... به کار رفته است.[2]

۳۰ـ ترمودینامیک

انگلیسی : thermodynamics

فرانسوی : thermodynamique(f)

عربی : الدینامیکا الحراریه

ترمودینامیک شاخه‌ای از علم فیزیک است که به بررسی رابطه گرما و صورت‌های دیگر انرژی می‌پردازد.[1]

[therm+dynamics]

thermodynamics اسم و به صورت جمع است و معمولاً با فعل مفرد به کار می‌رود. thermodynamic صفت و معادل آن «ترمودینامیکی» و therm یا thermo به معنی گرماست.[2] dynamics دینامیک یا پویایی شناسی شاخه‌ای از علم مکانیک است که به مطالعه حرکت جسم یا مجموعه‌ای از اجسام هنگامی که تحت تأثیر نیرو یا نیروهای خارجی هستند می‌پردازد.[3] در کتاب‌های فارسی معادل واژه thermodynamics «گرماپویایی» نیز به کار رفته است.[4] پویایی حاصل مصدر، حالت و چگونگی پویاست و پویا به معنی رونده صفت فاعلی پوییدن به معنی رفتن است.[5]

۳۱ـ مُبَدِّل، ترانسفورماتور

انگلیسی : transformer

فرانسوی : transformateur(m)

عربی : مُحَوِّل

مُبَدِّل یا ترانسفورماتور دستگاهی است که معمولاً جریان متناوب را بدون تغییر بسامد به جریان متناوب دیگری با اختلاف پتانسیل و شدت جریان متفاوت تبدیل می‌کند.[1]

در انگلیسی فعل transform (to) به معنی دگرگون کردن، تبدیل کردن و transformer اسم و به معنی تبدیل‌کننده است. معادل آن‌ها در زبان فرانسوی به ترتیب فعل transformer و اسم transformateur است. transformer از واژه لاتین trans به معنی از این سو به آن سو، سرتاسر، پس از... و واژه formare به معنی شکل دادن و ایجاد کردن به دست آمده است.[2] در تداول عامه ترانسفورماتور را به خطا ترانسفورموتور تلفظ می‌کنند.

در کتاب‌های فارسی معادل مبدّل، ترانسفورماتور واژه‌های ترادپسنده، ترادیسا، تبدیل‌کننده، تراسان، تراسانا، تراسانگر، تراساننده، تراسانه، تراوردان، ترانسفورمر، نیز به کار رفته است.[3] فرهنگ واژگان انگلیسی به فارسی دکتر محمود حسابی واژه (to)transform را ترادیسیدن معنی کرده است.

زیرنویس جریان‌پا:
۱. واژه‌های مصوب فرهنگستان دفتر اول
۲. مرجع ۲ ذیل واژه رئوستا
۳. مرجع ۱۱ـ ب و ج
۴. مرجع ۶ـ الف، واژگان برق مرکز نشر دانشگاهی
۵. مرجع ۱ و ۴

زیرنویس دماپا:
۱. مرجع ۲ و ۳
۲. مرجع ۱۱
۳. واژه‌های مصوب فرهنگستان ـ دفتر دوم
۴. واژگان برق مرکز نشر دانشگاهی

زیرنویس دماسنج:
۱. مرجع ۲ و ۳
۲. مرجع ۶ـ الف و واژگان برق مرکز نشر دانشگاهی

زیرنویس ترمودینامیک:
۱. واژه‌های مصوب فرهنگستان، دفتر اول
۲. مرجع ۱۱
۳. واژه‌های مصوب فرهنگستان، دفتر اول
۴. مرجع ۶ـ الف
۵. مرجع ۱ و ۴

زیرنویس مبدّل، ترانسفورماتور:
۱. واژه‌های مصوب فرهنگستان، دفتر اول
۲. مرجع ۱۱ـ الف
۳. مرجع ۶ـ الف، واژگان برق مرکز نشر دانشگاهی

جهان دانش هسته‌ای

گردآوری: ماهان صابری

ردیاب‌های کشاورزی

ردیاب‌ها مانند آن‌هایی که در پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد برای مطالعه گیاهان و نحوه جذب کودها در کشاورزی نیز به کار می‌روند. استفاده از ردیاب‌ها به دانشمندان و کشاورزان اجازه می‌دهد تا استفاده از کودها و علف‌هرزکش‌های شیمیایی را بهینه‌سازی کنند. بهینه‌سازی این مواد شیمیایی مطلوب است چرا که سبب صرفه‌جویی مالی می‌شود و آلودگی شیمیایی را کاهش می‌دهد. هنگامی که کودها به مقدار بسیار زیاد مورد استفاده قرار گیرند مقداری اضافه باقی می‌مانند و رودخانه‌های اطراف را آلوده می‌سازند. همچنان که ممکن است به سفره‌آب زیرزمینی تراوش کنند و منابع آب را آلوده سازند. برای جلوگیری از این امر، تحقیقات به سوی یافتن مقدار بهینه مواد شیمیایی مورد نیاز با کودها و علف‌هرزکش‌هایی که معمولاً به‌وسیله رادیوایزوتوپ‌های نیتروژن ۱۵ یا فسفر ۳۲ نشاندار شده‌اند هدایت می‌شوند. این رادیوایزوتوپ‌ها در محصولات بررسی می‌شوند تا مشخص شود چه میزان از مواد شیمیایی اصلی در مقایسه با مقدار داده شده حقیقتاً به‌وسیله گیاهان مصرف شده است.

تابش یونندگی ناشی از رادیوایزوتوپ‌ها هم‌چنین برای فرآوری محصولاتی که خشک‌تر هستند و مقاومت در برابر بیماری و همین طور محصولاتی با زیادتر یا زمان رشد کوتاه‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این تجربه‌ها برای دهه‌ها اتفاق افتاده است و به تأمین غذای برخی از کشورهای جهان سوم کمک کرده است محصولاتی که با تابش اصلاح شده‌اند شامل گندم، ذرت، موز و لوبیا می‌شود.

کنترل حشرات

حدود ۱۰٪ محصولات دنیا را حشرات نابود می‌کنند. در تلاش برای کنترل آفت‌های حشرات، اولیای امور معمولاً حشرات عقیم پرورش یافته در آزمایشگاه را در حیات وحش آزاد می‌کنند. این حشرات با تابش یونندگی عقیم شده‌اند. آن‌ها قبل از تخم‌گذاری در معرض این تابش قرار گرفته‌اند.

حشرات ماده که با حشرات نر عقیم شده جفت‌گیری کنند قادر به تولیدمثل نیستند و در نتیجه جمعیت مخرب حشرات می‌تواند به سرعت تحت کنترل درآید. این شیوه رهاسازی حشرات عقیم در حیات وحش که روش عقیم‌سازی حشره نامیده می‌شود (SIT) به‌طور متداول در حفاظت از صنایع کشاورزی در بسیاری از کشورها در گوشه و کنار جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ملاحظه شده است که این روش ایمن‌تر و بهتر از حشره‌کش‌های شیمیایی متداول است.

حشرات می‌توانند در برابر این مواد شیمیایی مقاوم شوند و جنبه‌های ایمنی درباره محصولات درمان شده با آن‌ها وجود دارد. بزرگ‌ترین کاربرد این روش تا کنون در مکزیک علیه کرم میوه‌ی مدیترانه‌ای و کرم پیچکی در ۱۹۸۱ بود. این روش به شدت موفق بود و طی ۱۰ سال آتی برنامه ریشه‌کنی به حدود ۳میلیون‌دلار سود اقتصادی برای کشور انجامید.

روش عقیم‌سازی حشره(SIT)[1] در برخی کشورها با حمایت سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) و سازمان بین‌المللی انرژی اتمی (LAEA) اجرا می‌شود.

استرالیا یک تولید کننده بزرگ بسیاری از میوه‌ها است و تا ۲۵میلیون شفیره کرم میوه را در هفته عقیم می‌کند.

فرآوری و نگه‌داری غذا

تابش یونندگی به عنوان یک جایگزین مواد شیمیایی در فرآوری و نگه‌داری غذاها به‌کار می‌رود. برای اولین‌بار یک دانشمند فرانسوی در سال‌های ۱۹۲۰ کشف کرد که تابش می‌تواند برای ماندگاری قفسه‌ایی غذا مورد استفاده قرار گیرد و از این موضوع به صورت بسیار گسترده‌ای در جنگ جهانی دوم استفاده شد. امروزه، فضانوردان هنگامی که در مأموریت‌های فضایی هستند اغلب غذای نگه‌داری شده توسط تابش می‌خورند در گوشت‌ها و دیگر غذاها با منبع حیوانی، تابش، باکتری‌هایی که سبب فساد و همچنین بیماری مانند مسمومیت سالمونلا می‌شود را از بین می‌برد.

این امر به یک منبع غذایی سالم‌تر و گوشت‌هایی منجر می‌شود که می‌تواند قبل از فاسد شدن برای مدت بیشتری انبار شود، علاوه بر آن، تابش مانع رشد غده‌هایی می‌شود که سبب رسیدن میوه و سبزیجات می‌شود. نتیجه این امر تازگی میوه‌ها و سبزی‌هایی است که می‌تواند برای مدت زیادتری قبل از رسیدن انبار شود.

روش تابش مخصوصاً زمانی که صادرات به کشورهایی با آب و هوای استوایی صورت می‌گیرد، که در آن غذاها به علت گرمای هوا به راحتی فاسد می‌شود مهم است.

تابش بر غذا با استفاده از الکترون‌های شتاب داده شده (تابش بتا) و تابش‌های یونندگی ناشی از چشمه‌هایی همچون رادیوایزوتوپ‌های

هدف	دز تابش (kGy)
مانع از رسیدن میوه و سبزی می‌شود. سبب کنترل برخی باکتری‌ها در گوشت می‌شود. سبب کنترل حشرات در دانه‌ها می‌شود.	کم، تا ۱kGy
باکتری‌های موجود در گوشت شامل: سالمونلا، شیگلا، کپیلو باکترویرسینا را از بین می‌برد، مانع تولید کپک بر روی میوه می‌شود.	متوسط، ۱۰-۱ kGy
حشرات و باکتری‌ها را در ادویه‌ها از بین می‌برد. غذاها را به همان میزانی که توسط گرما استریل می‌شوند، استریل می‌کند.	زیاد، بیشتر از ۱۰ kGy

کبالت ۶۰ و سزیم ۱۳۷ انجام می‌شود. پرتوهای X نیز گاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هیچ یک از این چشمه‌های تابش که مورد استفاده قرار گرفت انرژی کافی برای پرتوزا کردن غذاهای در معرض تابش را ندارد.

جدول زیر دزهای معمولی تابش که برای بهبود غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد.

در دستگاه فرآوری غذا یک تسمه نقاله یا دستگاهی شبیه آن قرار دارد که غذا را به چشمه‌ی تابش منتقل می‌کند، بنابراین کارگران مجبور نیستند تا نزدیکی چشمه‌ی تابش حرکت کنند.

دستگاه در یک شکل مداد مانند در ابعاد ۱ سانتی‌متر بسته‌بندی شده است اتاقی که تابش در آن صورت می‌گیرد توسط دیوارهای سیمانی محافظت می‌شود تا مانع از فرار تابش به محیط زیست شود، اگرچه خطر این تابش به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از تابش یک راکتور هسته‌ای است.

وقتی تابش گرما از یک چشمه‌ی رادیوایزوتوپی مورد استفاده قرار گیرد، رادیوایزوتوپ تا زمانی که مورد استفاده نیست، برای کمک به جلوگیری از فرار تابش در یک استخر آب نگه‌داری می‌شود. اگرچه این دستگاه در بسیاری از موارد شبیه دیگر موارد است، خنک‌سازی همچنان مهم است.

هیچ پردازشی نمی‌تواند غذا را کاملاً از فساد حفظ کند دستگاه‌های فرآوری غذا از این دست به دقت توسط مقامات بهداشت و ایمنی شغلی دولت تحت نظارت قرار دارند تا برای این‌که از شرایط کار ایمن برای کارمندان و همچنین ایمنی برای ساکنان اطراف اطمینان حاصل شود. تابش بر غذا فرآیندی به خوبی آزمایش شده است. دانشمندان تحقیقات زیادی در دهه‌های اخیر انجام داده‌اند و این امر نشان داده است که تابش سبب تغییرات عمده شیمیایی در غذاها که ممکن است بر سلامتی انسان اثر بگذارد، نمی‌شود. همچنین این امر سبب آسیب‌هایی که ارزش غذایی را تحت تأثیر قرار دهد، نمی‌شود. (پس‌ماندهای شیمیایی باقی مانده از تابش غلظت‌هایی برابر ۳ قطره در یک استخر شنا دارند. نگه‌دارنده‌ها و مواد فرآوری شیمیایی معمولاً پس‌ماندهای بیشتری به جا می‌گذارند.) مزه این غذاها معمولاً تغییر نمی‌کند. سازمان بهداشت جهانی و مقامات ایمنی غذا در بسیاری از کشورها تابش را به عنوان یک روش ایمن برای بهبود و نگه‌داری غذا تصویب کرده‌اند.

امروزه روش فرآوری تابشی غذا به طور چندان گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. به رغم شواهد و توافق‌های علمی، بسیاری از سازمان‌های فعال ادعا می‌کنند که تابش ناایمن است و اطلاعات عمومی اندکی را به کار می‌گیرند و نسبت به ایمنی غذایی و مسائل هسته‌ایی ابراز نگرانی می‌کنند.

