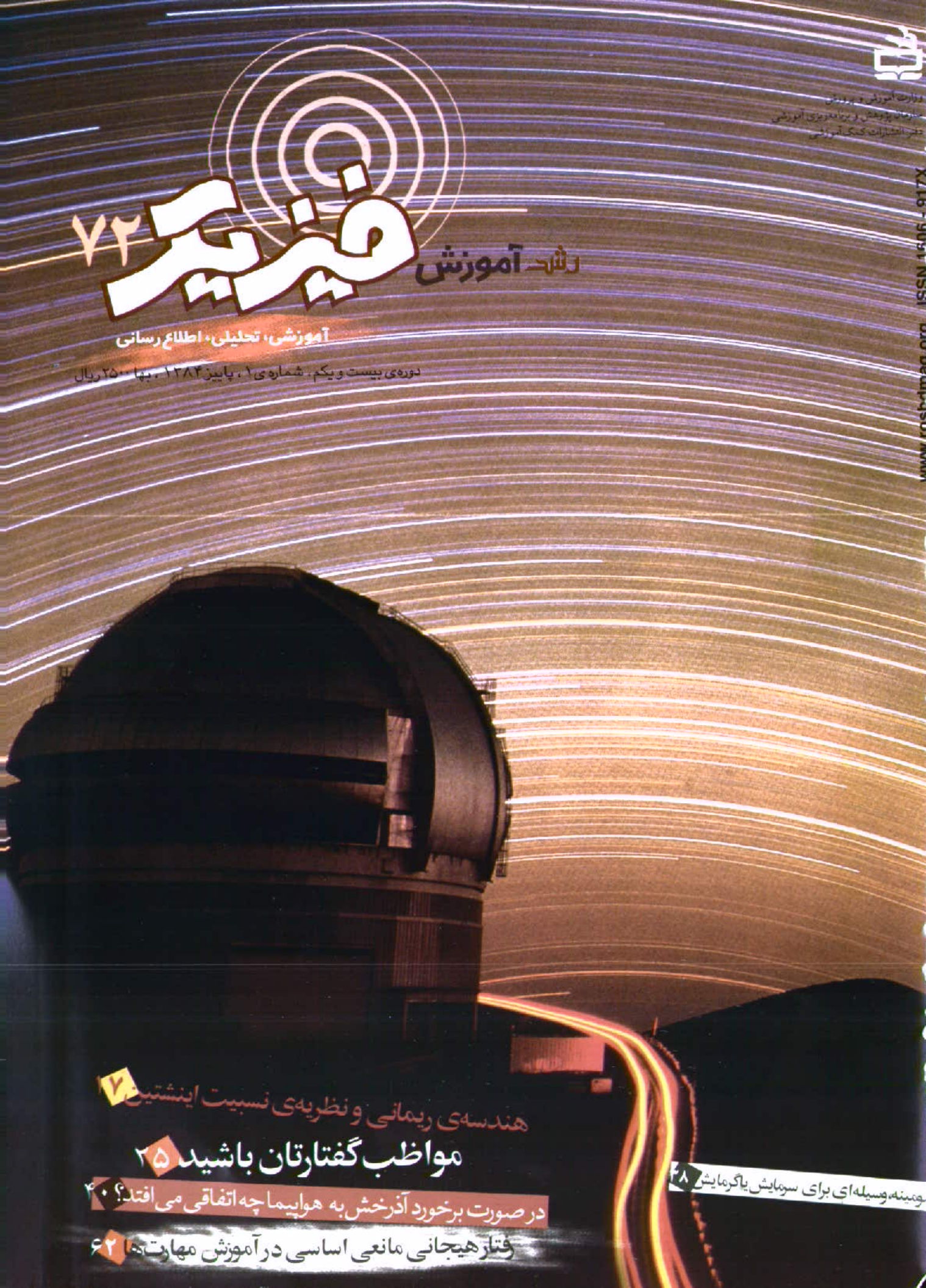
وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
دفتر انتشارات کمک آموزشی

رشد آموزش فیزیک ۷۲

آموزشی، تحلیلی، اطلاع رسانی

دوره‌ی بیست و یکم. شماره‌ی ۱. پاییز ۱۳۸۴. بها ۲۵۰ ریال

ISSN 1606-9137
www.roshdmag.ir



هندسه‌ی ریمانی و نظریه‌ی نسبیت اینشتین ۱۷
مواظب گفتارتان باشید ۲۵
در صورت برخورد آذرخش به هواپیما چه اتفاقی می افتد؟ ۴۰
رفتار هیجانی مانعی اساسی در آموزش مهارت‌ها ۶۲
همینه، وسیله‌ای برای سرمایش یا گرمایش ۴۸

تصویر عطارد که
سفینه‌ی مارینر ـ ۱۰
از فاصله‌ی
۲۰۰۰۰۰ کیلومتری
سطح سیاره مخابره
کرده است.