حتی برخی از آن‌ها می‌گویند تابش راهی برای استفاده‌ی دولتمردان از تفاله‌های هسته‌ایی باقی‌مانده از آزمایش تسلیحات یا تولید نیروست!! (اگرچه تفاله‌های باقی مانده نمی‌تواند در پردازش غذا مورد استفاده قرار گیرند، چرا که آن‌ها تابش یوننده‌ی مناسب را تأمین نمی‌کنند) در نتیجه این شیوه ترس‌آور، سبب ترس عموم شده است و برخی تولیدکنندگان مواد غذایی نسبت به استفاده از تابش به سبب ترس از تحریم مصرف کنندگان بی‌میل هستند. اگرچه یک نظرسنجی جدید که در اواسط سال ۱۹۹۸ توسط انجمن بازاریابی غذا (یک مؤسسه، ایالات متحده) صورت گرفت نشان داد که کمتر از یک درصد افراد نظرسنجی شده تابش را مایه نگرانی می‌دانند. اکثریت گفتند که فساد و خطرات میکروبی نگرانی بزرگ‌تری نسبت به تابش است. پژوهشی دیگر به‌وسیله یک موسسه آشکار ساخت که حدود ۹۹٪ مصرف‌کنندگان بعد از این‌که اطلاعات پزشکی و نمونه‌های غذاهای در مصرف تابش را دیدند مشتاق به خرید غذاهایی شدند که در معرض تابش قرار گرفته بود. چرا که به هیچ اثر جانبی حساسیت‌زایی نمی‌انجامد. همچنین این روش بهتر از استریل کردن توسط گرما است چرا که تابش، مواد مغذی و ویتامین‌ها را برخلاف روش گرمایی از بین نمی‌برد.

روش تابش گران نیست، هر کیلوگرم از غذایی که در معرض تابشی قرار گرفته معمولاً هزینه‌ایی حدود ۱ سنت دارد. حدود ۴۰ کشور جهان اجازه تابش بر مواد غذایی را می‌دهند. وابسته به کشور، غذاهای در معرض تابش ممکن است نیاز به برچسب زدن داشته باشند.

قرنطینه و صادرات

تابش یوننده برای جدا کردن انگل‌ها و سوسک‌ها قبل از صدور آن‌ها به خارج از یک کشور به‌کار می‌رود. این روش در استرالیا برای پاکسازی محصولات اولیه مانند پشم خام و چوب برای صادرات به کار می‌رود.

این روش به طور جهانی در بایگانی، حمل‌ونقل و وسایل تاریخی به کار برده می‌شود. این روش از آن جهت سودمند است که هر میکروارگانیسم زنده در کاغذ که سبب خرابی کاغذ می‌شود را از بین می‌برد.

زیرنویس:

1. sterile insect technique

آموزشی

چند مسأله‌ی جالب و نقد و نظر

محمد نادری
mazjin59@gmail.com

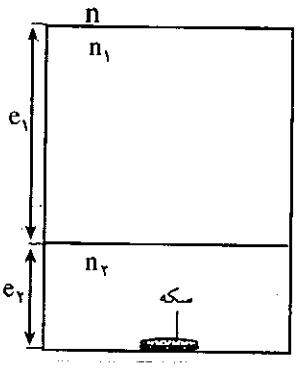
عمق ظاهری

«عمق ظاهری» در کتاب‌های درسی فیزیک در ساده‌ترین شکل آن مطرح می‌شود، بدین صورت که تنها دو محیط شفاف در نظر گرفته می‌شود که ناظر در یک محیط و جسم یا شیء مورد مشاهده در محیط دیگر قرار دارد. در این نوشته رابطه‌ای برای عمق ظاهری و حقیقی در حالتی که چند محیط شفاف بین ناظر و جسم وجود دارد، مطرح می‌شود.

فرض کنید مطابق شکل (۱) ظرفی داریم که از دو مایع شفاف مخلوط نشدنی پر شده است. در ته این ظرف سکه‌ای قرار دارد. اگر به‌طور عمودی به این ظرف نگاه کنیم، سکه را در چه عمقی می‌بینیم؟

برای حل این مسأله، مطابق شکل (۲) فرض می‌کنیم که ما در محیطی به ضریب شکست n قرار داریم. $n_1 > n_2$ و $n_1 > n$ و $n_2 > n$.

دو پرتو از سکه رسم می‌کنیم که پس از گذشتن از محیط‌های شفاف به چشم ناظر می‌رسد، اما چشم‌ناظر محل سکه را بالاتر از محل واقعی آن می‌بیند. چشم ناظر محل «تصویر اصلی» را به‌عنوان محل واقعی سکه متصور می‌شود. آنچه در شکل (۲) با عنوان «تصویر فرعی» مشاهده می‌شود، محل سکه است. اگر چشم‌ناظر از محیط شفاف n_1 به سکه نگاه می‌کرد. در این حالت فاصله‌ی «تصویر فرعی» از محل واقعی سکه یعنی «x» برابر است با $e_2(\frac{n_1}{n_2} - 1)$.



شکل (۱)

از طرفی با فرض اینکه زاویه‌های i و r بسیار کوچک باشند، داریم:

$$\frac{\sin i}{\sin r} \sim \frac{\mathrm{tg}i}{\mathrm{tg}r} = \frac{h'}{e_1 + e_2 + x} \qquad (۱)$$

و نیز بنا به رابطه‌ی اسنل- دکارت

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n}{n_1} \qquad (۲)$$

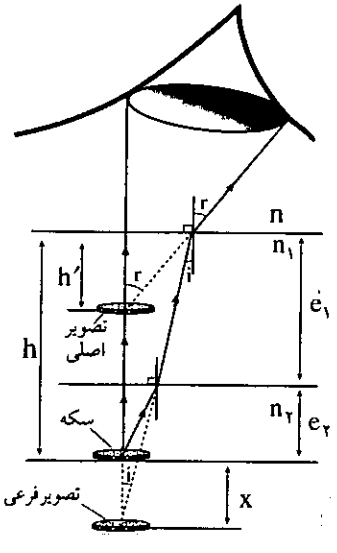
حال از دو رابطه‌ی (۱) و (۲) و با جایگذاری مقدار x خواهیم داشت:

$$\frac{h'}{e_1 + e_2 + e_2(\frac{n_1}{n_2} - 1)} = \frac{n}{n_1}$$

$$\Rightarrow h' = n(\frac{e_1}{n_1} + \frac{e_2}{n_2}) \qquad (۳)$$

می‌توان نشان داد که در حالت کلی اگر چندین محیط شفاف و یا چندین تیغه بر روی هم قرار داشته باشند، عمق ظاهری از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$h' = n(\frac{e_1}{n_1} + \frac{e_2}{n_2} + \frac{e_3}{n_3} + \cdots + \frac{e_n}{n_n})$$

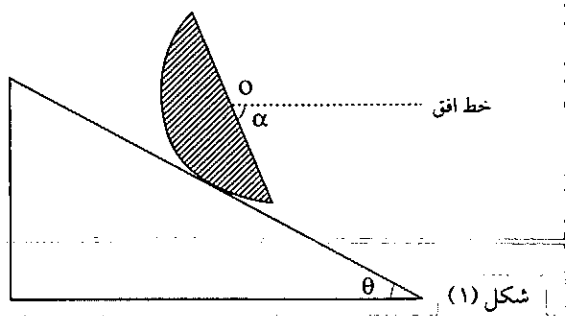


شکل (۲)

که در آن n ضریب شکست محیطی است که ناظر در آن قرار دارد و e_1 ، e_2 و... ضخامت و n_1 ، n_2 و... ضریب شکست دیگر محیط‌های شفاف هستند. شما می‌توانید رابطه‌ی (۳) را برای حالتی که $n > n_1 > n$ باشد، و سایر حالت‌ها به‌دست آورید.

مسأله‌ای در تعادل

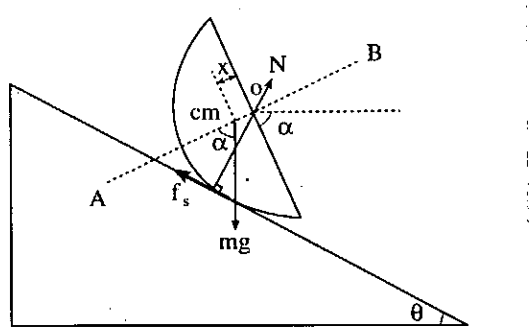
مطابق شکل ۱، نیم استوانه‌ای بر روی سطح شیب‌داری به حالت تعادل قرار دارد. می‌خواهیم زاویه‌ی α «زاویه‌ی بین خط برش و خط افق» را بر حسب زاویه‌ی θ سطح شیبدار تعیین کنیم. (فرض کنید نیم‌استوانه توپر است)



شکل (۱)

مطابق شکل ۱، سطح مقطعی از این نیم‌استوانه را در نظر می‌گیریم. به‌طور کلی شیوه‌ی حل مسایل استاتیک روشن است. ۱) باید نیروهای وارد بر جسم در حال تعادل همدیگر را خنثی کنند، ۲) گشتاور کل این نیروها حول هر نقطه جسم صفر است. چون که نیم‌استوانه اجتماعی از بی‌نهایت نیم‌دایره است، برای سهولت یکی از این نیم‌دایره‌ها (نیم‌دایره سطح مقطع) را انتخاب می‌کنیم.

در شکل ۲ نیروهای وارد بر نیم‌دایره رسم شده‌اند:

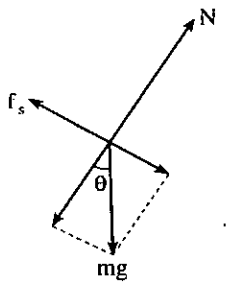


شکل (۲)

همانطور که می‌بینیم بر نیم‌دایره سه نیرو وارد می‌شود:

۱ـ نیروی عمودی تکیه‌گاه، $\vec{N}$ که امتداد آن از مرکز «o» می‌گذرد. توجه داریم که شعاع دایره بر مماس بر دایره همواره عمود است.

۲ـ نیروی وزن، $m\vec{g}$ که بر مرکز جرم نیم‌دایره یعنی نقطه‌ی



شکل (۳)

cm وارد می‌شود.

۳ـ نیروی مماسی اصطکاک $\vec{f}_s$.

دو زاویه‌ای که اضلاع آن‌ها بر هم عمود است با هم برابرند و بنابراین زاویه‌ی بین خط AB و $m\vec{g}$ همان زاویه‌ی α است. شرط‌های تعادل برای این مسأله به شرح زیر است.

شرط اول: هر سه نیرو را از یک نقطه رسم می‌کنیم. با تجزیه‌ی $m\vec{g}$ در راستای دو نیروی دیگر (شکل ۳) برآیند نیروهای وارد بر جسم در حال تعادل صفر است و داریم:

$$\begin{cases} N = mg\cos\theta \\ f_s = mg\sin\theta \end{cases} \qquad (۱)$$

شرط دوم: گشتاور این نیروها را نسبت به نقطه‌ی «o» حساب می‌کنیم. در این صورت گشتاور نیروی $\vec{N}$ نسبت به این نقطه صفر خواهد بود. چون جسم در حال تعادل است باید مجموع گشتاورها حول هر نقطه جسم صفر باشد. چون این جمع یک جمع برداری است، عبارت بالا معادل با تساوی مقدار گشتاور دو نیروی $m\vec{g}$ و $\vec{f}_s$ حول نقطه‌ی «o» است:

$$\tau_{f_s} = \tau_{mg} \Rightarrow f_s a = mgx\sin\alpha \qquad (۲)$$

«x» فاصله‌ی نقطه‌ی «cm» از نقطه‌ی «o» و «a» شعاع نیم‌دایره است.

حال از رابطه‌های (۱) و (۲) نتیجه می‌شود:

$$mgx\sin\theta = \frac{mgx\sin\alpha}{a}$$

$$\Rightarrow \sin\alpha = \frac{a\sin\theta}{x} \qquad (۳)$$

«x» را برای یک صفحه‌ی نیم‌دایره‌ای می‌توان از رابطه‌ی مرکز جرم محاسبه کرد:

$$x = \frac{۴}{۳}\frac{a}{\pi} \qquad (۴)$$

از (۳) و (۴) نتیجه می‌شود:

$$\boxed{\sin\alpha = \frac{۳\pi}{۴}\sin\theta}$$

نکته: روش دیگر حل این مسئله از راه کمینه کردن انرژی پتانسیل نیم‌استوانه است.

نقد و نظر

مقاله‌ی «خطاهای رایج در فیزیک»، ص ۱۶، ش ۷۵

موضوع این نوشته برایم خیلی جالب بود. من در این‌جا می‌خواهم همان مطلب را به شیوه‌ی خودم دوباره‌نویسی کنم:

اولاً؛ فاصله‌ی x، مسافتی است که آب خروجی با سرعت v و در مدت زمان t می‌پیماید؛ یعنی داریم:

$$x = vt \qquad (1)$$

حال v و t را پیدا کرده و در (۱) جایگزین می‌کنیم. با استفاده از پایستگی انرژی و یا معادله‌ی برنولی برای سرعت خروج آب از شکاف داریم:

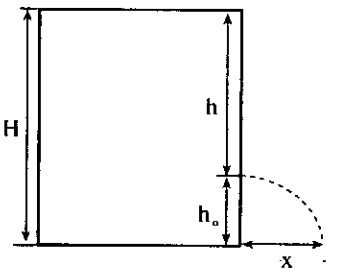
$$v = \sqrt{2gh} \qquad (2)$$

که h ارتفاع مایع بالای شکاف است. مدت زمان t هم در واقع همان مدت‌زمان سقوط آزاد از ارتفاع h_0 است؛ یعنی:

$$t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}} \qquad (3)$$

با جایگزین کردن (۲) و (۳) در (۱) داریم:

$$\boxed{x = 2\sqrt{hh_0}}$$



همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مقدار h و h_0 همزمان در مقدار x مؤثرند. از بهینه‌سازی در ریاضیات می‌دانیم که حاصل ضرب دو متغیر که مجموع آن‌ها مقدار مشخصی است، زمانی بیشینه است که آن‌دو متغیر با هم هم‌اندازه باشند. درنتیجه شکافی که به ازای آن $h = h_0$ باشد، دارای بیشترین x خواهد بود.

مقاله‌ی «مقایسه‌ی زمان سقوط آزاد و...»، ص ۶۲، ش ۷۵

به نظر من اگر نکته‌های زیر در نظر گرفته می‌شد، این نوشته زیباتر و کامل‌تر می‌شد.

۱ـ نیازی به به‌دست آوردن سرعت از معادله‌ی مستقل از زمان در متن مقاله نیست. چون با آن کاری نداریم.

۲ـ اشکال اصلی به این نوشته زمانی وارد است که خود نویسنده پرسشی را مبنی بر ثابت بودن D و به‌دست آوردن کمینه‌ی زمان مطرح می‌کند. باید نویسنده یکی از دو راه زیر را انتخاب می‌کرد:

الف) از زمان محاسبه شده در هر دو قسمت یعنی $t = \sqrt{\frac{2h}{g\sin^2\alpha}}$ شروع می‌کرد و به جواب می‌رسید. بدین صورت که به‌جای h که دیگر ثابت نیست، معادل آن یعنی $D\tan\alpha$ قرار می‌داد:

$$t = \sqrt{\frac{2D\tan\alpha}{g\sin^2\alpha}} = \sqrt{\frac{4D}{g\sin 2\alpha}}$$

ب) نویسنده با توجه به عنوان مقاله، برای به‌دست آوردن جواب فقط از اطلاعات قسمت اول (محور y عمود بر سطح) استفاده کرده است. بهتر بود برای جلوگیری از سردرگمی اشاره‌ای هم به جواب زیر می‌شد که از اطلاعات قسمت دوم (محور y قائم) استفاده شده است:

$$h = \frac{1}{2}(g\sin^2\alpha)t^2 \Rightarrow D\tan\alpha = \frac{1}{2}(g\sin^2\alpha)t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{4D}{g\sin 2\alpha}}$$

مقاله‌ی «رویکردی دیگر به معادله‌های سینماتیکی»، ص ۲۱، ش ۷۵

این مقاله آزمایش‌های جالبی را مطرح می‌کند. اما اگر منظور نویسنده استفاده از آن‌ها برای تدریس در کلاس دوم دبیرستان باشد، کارایی نخواهد داشت. البته بنا به دلیل‌های زیر:

۱ـ کمبود زمان. تمام مراحل حتی رسم نمودارها را باید در کلاس انجام داد. همانند برنامه‌های تلویزیونی (برنامه‌های آشپزی) که نمی‌توان از قبل بعضی قسمت‌ها را تدارک دید که با وقت کلاس درس هماهنگ نیست.

۲ـ خطای فراوان. دانش‌آموز مثالی بدون خطا می‌خواهد.

۳ـ استفاده از وسایل نامتعارف. کبریت و آتش یا زنگ اخبار باعث می‌شوند دانش‌آموز از نتیجه‌ی اصلی دور شود.

۴ـ ناهمخوانی با توان و سطح ریاضیات دانش‌آموزان. مطمئناً رسم نمودار و تحلیل آن با درک و قدرت ریاضی دانش‌آموزان خیلی سازگار نیست.

۵ـ نرم‌افزارهای کامپیوتری و فیلم‌های آموزشی با کیفیت اثری شگرف در یادگیری دارند، همچنین سایت‌های اینترنتی فارسی هستند که این مباحث را به‌خوبی بیان کرده‌اند.

۶ـ نکته آخر اینکه مؤلف در داخل متن صحبت از مثالی در کتاب «دوره درسی فیزیک» کرده (فتیله‌ی کندسوز)، که این مثال باعث شده این آزمایش‌ها را انجام دهند. اما باید توجه کرد که کتاب مزبور قبل آن حرکت با سرعت ثابت را درس داده و سپس به‌عنوان تمرین آن مثال را آورده است. اگر منظور نویسنده مقاله این است که ما از این مثال شروع کنیم و به سرعت ثابت برسیم، سعی ما بیهوده خواهد بود.

۷ـ در سطح دانشگاه این آزمایش‌ها می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

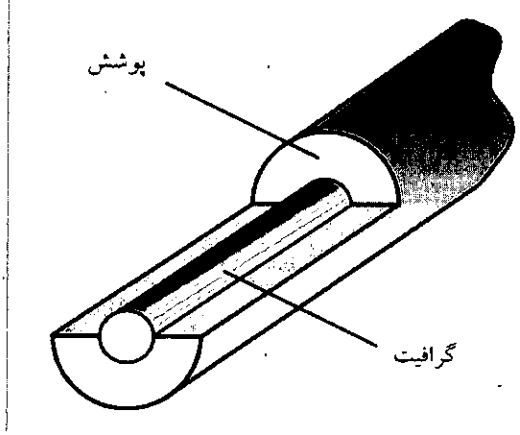
مداد گرافیتی انعطاف‌پذیر، جزء مشخصی از پیمانه‌ی مقاومتی کرنش را تشکیل می‌دهد

استانیسلاو بندارک
ترجمه: نازیلا نیازی
دبیر فیزیک منطقه‌ی ۲ تهران

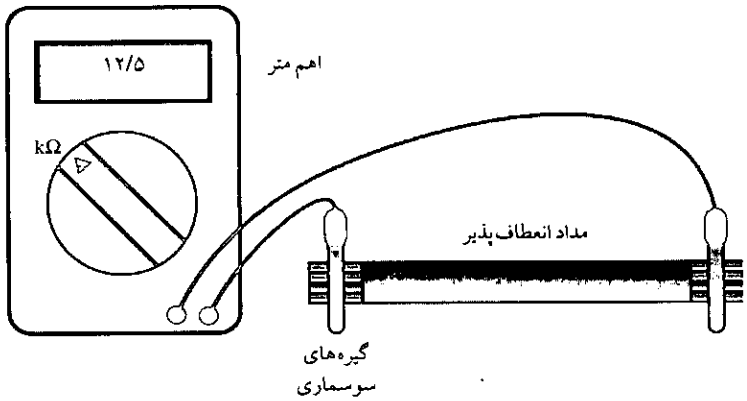
پیمانه‌های مقاومتی کرنش، حسگرهایی هستند که برای اندازه‌گیری تنش یا کشیدگی جامدات مورد استفاده قرار می‌گیرند. این اندازه‌گیری‌ها بر اساس تغییرات مقاومت یک رساناست که با جسم جامد درهم فشرده شده است.

در نظر گرفتن عناصر و مواد مختلف ماشین در استفاده از پیمانه‌های مقاومتی کرنش اهمیت علمی داشته و کاربرد وسیعی در فناوری دارد. بنابراین بد نیست دانش‌آموزان را با اساس کار پیمانه‌های مقاومتی کرنش آشنا کرد. مدادهای انعطاف‌پذیر که می‌توانند خم یا فشرده شوند را می‌توان از فروشگاه‌ها تهیه کرد. این مدادها می‌توانند برای نشان دادن نحوه‌ی کار یک پیمانه‌ی مقاومتی کرنش مورد استفاده قرار گیرند. مدادهای انعطاف‌پذیر از یک گرافیت کشسان ساخته شده‌اند (ترکیبی متشکل از پودر گرافیت و یک ماده‌ی متصل کننده) که پوشش پلاستیکی کشسانی آن را در برگرفته است. مقاومت گرافیت در طول یک مداد ۳۰ سانتی‌متری حدود ۱۲kΩ است.

دو سر مداد را با از بین بردن و برداشتن نوک تیز آن و پاکنی که در پوشش فلزی است (در صورت وجود) آماده می‌کنیم. حدود ۱cm از پوشش خارجی پلاستیکی را در دو سر مداد برمی‌داریم به طوری که قسمت بالایی گرافیت نمایان شود (شکل ۱). مداد را با



شکل ۱ـ گرافیت داخل مداد انعطاف‌پذیر نشان داده شده است.



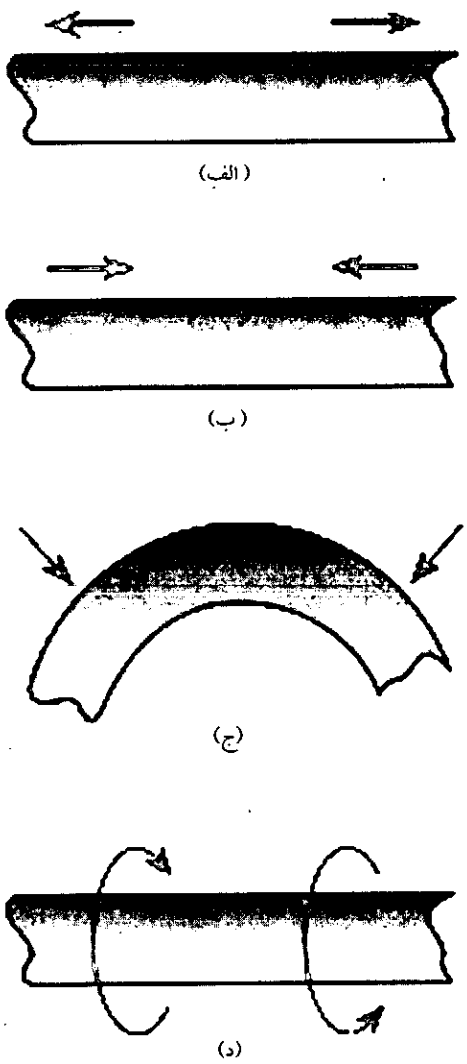
شکل۲ـ برای اندازه‌گیری مقاومت گرافیت، مداد انعطاف‌پذیر به یک اهم‌متر متصل شده است.

کمک گیره‌های سوسماری به یک اهم‌متر وصل می‌کنیم و مقاومت گرافیت را اندازه می‌گیریم (شکل۲).

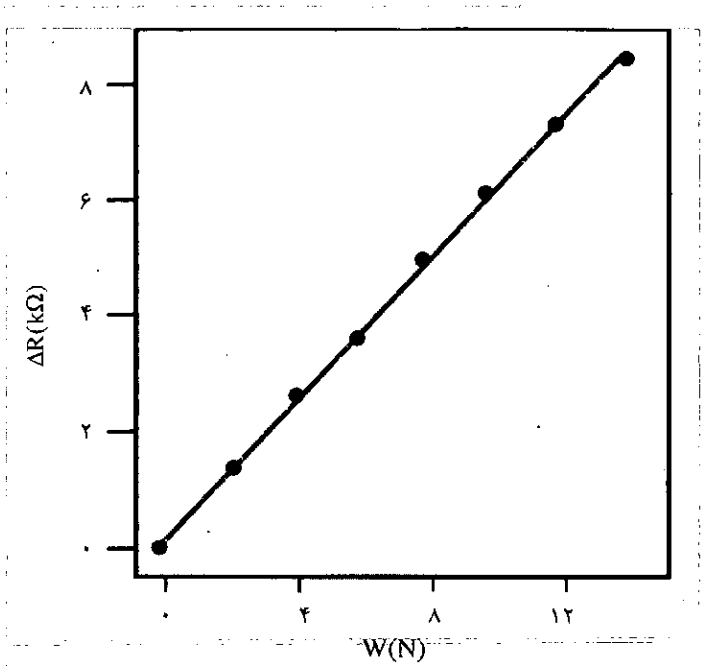
پس از این‌که مقاومت گرافیت در حالت مستقیم و بدون تنش مداد مشخص شد، اندازه‌گیری‌ها در حالت تغییر شکل مداد تکرار می‌شوند(شکل۳). برای همه‌ی حالت‌های تغییر شکل به‌جز فشردگی، اهم‌متر مقدار ۲۰kΩ – ۱۲ را نشان می‌دهد. هر قدر مقدار تنش بر مداد با تغییر شکل آن بیشتر شود، مقاومت بزرگ‌تری حاصل می‌شود. امّا در مورد فشردگی مداد، مقاومت کاهش می‌یابد. با صاف و مستقیم کردن مداد، تنش کاهش می‌یابد و مقاومت گرافیت به مقدار اولیه‌ی خود بازمی‌گردد.

اندازه‌گیری‌های کمّی

ترتیب آزمایش برای اندازه‌گیری‌های کمّی با استفاده از مداد انعطاف‌پذیر به عنوان پیمانه‌ی مقاومت کرنشی در شکل ۴ نشان داده شده است. مداد کشسان طبق دستور قبلی آماده شده (نگاه کنید به شکل۱) و به‌طور عمودی قرار گرفته است. صفحه‌ای که



شکل۳ـ الف) کشش، ب) فشردگی، ج) خمیدگی، د)پیچش



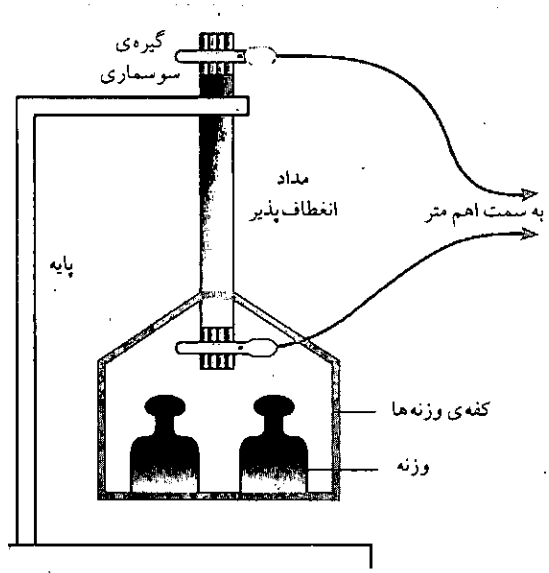
شکل۴ـ شیب نمودار، شاخصی از یک پیمانه ی مقاومتی کرنش است.

وزنه‌ها روی آن قرار می‌گیرند با پیچ‌ها و گیره‌های کوچک به مداد وصل شده است. دو سر مداد هم با گیره‌های سوسماری به اهم‌متر متصل می‌شود.

مقاومت مداد انعطاف‌پذیر در حالت اولیه و بدون هیچ وزنه‌ای روی صفحه، اندازه‌گیری می‌شود. با اضافه کردن هر وزنه، وزن کل W و افزایش مقاومت مداد انعطاف‌پذیر ΔR ثبت می‌شود. مقادیر W و ΔR می‌توانند برای رسم یک نمودار مورد استفاده قرار گیرند. شکل۵ نمودار افزایش مقاومت برحسب وزن را نشان می‌دهد.

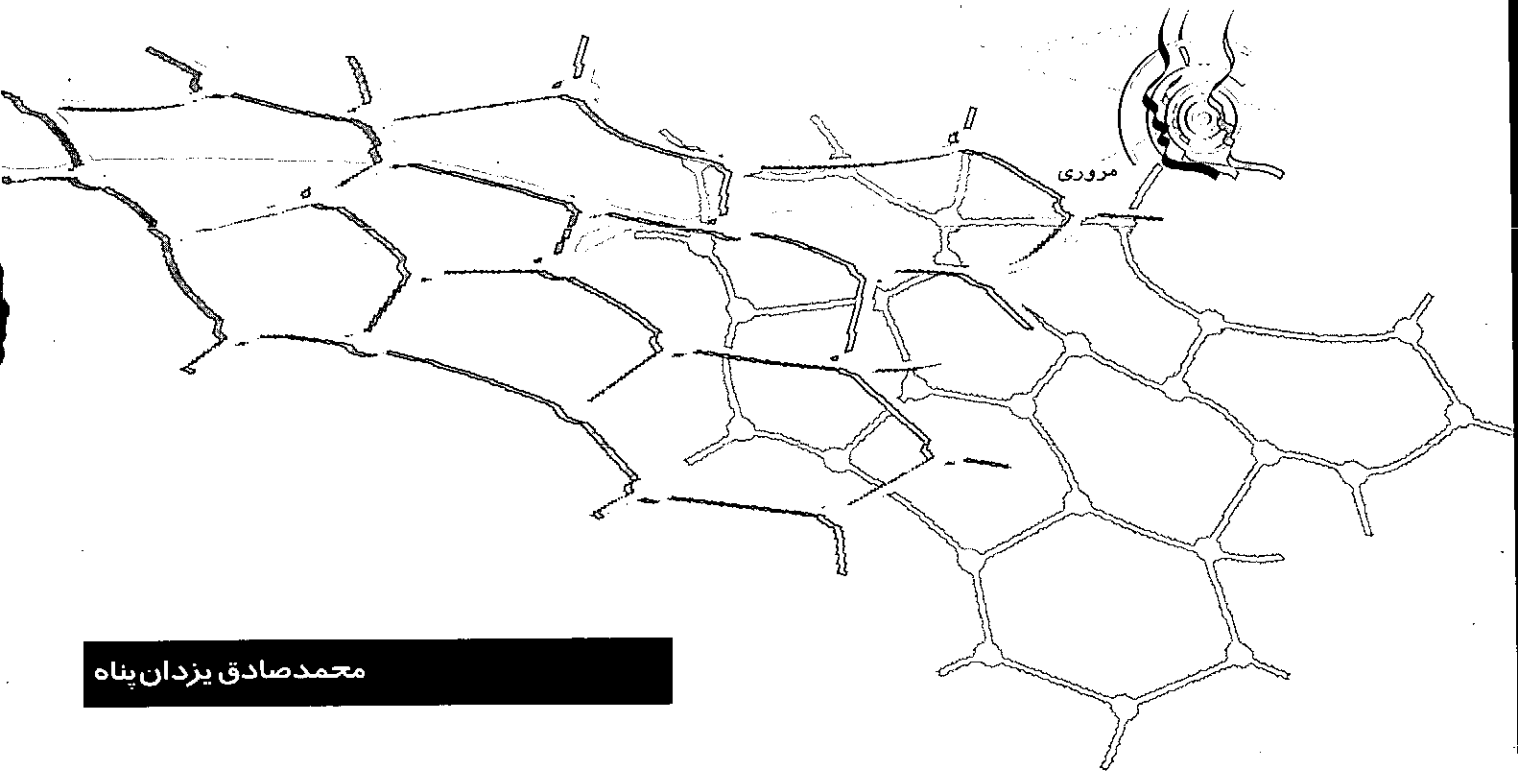
چون نمودار خطی است، با کمک مقدارهای W و ΔR می‌توان، شیب نمودار، k را به‌دست آورد. شیب نمودار، شاخصی از پیمانه‌ی مقاومتی کرنش است و در این مورد $۰/۶\pm۰/۰۷k\Omega/N$ محاسبه می‌شود.

در هنگام انجام این آزمایش، از وزنه‌های خیلی سنگین استفاده نکنید، وزنه‌های ۲۰۰g-۱۰۰ مناسب هستند. اگر وزن زیادی را به صفحه بیفزایید رابطه‌ی بین ΔR و W غیرخطی می‌شود و مداد انعطاف‌پذیر یک افزایش مقاومت دائمی را بعد از برداشتن وزنه‌ها نشان خواهد داد.



شکل۵ـ مقاومت مداد انعطاف‌پذیر، هرقدر کشش بیشتری اعمال می‌شود افزایش می‌یابد.

منبع:
Physics education VOL 40, number1, January 2005 P.19.



محمدصادق یزدان‌پناه

مقدمه‌ای بر مواد آمورف

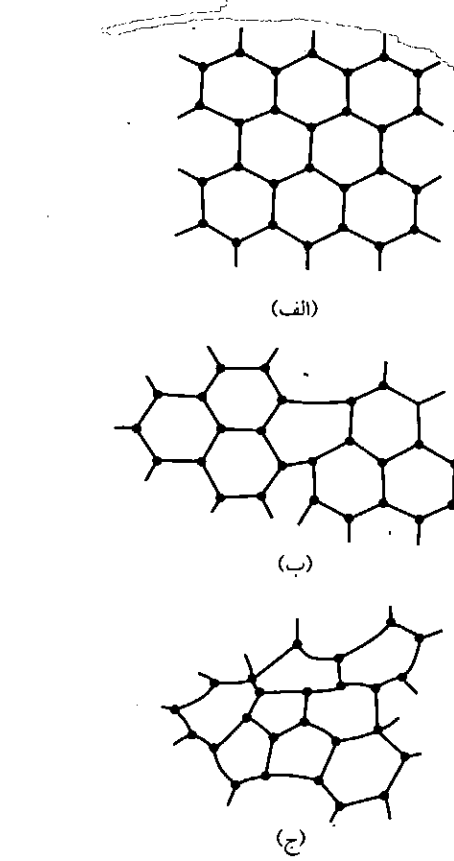
چکیده

ما در عصر فناوری پیشرفته الکترونیکی زندگی می‌کنیم که با بخش وسیعی از قطعه‌های نیمرسانا در ارتباط است. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های جالبی، در شناخت چگونگی تأثیر بی‌نظمی در نیمرساناهای آمورف، بر ساختار نوار و خواص الکتریکی صورت گرفته است[۱]. مواد آمورف دارای ویژگی منحصر به فردی نسبت به مواد بلوری هستند و همین طور تهیه آن‌ها نسبت به مواد بلوری آسان تر و ارزان‌تر است و از طریق تغییر درصد مولی مواد ترکیبی، می‌توان خواص نوری و الکتریکی این گونه مواد را کنترل کرد[۲]. این مواد هم به صورت کپه‌ای و هم به صورت لایه‌های نازک در قطعه‌های کلیدزنی و حافظه‌ای، آشکار ساز ذره با انرژی بالا، عدسی‌های فروسرخ، تار نوری و... کاربرد دارند[۲]. در این جا با توجه به مطالب فوق و اهمیتی که برای آن وجود دارد، به شرح مختصر این مواد می‌پردازیم.

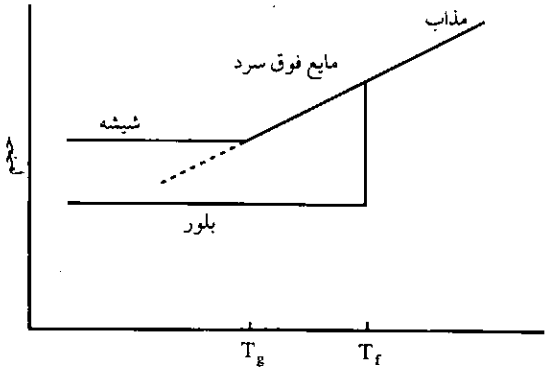
تعریف‌های کلی

در این جا با توجه به ارتباطی که بین موضوع کار با بحث نظری وجود دارد، بعضی از تعریف‌های مورد نیاز را مطرح می‌کنیم. در بحث حالت جامد، مواد به سه دسته تقسیم می‌شوند. مواد آمورف، تک‌بلوری و چندبلوری که تفاوت این سه دسته از مواد به ترتیب قرار گرفتن اتم‌ها در مواد برمی‌گردد[۳]. اتم‌ها در یک بلور کامل دارای نظم بلند برد و گسترش و گسترش دوره‌ای و نامتناهی در سه بعد هستند[۲]. در مواد چند بلوری، ترتیب اتم‌ها قطع می‌شود و می‌توان آن را به ناحیه‌های کوچک‌تر تک‌بلور، تقسیم کرد (مطابق شکل ۱ (ب))[۳].

مواد آمورف که نوعی از آن شیشه است، دارای نظم بلندبرد موجود در بلورها نیستند. شیشه یک جامد آمورفی است که یک گذار شیشه‌ای از خود نشان می‌دهد. هنگامی که یک ماده مذاب سرد شود، ممکن است دو حالت پیش‌آید. حالت اول، بلوری شدن است که در نقطه‌ی ذوب، T_f اتفاق می‌افتد و حالت دوم وقتی اتفاق می‌افتد که ماده مذاب در دماهای زیر T_f فوق سرد شود، که با کاهش بیشتر دما به‌صورت چسبنده در می‌آید و ممکن است به سرعت تشکیل شیشه بدهد. این تغییرات را می‌توان با نمایش حجم برحسب دما مشاهده کرد، که نتیجه‌ی نوعی آن در شکل(۲) دیده می‌شود. فرآیند بلوری شدن با تغییر سریع حجم و در دمای T_f همراه است، در حالی که تشکیل شیشه، با تغییر آرام



شکل(۱). تفاوت ظاهری بین مواد
(الف) ـ تک‌بلور، (ب) ـ چند بلوری و (ج) ـ آمورف.



شکل(۲). رابطه‌ی حجم ـ دما بین حالت‌های شیشه‌ای، مایع و بلورین. دمای انجماد(ذوب) معمولی با T_f نشان داده شده است، دمای تبدیل به شیشه T_g است. منحنی سرد کردن مایع ـ شیشه برای آهنگ‌های مختلف سرد کردن کمی فرق می‌کند.

در شیب، مشخص می‌گردد. ناحیه‌ای که در آن تغییر شیب اتفاق می‌افتد، به نام دمای گذار شیشه معروف است.

دفتر انتشارات کمک آموزشی

آشنایی با مجله های رشد

مجله های رشد توسط دفتر انتشارات کمک آموزشی سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی وابسته به وزارت آموزش و پرورش، با این عناوین تهیه و منتشر می شوند:

مجله های دانش‌آموزی (به صورت ماهنامه ـ ۸ شماره در هر سال تحصیلی ـ منتشر می شوند):

- **رشد کودک** (برای دانش‌آموزان آمادگی و پایه ی اول دوره ی ابتدایی)
- **رشد نوآموز** (برای دانش‌آموزان پایه های دوم و سوم دوره ی ابتدایی)
- **رشد دانش آموز** (برای دانش‌آموزان پایه های چهارم و پنجم دوره ی ابتدایی).
- **رشد نوجوان** (برای دانش‌آموزان دوره ی راهنمایی تحصیلی).
- **رشد جوان** (برای دانش‌آموزان دوره ی متوسطه).

مجله های عمومی (به صورت ماهنامه ـ ۸ شماره در هر سال تحصیلی منتشر می شوند):

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

مجله های تخصصی (به صورت فصلنامه و ۴ شماره در سال منتشر می شوند):

- **رشد برهان راهنمایی (مجله ی ریاضی، برای دانش‌آموزان دوره ی راهنمایی تحصیلی)، رشد برهان متوسطه (مجله ی ریاضی، برای دانش‌آموزان دوره ی متوسطه)، رشد آموزش معارف اسلامی، رشد آموزش جغرافیا رشد آموزش تاریخ، رشد آموزش زبان و ادب فارسی، رشد آموزش زبان رشد آموزش زیست شناسی، رشد آموزش تربیت بدنی، رشد آموزش فیزیک، رشد آموزش شیمی، رشد آموزش ریاضی، رشدآموزش هنر، رشد آموزش قرآن، رشد آموزش علوم اجتماعی، رشد آموزش زمین شناسی، رشد آموزش فنی و حرفه ای و رشد مشاورمدرسه.**

مجله های رشد عمومی و تخصصی برای آموزگاران، معلمان، مدیران و کادر اجرایی مدارس
دانشجویان مراکز تربیت معلم و رشته های دبیری دانشگاه ها و کارشناسان تعلیم و تربیت تهیه و منتشر می شوند.

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

در این میان باید گفت که هر محصول آمورفی، شیشه نیست. جامد شیشه‌ای ماده‌ای است که دارای چسبندگی بیش از پواز $10^{14/6}$ ($10^{13/6}$ N.S.M^{-2}) باشد[۲]. مواد مذابی که می‌توانند تشکیل شیشه دهند، دارای انواع اصلی پیوندها، یعنی پیوند کوالانسی، یونی، فلزی، واندروالسی و هیدروژنی هستند. نکته مهم قابل ذکر در این جا، این است که در نیمرساناهای آمورف، نظم کوتاه برد مسؤول مستقیم ویژگی‌های مشاهده شده در نیمرسانا، از قبیل رسانش الکتریکی است[۱]. شیشه‌های نیمرسانا رسانا به دو گروه تقسیم می‌شوند.

الف. شیشه‌های هالوژنی: برای ساخت این شیشه‌ها یک یا چند عنصر از عناصر S، Se، Te، با یک یا چند عنصر از عناصر Si، Ge، P، As، Sb، Bi و Pb ترکیب می‌شوند [۴]. مطالعه روی شیشه‌های هالوژنی توسط کولومیتز[1] و همکارانش در سال ۱۹۶۴ . م در شهر لنینگراد آغاز شد. این شیشه‌ها را به دلیل وجود عناصر Si، Te، As و Ge، گاهی شیشه STAG نیز می‌نامند[۵].

مواد هالوژنی آمورف خود می‌توانند به دو دسته تقسیم‌بندی شوند. دسته اول آن‌هایی که تغییر ساختار را نمی‌پذیرند، که به مواد آستانه‌ای معروفند، دسته دیگر آن‌هایی هستند که تغییر ساختار را می‌پذیرند که به مواد حافظه‌ای معروف هستند [۶].

ب. شیشه‌های اکسیدفلزات واسطه: این دسته از شیشه‌ها، آن‌هایی هستند که بخش اصلی ساختار آن‌ها یک اکسیدفلز واسطه است. دنتون[2]، روسن[3] و استنورث[4] در سال ۱۹۵۴ . م اندازه‌گیری‌هایی را روی رسانندگی الکتریکی این شیشه‌ها، با حدود ۹۰٪ مولی V_2O_5 (وانادیم پنتوکساید) انجام دادند و شیشه‌های حاوی وانادیم از همان زمان مورد مطالعه واقع شدند[۴].

انواع بی‌نظمی

همان‌طور که قبلاً گفته شد، مواد آمورف مانند مواد بلوری دارای نظم بلند برد نیستند و بی‌نظمی‌هایی در این گونه مواد مشاهده می‌شود که به چهار گروه تقسیم می‌شوند.

الف. بی‌نظمی هندسی: بی‌نظمی است که بر اثر آن ماده هیچ گونه تناوب انتقالی ندارد (مطابق شکل۳). (الف) در کل همه‌ی مواد آمورف و شیشه، به وسیله‌ی عدم تناوبی که در آن‌ها مشاهده می‌شود، شناخته می‌شوند[۲].

ب. بی‌نظمی اسپینی: هرجایگاه اتمی در مواد آمورف دارای یک گشتاور مغناطیسی یا اسپین است و جهت آن‌ها به صورت کاتوره‌ای در فضا توزیع شده است (مطابق شکل۳ (ب)). این وضعیت در بعضی از آلیاژهای مغناطیسی نظیر Au-Fe یا Cu-Mn، وجود دارد. شیشه‌ای که این نوع بی‌نظمی در آن وجود دارد را

برگ اشتراک مجله های رشد

شرایط

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

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

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

استان: ..... شهرستان: .....

خیابان: .....

.....

پلاک: ..... کدپستی: .....

- **مبلغ واریز شده:** .....
- **شماره و تاریخ رسید بانکی:** .....
- **آیا مایل به دریافت مجله درخواستی به صورت پست پیشتاز هستید؟ بله ☐ خیر ☐**

امضا:

نشانی: تهران ـ صندوق پستی مشترکین ۱۶۵۹۵/۱۱۱

نشانی اینترنتی: www.roshdmag.ir

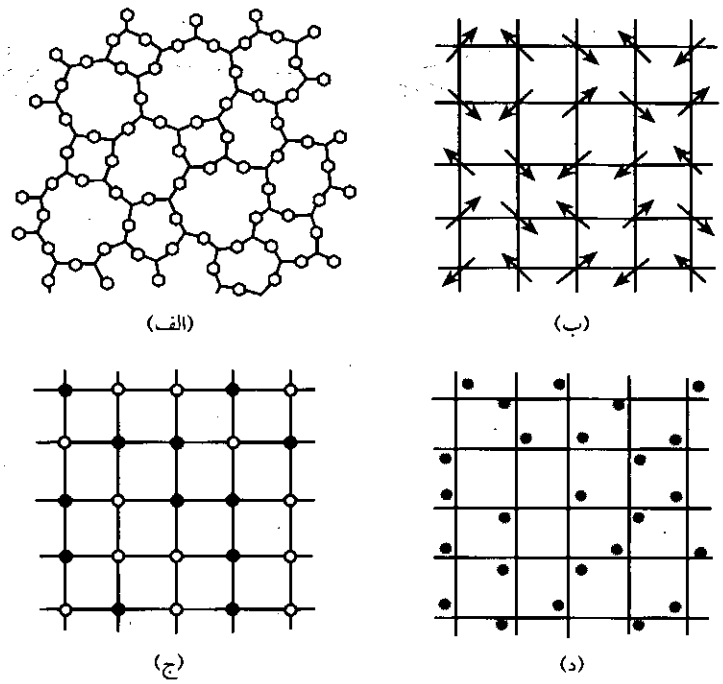
پست الکترونیک: Email:info@roshdmag.ir

☎ امور مشترکین: ۷۷۳۳۶۶۵۶ـ۷۷۳۳۹۷۱۳ـ۱۴

☎ پیام‌گیر مجلات رشد: ۸۸۳۰۱۴۸۲ ـ ۸۸۸۳۹۲۳۲

یادآوری:

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



شکل(۳). انواع بی‌نظمی در ساختار مواد[۱].

شیشه‌ی اسپینی می‌نامند [۲].

ج. بی‌نظمی جایگزینی: مطابق شکل۳(ج)، اگر اتم‌ها در یک ماده‌ی آمورف روی جایگاه‌های اتمی به‌طور کاتوره‌ای توزیع شده باشند، بی‌نظمی جایگزینی را خواهیم داشت [۲].

د. بی‌نظمی ارتعاشی: با توجه به این‌که مفهوم بلور کامل فقط در دمای صفر مطلق و با صرف نظر از حرکت نقطه صفر معتبر است لذا در هر دمای معین و محدود، حرکت کاتوره‌ای اتم‌ها حول وضعیت تعادل، دوره‌ای بودن شبکه را از بین خواهد برد. البته این نوع بی‌نظمی، از نوع بی‌نظمی مکانی نیست (مطابق شکل۳(د))[۲].

نظریه‌ی الکترونی در محیط غیر بلوری

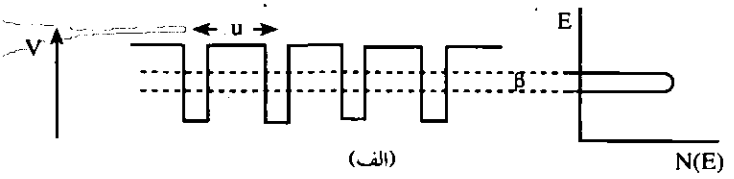
ابتدا از یک سری مفاهیم مناسب مربوط به جامدات بلوری که می‌تواند برای جامدات غیربلوری استفاده شود، صحبت به میان می‌آوریم. مفهوم اول چگالی حالت‌هاست که با N(E) نمایش می‌دهیم و برای هر دو دسته از مواد بلوری و غیربلوری کاربرد دارد. کمیت N(E)dE تعداد حالت‌ها در واحد حجم برای یک الکترون باجهت اسپین مشخص و با محدوده‌ی انرژی بین E و E+dE است. کمیت N(E)f(E)dE تعداد حالت‌های اشغال شده در واحد حجم را نشان می‌دهد که f(E) تابع توزیع فرمی است. در مواد بلوری با فرض آرمانی بودن بلور و نادیده گرفتن اثر فونون‌ها، تابع‌های موج بلوخ[۵] به دلیل دوره‌ای بودن پتانسیل شبکه، با بردار موج $\vec{k}$ معرفی می‌شود. ولی در مواد غیربلوری شفافیت نسبت به نورهای پرانرژی و پرتوی مشاهده شده است، پس می‌توان یک گاف انرژی برای آن‌ها در نظر گرفت. آن‌چه نظریه‌ی الکترونی مربوط به بلورها را مختل می‌کند، نظم کوتاه برد در مواد آمورف است[۷]. بنابراین در مواد غیربلوری نمی‌توان تابع‌های موج $\psi_E(x,y,z)$ را لزوماً به صورت تابع موج بلوخ در نظر گرفت، ولی در هر حال باید پاسخ‌هایی برای معادله شرودینگر به‌دست آورده شود[۷]. انرژی فرمی E_f تابعی از T است. انرژی E_f حالت‌های اشغال شده را از حالت‌های اشغال نشده جدا می‌کند. اگر از تقریب الکترون آزاد برای محاسبه N(E) استفاده شود، در این صورت رابطه زیر را داریم.

$$E=\frac{\hbar^2k^2}{2m^*} \qquad (1)$$

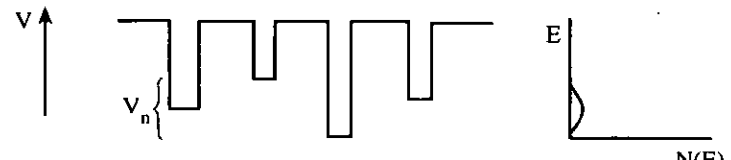
که $\vec{k}$ بردار موج و m^* جرم مؤثر الکترون است. در مواد بلوری برهم‌کنش با پتانسیل شبکه می‌تواند به انحراف‌های بزرگی از معادله (۱) بینجامد چرا که انرژی تابع جهت $\vec{k}$ است و همین‌طور گاف‌های نواری تشکیل می‌گردد. حال می‌توانیم در این‌جا وضعیت‌های زیر را بررسی کنیم.

الف. اگر پراکندگی به‌وسیله‌ی هر اتم ضعیف باشد، بردار موج $\vec{k}$ یک عدد کوانتومی خوب است و عدم قطعیت $\Delta\vec{k}$ در $\vec{k}$ به‌صورت $\Delta\vec{k}/\vec{k}\ll 1$ ظاهر می‌شود. سطوح انرژی ثابت و کروی هستند و معادله‌ی (۱) معتبر است.

ب. پراکندگی برای هر اتم قوی است، که در این صورت $\Delta\vec{k}/\vec{k}\cong 1$ می‌شود. در این حالت $\vec{k}$ عدد کوانتومی خوبی برای ویژه مقدارها نیست و مفهوم سطح فرمی (برای فلزات) زیاد معتبر نخواهد بود و چگالی حالت‌های انرژی نیز تغییر می‌کنند.



(الف)

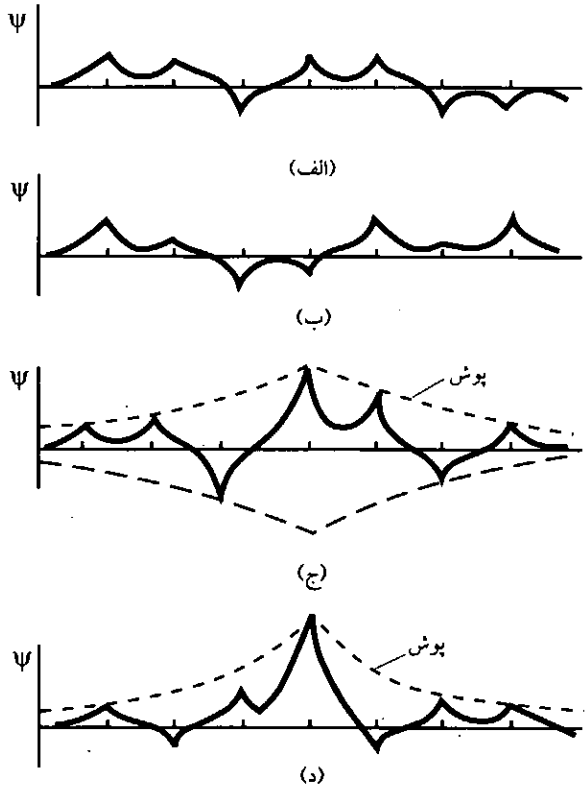


(ب)

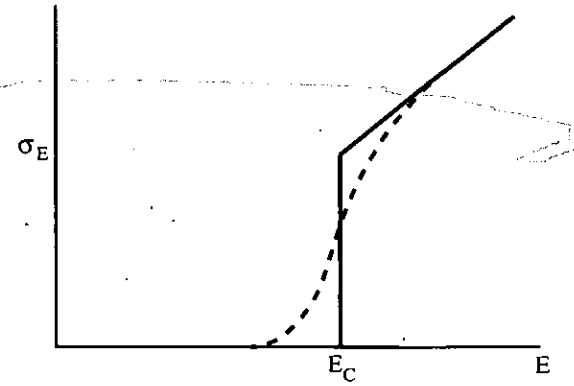
شکل(۴). (الف) نمایش چاه‌های پتانسیل برای یک شبکه بلوری و جگالی توسط مدل پیوند قوی. (ب) نمایش چاه‌های پتانسیل در مدل آندرسون (تغییرات کاتوده‌ای در انرژی‌ها وجود دارد) و چگالی حالت‌های انرژی بر اساس مدل پیوند قوی.

ج. اگر برهم‌کنش باز هم قوی‌تر باشد، پدیده‌ی جدیدی رخ می‌دهد که برای مواد بلوری صدق نمی‌کند، یعنی برای یک انرژی E داده شده همه‌ی تابع‌های موج ψ_E جایگزیده هستند. پس هر تابع موج ψ_E برای یک ناحیه از فضا، محدود می‌شود و فاصله، به‌صورت نمایی، $\exp(-\alpha R)$، فرو می‌افتد. این مطلب را اولین‌بار آندرسون[۶] در سال ۱۹۵۸م. مطرح کرد. جایگزیدگی آندرسون خودش به اندازه کافی می‌تواند پاسخ‌های مشخصی از معادله‌ی شرودینگر را که در فضا جایگزیده هستند تولید کند. آندرسون با استفاده از معادله‌ی شرودینگر این مطلب را ثابت می‌کند:

$$\nabla^2\psi+\frac{2m}{\hbar^2}(E-V)\psi=0 \qquad (۲)$$



شکل(۵). تابع موج در مدل آندرسون: (الف) وقتی $(L\equiv R)$، L مسیر آزاد میانگین است. (ب) وقتی که حالت‌های انرژی جایگزیده نیستند $E\geq E_c$. (ج) وقتی حالت‌های انرژی جایگزیده‌اند $E\leq E_c$. (د) جایگزیدگی قوی.



شکل(۶). رسانندگی الکتریکی در $T = 0K$ بر حسب انرژی E. خط پر، رسانش dc و خط بریده رسانش ac را نشان می‌دهد.

با استفاده از تقریب پیوندچسبان ثابت می‌شود که اثر پتانسیل تناوبی بلوری، ایجاد نوارهای باریک انرژی است. حال با در نظر گرفتن تغییرات کاتوره‌ای پتانسیل به صورت زیر (مطابق شکل ۴(ب)) این پرسش مطرح می‌شود که اثر پتانسیل غیرتناوبی بر نوارهای انرژی چیست؟

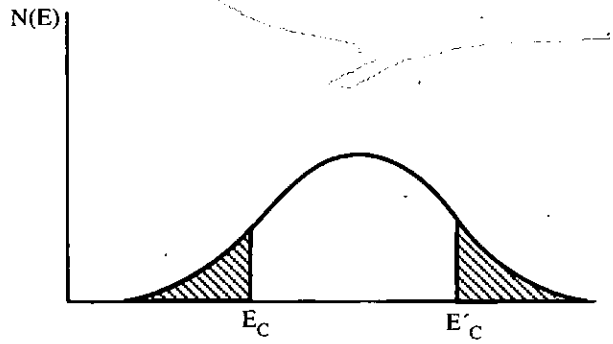
روش‌های ایجاد پتانسیل غیرتناوبی

الف. با جابه‌جایی هر مرکز به‌وسیله یک مقدار کاتوره‌ای، برای مثال به‌وسیله ارتعاش‌های شبکه یا به‌وسیله بی‌نظمی جانبی، مانند آنچه که در یک مایع داریم.

ب. به وسیله اضافه کردن یک پتانسیل تصادفی $V_0 \pm$ به هرچاه به صورت بی‌نظمی عمودی در این‌جا فرض می‌شود که V همه‌ی مقدارهای کاتوره‌ای بین $V_0 \pm$ را می‌گیرد، V_0 پهنای نوار انرژی است. از حل معادله شرودینگر تابع‌های موج به صورت شکل (۵) نتیجه می‌شود. مات[۷] برای انرژی‌هایی که اندکی از E_c کوچک‌ترند، تابع موج را به شکل ۵ (ج) نمایش می‌دهد، یعنی تابع موج در این ناحیه دارای علامت و دامنه کاتوره‌ای است و پوش منحنی به صورت نمایی کاهش می‌یابد و هر اربیتال جایگزیده با اربیتال دیگر همپوشانی دارد. در حالت‌های جایگزیده، الکترون فقط با جهش از جایگاهی به جایگاه دیگر منتقل می‌شود و در صورت لزوم با فونون تبادل انرژی می‌کند[۷].

ثابت می‌شود که پتانسیل غیرتناوبی (به هرشکل) یک محدوده از حالت‌های جایگزیده در دنباله‌نوار تولید می‌کند. در این حالت، یک انرژی بحرانی E_c باید حالت‌های جایگزیده را از حالت‌های غیرجایگزیده جدا کند، به‌طوری که برای $E < E_c$ ، $\langle \sigma_E \rangle = 0$ و برای $E > E_c$ ، $\langle \sigma_E \rangle \neq 0$ که این تغییرات σ برحسب انرژی در شکل (۶) رسم شده است [۷و۵].

در شکل(۷) چگالی حالت‌ها، σ_E در دمای صفر درجه برحسب E رسم شده است[۷].



شکل(۷). چگالی حالت‌ها در مدل آندرسون. در مرز نوار، حالت‌ها جایگزیده نیستند. E_c و E'_c گسترده حالت‌های جایگزیده و گسترش یافته را متمایز می‌کند. منطقه هاشور زده دنباله حالت‌های جایگزیده است.

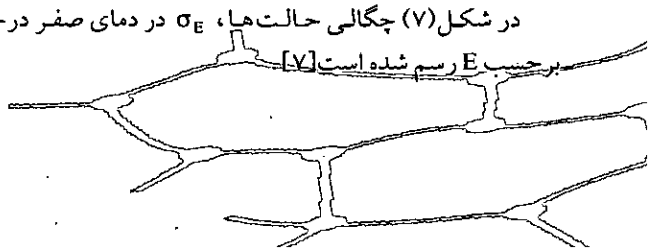
مدل‌های نواری در مواد آمورف

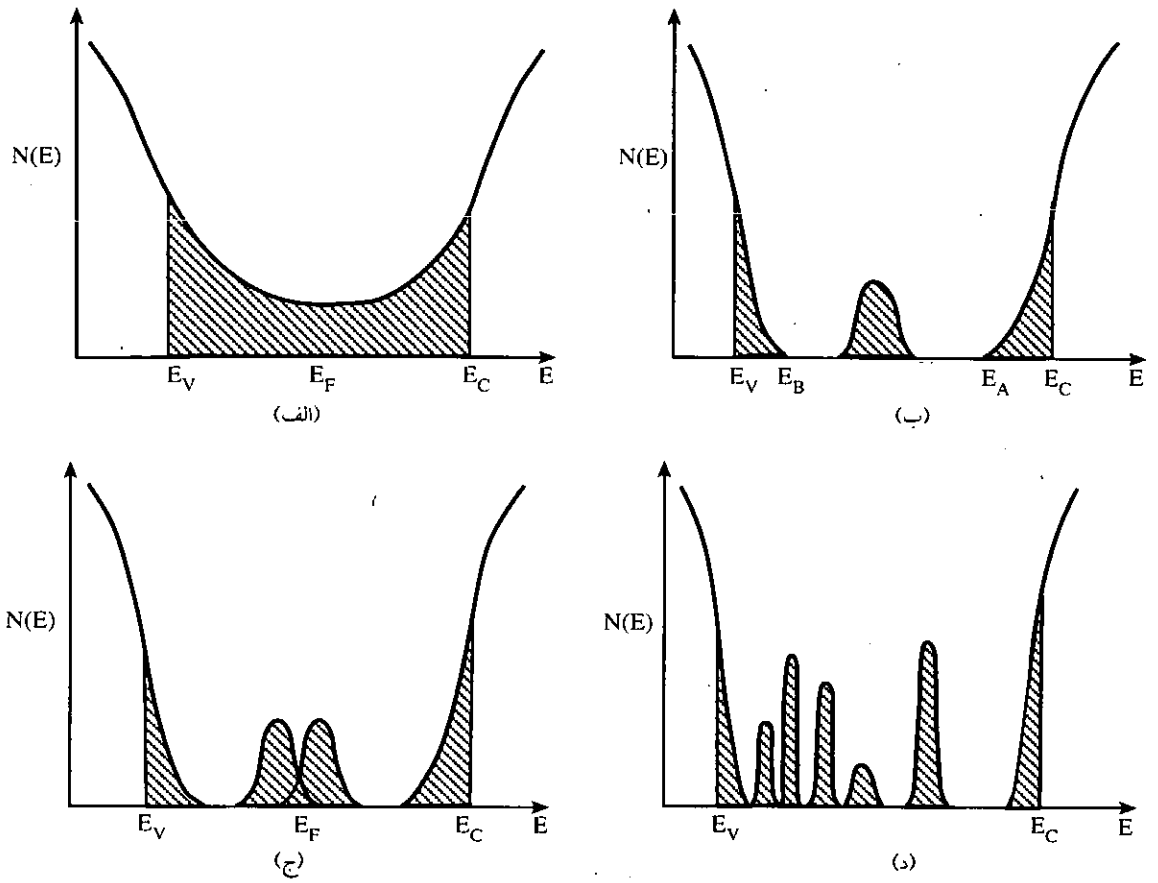
مفاهیم کلی

در این‌جا ارائه‌ی مدل یا مدل‌های انرژی برای توجیه و تفسیر ویژگی‌های ترابردی الکترون که به تجربه حاصل شده لازم است. در یک جامد آمورف نظم بلند برد وجود ندارد، در صورتی‌که مرتبه‌ی کوتاه برد یعنی فاصله بین اتمی فقط کمی تغییر می‌کند. پس مفهوم چگالی حالت‌ها برای جامدات غیربلوری نیز کاربرد دارد. براساس نظریه مات و آندرسون استدلال می‌شود که افت و خیزهای فضایی در پتانسیل، به‌وسیله‌ی بی‌نظمی ترکیبی در مواد آمورف، می‌تواند به تشکیل حالت‌های جایگزیده بینجامد، به‌طوری که همه انرژی‌های مختلف در گاف اشغال نمی‌شود، اما یک دنباله در بالا و پایین نوار طبیعی تشکیل می‌دهد. چندین مدل برای ساختار نواری نیمرساناها آمورف فرض شده‌اند، که همه از مفهوم حالت‌های جایگزیده در دنباله‌های نواری استفاده می‌کنند[۱].

مدل C.F.O یا مدل کوهن[۸]ـ فریچه[۹]ـ اوسینشکی[۱۰]

در این مدل که در شکل ۸ (الف) نشان داده شده است، فرض می‌شود که در عرض گاف ممنوع حالت‌های دنباله، در یک توزیع بدون ساختار گسترش یافته‌اند. کاهش تدریجی حالت‌های جایگزیده، تیزی لبه‌های نوار ظرفیت و رسانش را از بین می‌برد. مدل مشابه دیگری نیز پیشنهاد شده است، که برای محاسبه گذار نوری در Si آمورف کاربرد دارد. در مدل مذکور گفته می‌شود که در آلیاژهای هالوژنی، بی‌نظمی به اندازه کافی بزرگ است به‌طوری که دنباله‌ی نوارهای رسانش و ظرفیت همپوشان می‌شوند و در نتیجه یک چگالی حالت در میانه گاف تشکیل می‌شود. این مدل به ویژه برای شیشه‌های هالوژنی چندتایی که در قطعه‌های کلید زنی به کار می‌روند، پیشنهاد شده است [۸و۱].





شکل(۸). نمودار چگالی حالت‌ها برای مواد آمورف، (الف) مدل C.F.O، (ب) مدل D.M که در آن نوارهای جبرانی در حوالی وسط گاف انرژی نشان داده شده است، (ج) مدل اصلاح شده D.M و (د) یک شیشه واقعی حاوی ناراستی.

مدل D.M یا مدل دیویس[11] ـ مات

بر اساس این مدل، دنباله حالت های جایگزیده باریک تر است و فقط چند دهم الکترون ـ ولت در گاف ممنوع گسترش یافته اند. همین طور فرض می شود یک نوار جبرانی در وسط گاف انرژی قرار دارد. این مدل در شکل های ۸(ب) و (ج) آمده است. در این جا E_c و E_v نشان دهنده انرژی هایی هستند که محدوده حالت های جایگزیده و غیرجایگزیده را جدا می کند. مات پیشنهاد می کند که در گذار از حالت های غیرجایگزیده به جایگزیده، تحرک به طور قابل ملاحظه ای اُفت خواهد کرد. در این مدل چگالی حالت ها به طور یکنواخت در داخل گاف کاهش نمی یابد و قله های جدا از هم مشاهده می شود. در دماهای پایین، رسانش توسط پدیده تونل زنی همراه با برانگیختگی گرمایی صورت می گیرد و در دماهای بالاتر رسانش از طریق جهش حامل های بار بین حالت های جایگزیده صورت می گیرد[۱].

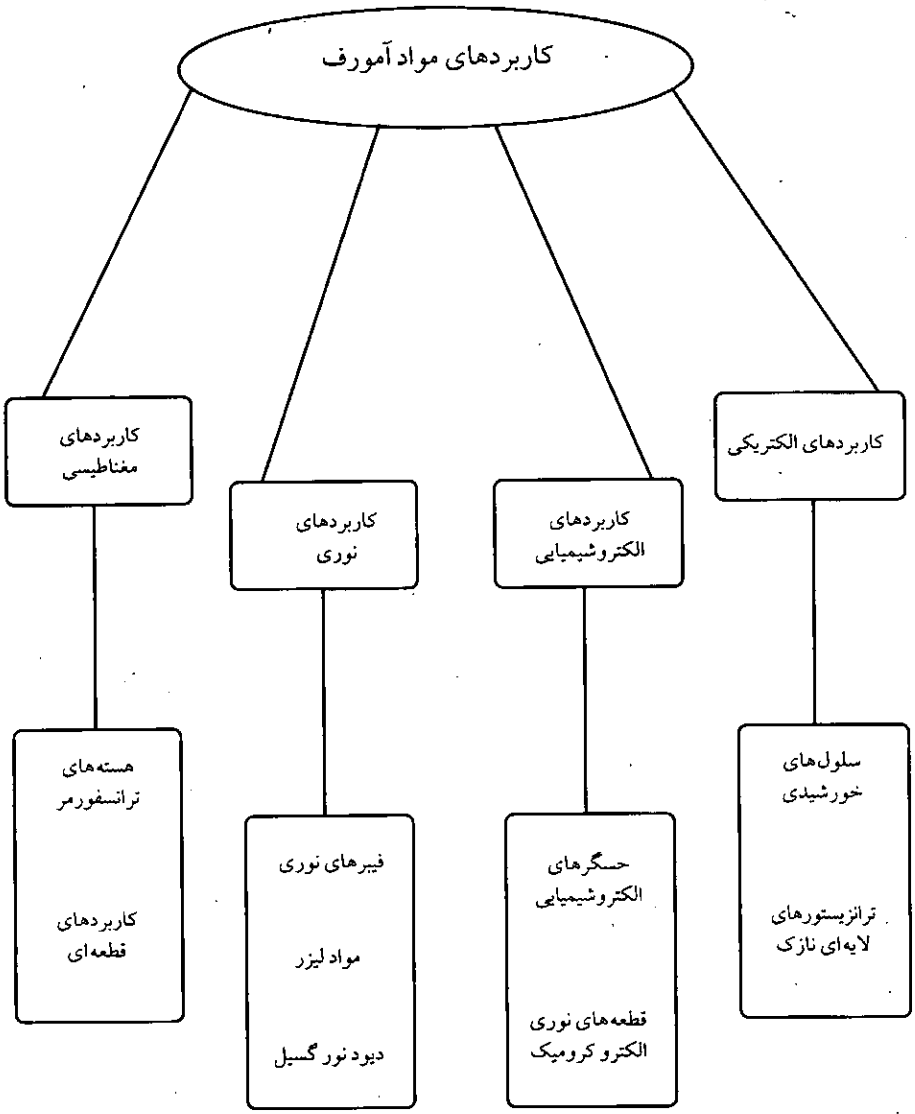
مدل پولارون[12] کوچک

این مدل را امین[13] در یک جامد آمورف شرح داده است. طبق این مدل حامل های بار در بعضی نیمرساناهای آمورف ممکن است در یک حالت خود محصوری گرفتار آیند که به علت وجود اتم های شبکه احاطه کننده حامل بار است. در توجیه این فرضیه امین استدلال می کند که حضور بی نظمی در یک جامد غیربلوری، سرعت حامل بار را کاهش می دهد. این کاهش سرعت می تواند به جایگزیدگی حامل بار بینجامد. در این صورت اگر حامل بار در یک جایگاه اتمی به اندازه کافی بماند، موجب جذب اتم ها در اطراف و در نتیجه باعث تشکیل پولارون کوچک می شود[۱]. به طور خلاصه پولارون اختلال حاصل در شبکه حول الکترون محصور است و از برهم کنش الکترون ـ فونون، پولارون تشکیل می شود. یعنی الکترون با بار منفی در میدان بار مثبت یون ها گرفتار می شود و حالتی جایگزیده به نام پولارون شکل می گیرد[۵و۲].

کاربردهای مواد آمورف

دسته بندی کلی کاربردهای مواد آمورف:

همان طور که قبلاً ذکر گردید، به کارگیری مواد آمورف به دلیل خواص منحصربه فردشان در سال های اخیر زیاد شده است و می توان به طور کلی برخی از این کاربردها را به صورت زیر دسته بندی کرد.



شکل(۹). دسته‌بندی کاربردهای مواد آمورف.

زیرنویس:

1.Kolomiets
2. Denton
3. Rawson
4. Stanworth
5. Bloch
6. Anderson
7.Mott
8.Cohen
9. Fritzsche
10. Ovshinsky
11. Davis
12.Polaron
13. Emin

مراجع:

1)M.H.Brodsky; *"Topics in applied physics: Amorphous semiconductors"*, (Springer-Verlag, Berlin Hidelbergs, Newyork), Vol 36,1979

2) S.R.Elliott; *"Physics of amorphous materials"*, second edition, 1990

3) Charles M.Wolfe, Nick.Holonyak,Jr, Gregory E.Stillman; *"Physical properties of semiconductors"*, (Prentice-Hall international, inc) 1989

4) M.Elahi; *"The study of electrical and optical properties of P_2O_5-Fe_2O_3 in non-crystalline state"*, Ph.D thesis, (Brunel University, 1980)

5) Prof.Sir Nevil Mott, M.A, F.R.S; *"Conduction in amorphous materials"*, Electronic & Prower 19(1973) 321-324

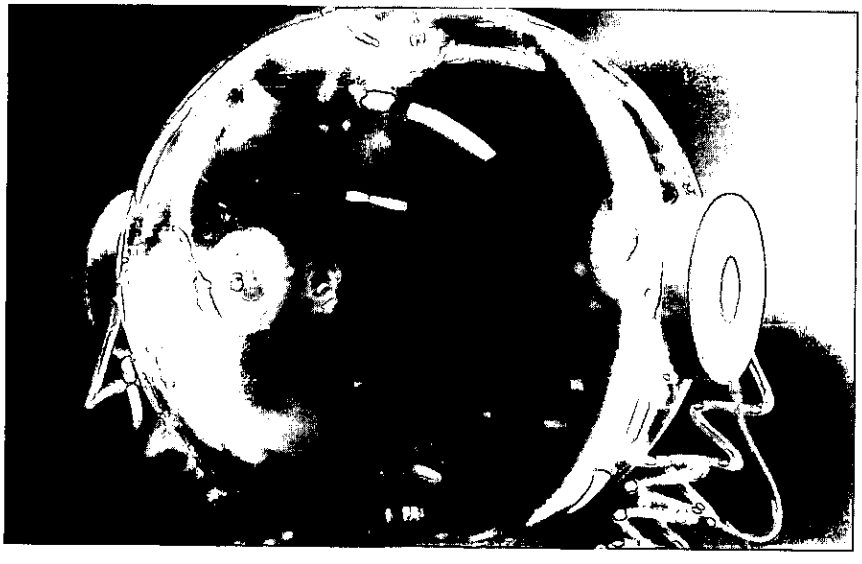
6) S.R.Ovshinsky and K.Sapra; *"Three dimensional model of structure and electronic properties of chalcognide glasses"*, Proceeding of the fifth international amorphous and liquid semiconductors conference Garmisch- paten kirchen, Germany, 1974

7) N.F.Mott, E.A.Davis; *"Electronic processes in noncrystalline materials"*, (second edition, clarendon-press.oxford)1979

8) M.H.Chohen, H.Fritzsche, S.R.Ovshinsky; Phys.Rev. Lett 22(1970) 1065

صوت لیانی

ترجمه: کبری حاجی‌زاده و رضا جمشیدی
دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب



صوت لیانی حاصل از یک بوق مافرا صوتی با شدت بالا که در بشر مایع فرو برده شده است. تصویربرداری در مدت طولانی صورت گرفته است.

صوت لیانی گسیل فوران‌های کوتاه نور از حباب‌های درخودمنفجر شونده غوطه‌ور در آب در هنگامی است که با صوت برانگیخته می‌شوند.

تاریخچه

این اثر اولین بار در سال ۱۹۳۴ در دانشگاه کلن[1]، درنتیجه‌ی کار با ردیاب صوتی کشف شد. اچ فرنل[2] و اچ شولتز[3] یک مبدل فراصوتی را در مخزن مایع ظهور عکس قرار دادند و امیدوار بودند که به این ترتیب فرایند ظهور را سرعت بخشند، اما پس از ظهور فیلم متوجه نقطه‌چین‌هایی بر روی فیلم شدند و فهمیدند حباب‌های درون این شاره وقتی مبدل صوتی روشن است از خود نور گسیل می‌کنند. چون محیط شامل تعداد بسیار زیادی حباب با عمر کوتاه بود. بررسی این اثر در آزمایش‌های اولیه بسیار مشکل بود. (این آزمایش را به ن. مارینسکو[4] و ج. ج. تریلات[5] در ۱۹۳۳ هم نسبت داده‌اند). این پدیده را اکنون صوت لیانی چندحبابی می‌نامند (MBSL).[6]

بیش از پنجاه سال بعد در سال ۱۹۸۹ فیلیپ گیتان[7] و لورنس

کرن[8] با تولید صوت لیانی تک‌حبابی، پیشرفت عظیمی را در زمینه تحقیقات (SBSL)[9] به‌وجود آوردند. در SBSL یک تک‌حباب داخل موج ایستاده صوتی گیر می‌افتد و با هر تراکم حباب در داخل موج ایستاده یک تک نور گسیل می‌کند. این روش امکان بررسی اصولی پدیده را فراهم می‌سازد. زیرا اثرهای پیچیده را به یک حباب پایدار قابل پیش‌بینی مجزا تبدیل می‌کند. در این روش متوجه شدند که دمای داخل حباب به قدری زیاد است که می‌تواند فولاد را ذوب کند. وقتی دمای داخلی چنین حبابی بالاتر از یک مگاکلوین فرض شد، پدیده‌ی صوت لیانی مجدداً مورد توجه قرار گرفت. البته بالا رفتن دما تا این اندازه هنوز به‌طور قطع اثبات نشده است؛ اگرچه در آزمایش‌های اخیر در دانشگاه ایلینویز در اوربانا- چامپین[10] به دماهای حدود ۲۰/۰۰۰ کلوین یا ۲۰ کیلو کلوین رسیده‌اند.

ویژگی‌ها

هرگاه یک موج صوتی با شدت مناسب کاواک‌های گازی (حباب) را در داخل مایع به‌وجود آورند که به سرعت متلاشی شوند، صوت لیانی می‌تواند روی دهد. گاهی هم ممکن است روی ندهد. این کاواک می‌تواند به شکل حباب از قبل موجود باشد یا در فرایندی موسوم به کاواکی شدن تولید شده باشد. صوت لیانی را می‌توان در آزمایشگاه پایدار ساخت. به‌طوری که حباب به صورت متناوب منبسط و متلاشی شود و این عمل بارها و بارها تکرار شود. در هر بار فروریختن نوری را از خود گسیل کند. به این منظور، یک موج صوتی ایستاده در داخل مایع تولید می‌شود و حباب تحت فشار در محل شکم موج ایستاده قرار می‌گیرد. بسامدهای تشدید امواج صوتی به شکل و اندازه مخزنی بستگی دارد که حباب در آن تشکیل می‌شود.

حقایقی چند درباره صوت لیانی

● درخش‌های نور از حباب‌ها بسیار کوتاه است. در حدود ۳۵ تا چند صد پیکوثانیه و بیشینه‌ی شدت حدود ۱۰mW-۱ است.

● حباب‌ها در هنگام گسیل نور بسیار کوچکند- قطر آنها حدود ۱ میکرومتر و تابع مایعی است که حباب را احاطه کرده (مثلاً آب) و گازی که درون حباب (مثلاً هوا) است.

● تپ‌های صوت لیانی تک‌حباب می‌توانند دوره و مکان‌های بسیار پایدار داشته باشند. در واقع بسامد درخش‌های نور می‌تواند باثبات‌تر از میزان پایداری بسامد اسمی محرکی باشد که امواج صوتی را تولید می‌کند. اگرچه تحلیل پایداری حباب حاکی از آن است که خود حباب ناپایداری هندسی قابل ملاحظه‌ای را تحمل می‌کند که ناشی از به عنوان مثال نیروهای بیرکنز[11] و ناپایداری‌های ریلی- تیلور است.

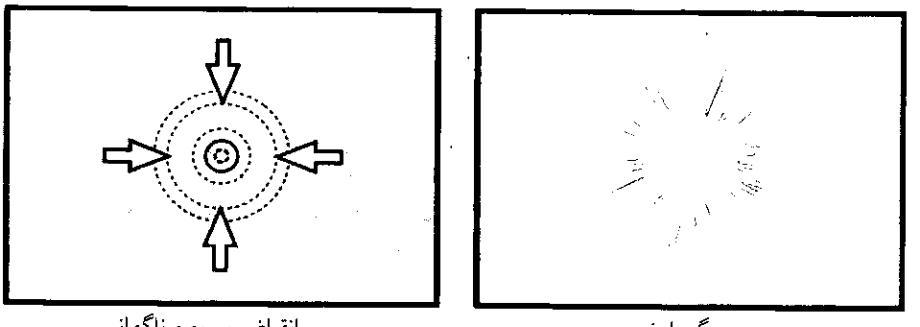
● با افزودن مقدار کمی گاز بی‌اثر (مثل هلیم، آرگون یا زنون) به گاز داخل حباب شدت نور گسیل شده افزایش می‌یابد.

طول موج نور گسیل شده بسیار کوتاه است و تا گستره فرابنفش می‌رسد. نوری با طول موج کوتاه‌تر حامل انرژی بیشتر است و به‌نظر می‌رسد طیف اندازه‌گیری شده نور گسیل شده نشانگر دمای حداقل ۲۰/۰۰۰ کلوین تا حدود بیشتر از ۱ مگا کلوین در حباب باشد. صحت این برآوردها را این واقعیت که آب تمام طول موج‌های زیر ۲۰۰nm را جذب می‌کند زیر سؤال می‌برد. چون که این اعداد از برونیابی طیف‌های گسیلی در طول فروپاشی به‌دست آمده‌اند، یا با استفاده از معادله‌ی اصلاح شده ریلی- پلست[12] تخمین زده شده‌اند. ارزیابی‌های متفاوتی از دمای داخل حباب صورت گرفته است. برخی از این برآوردها دمای داخل حباب را حدود یک گیگا کلوین به دست داده‌اند [۱]. این اعداد براساس مدل‌هایی هستند که صحت و سقم آن‌ها ثابت نشده و ممکن است شامل فرض‌های بی‌پایه و اساس باشند.

دماهای بسیار زیاد در صوت لیانی از این‌رو مورد توجه است که می‌توان از این طریق به روشی برای همجوشی گرماهسته‌ای دست یافت. اگر حباب به اندازه کافی داغ باشد و فشار داخلی آن نیز به‌حد کافی بالا باشد واکنش‌های همجوشی درست مثل آنچه در خورشید روی می‌دهد، می‌تواند در این حباب‌های کوچک تولید شود. به این اثر گاهی عنوان همجوشی حبابی داده شده است.

در ۲۷ ژوئن ۲۰۰۶ محققان مؤسسه پلی‌تکنیک رنسیلر[13] طبق مقاله منتشر شده در فیزیکال ریویو و لترز [۲] و [۳]مدعی شدند که توانسته‌اند بدون چشمه‌ی نوترونی خارجی واکنش‌های همجوشی

انبساط کُند — ظهور یک حباب



گسیل نور — انقباض سریع و ناگهانی

را با صوت لیانی تولید کنند. تاکنون این نتیجه‌ها را هیچ گروه دیگری تکرار نکرده است.

تحقیقات اخیری (۲۰۰۲ و ۲۰۰۵) که توسط ر. پ تلایرخان و همکاران با استفاده از استون دوترونی شده[۱۴] نشان می‌دهد که اندازه‌گیری تریتیم و نوترون خروجی با همجوشی سازگاری دارد. اما این اندازه‌گیری‌ها در خارج از آزمایشگاه تلایرخان تکرار نشده است و به صورت بحث‌انگیز باقی مانده است. به‌تازگی برایان نارانجو[۱۵] از دانشگاه کالیفرنیا آزمایش‌های تلایرخان را تحلیل کرده و مدعی آن شدند که احتمالاً وی واپاشی موارد پرتوزای آزمایشگاهی را اشتباهاً محصولات فرعی همجوشی هسته‌ای تفسیر کرده است.

در مجله‌ی نیچر نوشته شده است که، دیوید. ج. فلانیگان[۱۶] و کنت. س. سسلیک[۱۷] حباب‌های آرگون را در اسید سولفوریک مطالعه کرده‌اند و نشان دادند که اکسیژن یونیده O^{+}_{2}، مونوکسید گوگرد و آرگون اتمی که در حالت‌های برانگیخته با انرژی زیاد قرار دارند نشان می‌دهند که در مرکز حباب‌ها پلاسمای داغ وجود دارد. ایشان متذکر شدند که انرژی یونش و برانگیختگی کاتیون دی‌اکسی‌ژنیل در حدود ۱۸ الکترون ولت است، و درنتیجه نمی‌تواند به صورت گرمایی تولید شود؛ به‌نظر آن‌ها این انرژی در اثر برخورد الکترون‌های با انرژی زیاد از پلاسمای داغ و مرکز حباب به‌دست می‌آید.

مکانیک شاره‌ها

دینامیک حرکت حباب در تقریب اول با معادله ریلی- پلست مشخص می‌شود:

$$R\ddot{R}+\frac{3}{2}\dot{R}^{2}=\frac{1}{\rho}(P_{g}-P_{\infty}-P(t)-4\eta\frac{\dot{R}}{R}-\frac{2\gamma}{R})$$

این معادله تقریبی است و از معادله‌های ناویر استوکس مشتق شده و تغییر شعاع حباب R را برحسب زمان t نشان می‌دهد. در این‌جا η چسبندگی، P فشار و γ کنش سطح است. اگرچه این معادله تقریبی است اما تقریب خوبی از حرکت حباب‌هاست که تحت فشار امواج صوتی در حین فروریزش حباب تولید می‌شوند.

سازوکار پدیده

سازوکار پدیده صوت لیانی تا اندازه‌ای آشفته و ناشناخته باقی مانده است، گرچه نظریه‌های زیادی با اعتبار کمتر یا بیشتر ارائه شده است. نظریه‌هایی مانند: نقطه‌های داغ، تابش ترمزی، تابش ناشی از برخورد و تخلیه هاله‌ای، نور غیرکلاسیک، تونل‌زنی پروتون، فوران‌های الکترودینامیک و فوران‌های فراکتو لیانی (اکنون به علت دلایل تجربی اغلب متناقض بی‌اعتبار شده است).

پیشنهادهای غیرعادی

یکی از غیرعادی‌ترین نظریه‌هایی که تاکنون در مورد صوت لیانی ارائه و بسیار مورد توجه واقع شده است، اما جامعه علمی آن را دارای تأثیر حاشیه‌ای بر سازوکار تأثیر SBSL می‌داند، نظریه انرژی کازیمیر[18] است که توسط کلودیا ابرلین[19] فیزیکدان دانشگاه ساسکس ارائه شده است.

در سال ۱۹۶۶ پیشنهاد شد که نور صوت لیانی، از خلأ موجود در اطراف حباب در فرایندی، مانند فرایند تابش هاوکینگ[20] یعنی تابشی است که در لبه‌های سیاهچاله‌ها تولید می‌شود. با توجه به نظریه‌ی کوانتومی، خلأ پر از ذرات مجازی است و حرکت سریع فصل مشترک بین آب و هوا باعث می‌شود تا فوتون‌های مجازی به فوتون‌های واقعی تبدیل شوند.

این به اثر آنروت[21]، یا اثر کازیمیر[22] مرتبط است. و اگر صحیح باشد پدیده صوت لیانی می‌تواند اولین نمونه‌ی قابل مشاهده‌ی نظریه تابش خلأ کوانتومی باشد. با وجود این، در مورد این‌که سازوکاری که اثرهای بالا را تولید می‌کند نمی‌تواند در مقیاس زمانی مناسب طیف SBSL را نشان دهد بحث است. این تفکر احتمالاً از نظریه‌ی کلاسیک فروریزش حفره پیروی می‌کند؛ و بنابراین مدل کازیمیر تا حد زیادی به موقعیت پایین‌تر تمانده‌ی میدان تنزل یافته است.

میگو لیانی

میگوی پیستول[23] نوعی صوت لیانی را تولید می‌کند که بر اثر فروریزش حباب بر اثر پاره شدن سریع با چنگال‌های این جانور به‌وجود می‌آید. شدت نور تولید شده کمتر از نوری است که صوت لیانی تولید می‌کند و با چشم غیرمصلح قابل رؤیت نیست. به احتمال زیاد این اهمیت زیست‌شناختی ندارد، بلکه صرفاً محصول فرعی موج ضربه‌ای است که میگو برای گیج کردن یا کشتن طعمه‌اش به‌کار می‌برد. با وجود این، اولین مورد شناخته شده‌ای است که در آن جانوران به واسطه این اثر نور تولید می‌کنند. پس از کشف آن در اکتبر ۲۰۰۱ نام میگو لیانی به آن داده شد.

زیرنویس:

1. University of Cologn
2. H. Fresnel
3. H. Schultes
4. N. Marinsco
5. J. J. Trillat
6. Multi Bubble Sonoluminescense
7. Felipe Gaitan
8. Lawrence Crun
9. Single Bubble Sonoluminescense
10. Urbana - Champaign
11. Bjerkens
12. Plesset
13. Rensselear Polytechnic institute
14. deuteratedacetone
15. Brian Naranjo
16. David J. Flannigan
17. Kenneths. Suslick
18. Casimir
19. Claudia Eberlein

۲۰. تابش هاوکینگ، تابش گرمایی است که فرض می‌شود سیاهچاله به دلیل عوامل کوانتومی تولید می‌کنند. (مترجم)

۲۱. طبق نظریه‌ی Unrah (۱۹۷۶ دانشگاه انگلیسی کلمبیا) یک ناظر که با شتاب حرکت می‌کند می‌تواند تابش جسم سیاه را ببیند درحالی که ناظر ساکن چیزی نمی‌بیند. (مترجم)

۲۲. اثر کازیمیر، یک نیروی فیزیکی است. من اجسام جدا از هم که نه در اثر بار است نه جاذبه نه تبادل ذرات بلکه در اثر تشدید فراگیر میدان‌های انرژی در فضای رابط بین دو جسم است. و معمولاً برحسب واکنش ذرات مجازی تعریف می‌شود. (مترجم)

۲۳. نوع خاصی از میگو دارای دو چنگال می‌باشد: یکی مانند گاز انبر و دیگری مانند قاشقک. قاشقک‌ها می‌توانند انفجاری در آب ایجاد کنند که باعث می‌شود طعمه گیج شود. این نوع میگو بیشتر بومی کالیفرنیا می‌باشد (مترجم).

24. Keanu Reeves

25. Morgan Freeman

منبع:

http://en.wikipedia.org/wiki/sololuminescence

مرجع فرهنگی:

صوت لیانی در فیلم واکنش زنجیره‌ای (Chain Reaction) با بازی کنوری‌ویز و مورگان فری‌من، به تصویر کشیده شد.

مراجع:

1. Putterman, S. J. Sonoluminescence: Sound into Light". Scientific American, Feb 1995, P. 46.
2. H. Frenzel and schultes, Z. Phys. Chem. B 27, 421 (1934).
3. D. F. Gaitan, L. A. Crum, R. A. Roy, and C. C. J. Acoust. soc. Am. 91. 3166 (1992).
4. M. Brenner, S. Hilgenfeldt, and D. Lohse, "single bubble sonolumine scence". Rev. Mod. Phy. April (2002).
5. R. P. Taleyarkhan, C. D. West, J. S. Cho, R. T. Lahey Jr. R. Nigmatulin and R. C Block "Evidence for nuclear Emmission during Acoustic covitation". Science 295 (2002).

IN THE NAME OF GOD

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

Roshd 79

Physics Education Journal

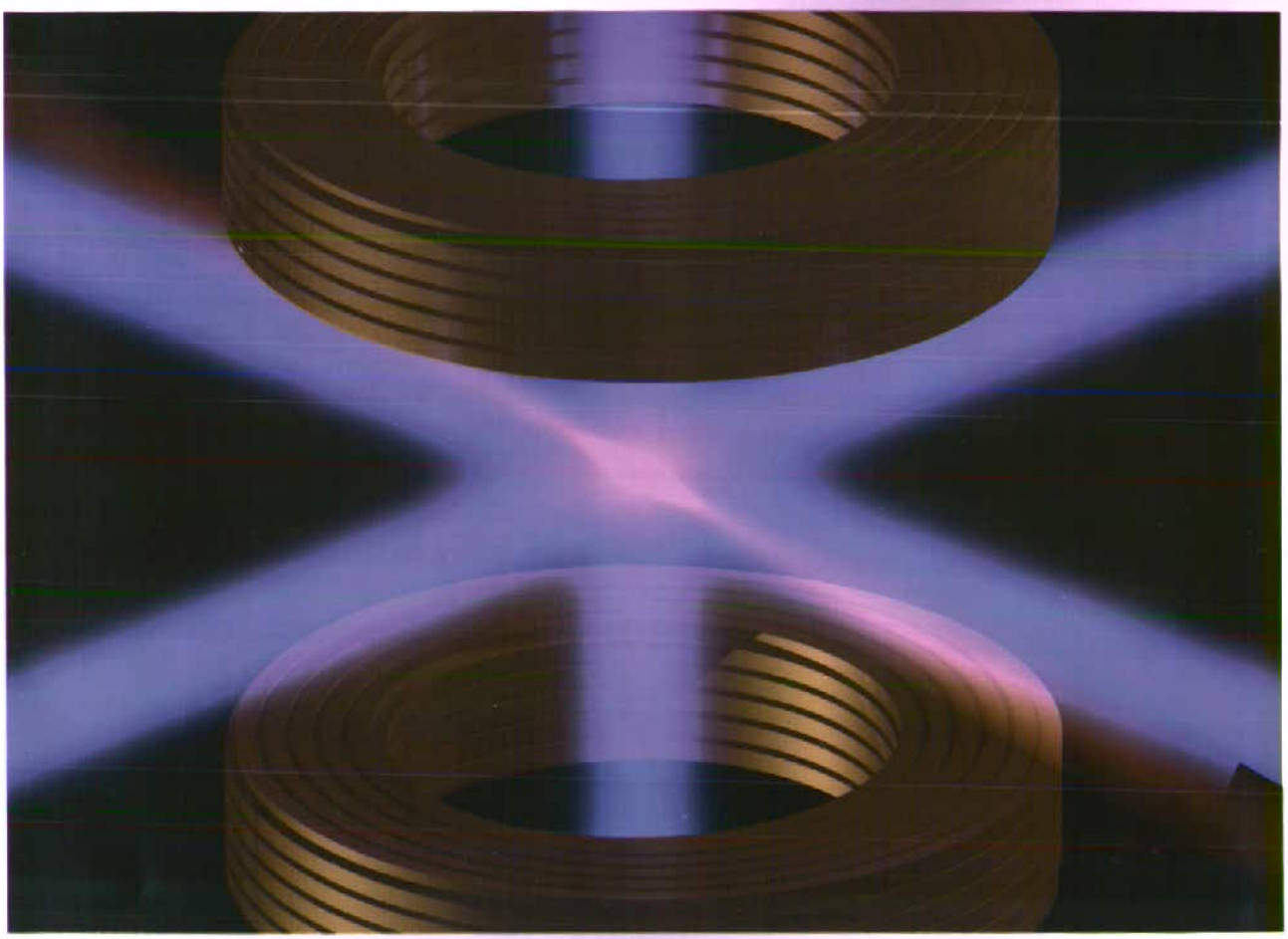
P.O. Box: 15875/6585
Department of Physics, Tehran-Iran

Vol.22 - No.79 - 2007
ISSN : 1606 - 917X

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

The relation between induced education, innovation and... 2 *by R.khalili*
The Hiroshima and Nagasaki bombs: role-play and... 4 *by M.H.kofoed*
About the readers 10
A New teaching method in physics classroom 11 *by A. Afrouzeh*
Interview with 2005 Nobel prizer 15 *by R.J. Glauber*
A simple approach to the experimental consequences of... 16 *by P. Rowlands*
Physics: Imagination and Reality (Part3) 22 *by F.Walla*
My experience in physics teaching 25 *F. Moradkhani*
The role of models in physics instruction 27 *E. Etkina*
Kinematics of the long Jump 32 *by A.Tan and J.Zumerchik*
Is it possible to have negative absolute temprature? 36 *by S.Rajaei*
Greatest physics questions for the new century 40 *by E. Haseltine*
Finding the roots of physics terms 42 *by. J. Mehrdad*
The world of nuclear science 44 *by M. Saberi*
Some interesting problems 46 *by. M. Naderi*
Flexible graphite pencil forms crucial component of ... 49 *by S. Bednarek*
An intorduction to Amprphous material 52 *by M. Yazdanpanah*
Sonoluminescence 60 *from: Wikipedia Site*

ساعت اتمی نوری جدید مؤسسه ی ملی استانداردها و فناوری (NIST) از دو پیچه ی مغناطیسی (حلقه های قرمز) و یک شبکه نوری (باریکه ی لیزری قرمز)، استفاده می کند.



◆ راهی مطمئن بسوی تقویت بنیه‌ی علمی دانش آموزان و معلمان ◆

از کجا بخریم؟

مژده به همکاران محترم آموزش و پرورش، دانشجویان و دانش‌آموزان عزیز که تمایل به دریافت محصولات دفتر انتشارات کمک آموزشی (نشریات رشد عمومی و تخصصی و کتاب‌های رشد) را دارند.

از این به بعد، غیر از سازمان آموزش و پرورش استان‌ها، اداره آموزش و پرورش شهرستان‌ها و مناطق، نمایشگاه دائمی نشریات رشد واقع در فروشگاه مرکزی انتشارات مدرسه در تهران مجلات رشد را به طور مستقیم عرضه می‌کنند.

تهران، خیابان کریم‌خان، ابتدای ایرانشهر شمالی، ساختمان شماره چهار آموزش و پرورش،
کتاب فروشی انتشارات مدرسه تلفن: ۸۸۸۲۲۶۶۸ امور مشترکین: ۷۷۳۳۶۶۵۶