برگرفته از کتاب: Introduction to Astronomy, Ian Ridpath, 1999

بسم الله الرحمن الرحیم

رشد آموزش فیزیک ۷۲

آموزشی، تحلیلی، اطلاع رسانی

ISSN : 1606-917X
info@roshdmag.org

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

دوره‌ی بیست و یکم، شماره‌ی ۱، پاییز ۱۳۸۴

تصویر روی جلد،
مسیر ستارگان در بالای تلسکوپ ۸ متری جمینی مشاهده می‌شود. این تصویر با نورگیری در مدت طولانی به دست آمده است.
برگرفته از کتاب
Intrnduction to Astronomy, Ian Ridpath, 1999

سرمقاله: علم و دین ○سردبیر ۲
پنج مقاله‌ای که دنیا را تکان داد ○ *ماتیو چالمرز* ۳
درس‌هایی برای معلمان فیزیک ... ○ *کیت اس تابر* ۷
مولکول‌ها، اتم‌ها و ساختار داخلی اتم‌ها ○ جیم بریتهاویت ۹
هندسه‌ی ریمانی و نظریه‌ی نسبیت اینشتین ○ *شهناز خسرویان عرب* ۱۷
مواظب گفتارتان باشید: استعاره می‌تواند ... ○ *کیت اس تابر* ۲۵
شما چه فکر می‌کنید؟ ○ *حسن قلمی باویل علیایی* ۲۸
چگونه یک ماشین زمان بسازیم؟ ○ *پل دیویس* ۲۹
آسمان آبی و غروب سرخ ○ ۳۶
شومینه، وسیله‌ای برای ... ○ مجید بیک محمدی ۳۸
در صورت برخورد آذرخش ... ○ جی.مگ گیل، تامپا، فلا ۴۰
شبیه‌سازی آونگ کاتر ○ احمد سلیمی ۴۲
خطای حس در لحظه‌ی خیز هواپیما ○ *هالیدی ـ رزینک و واکر* ۴۷
نگاهی دوباره به مفهوم کار ○ *آر.جی جوران* ۴۹
ما و خوانندگان ○ ۵۰
پندارهای نادرست ... ○ *چارلز لاین مریور ـ تامارا دیوپس* ۵۱
رفتار هیجانی مانعی اساسی ... ○ *جهانگیر ریاضی* ۶۲

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

شمارگان: ۱۱،۰۰۰ نسخه
چاپ: شرکت افست (سهامی عام)
تلفن امور مشترکین: ۷۷۳۳۶۶۵۶-۷۷۳۳۵۱۱۰
تلفن دفتر مجله: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱ داخلی: ۲۷۱
نشانی دفتر مجله: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۶۵۸۵

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

✓ مطالب باید یک خط در میان و در یک روی کاغذ نوشته و در صورت امکان تایپ شود.
✓ شکل قرار گرفتن جدولها، نمودارها و تصاویر ضمیمه باید در حاشیه‌ی مطلب نیز مشخص شود.
✓ نثر مقاله باید روان و از نظر دستور زبان فارسی درست باشد و در انتخاب واژه‌های علمی و فنی دقت لازم مبذول گردد.
✓ مقاله‌های ترجمه شده باید با متن اصلی همخوانی داشته باشد و متن اصلی نیز ضمیمه‌ی مقاله باشد.
✓ در متنهای ارسالی باید تا حد امکان از معادل‌های فارسی واژه‌ها و اصطلاحات استفاده شود.
✓ زیرنویسها و منابع باید کامل و شامل نام اثر، نام نویسنده، نام مترجم، محل نشر، ناشر، سال انتشار و شماره صفحه‌ی مورد استفاده باشد.

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

✓ آرای مندرج در مقاله‌ها، ضرورتاً مبین نظر دفتر انتشارات کمک آموزشی نیست و مسؤولیت پاسخگویی به پرسشهای خوانندگان، با خود نویسنده یا مترجم است.
✓ مجله از بازگرداندن مطالبی که برای چاپ مناسب تشخیص داده نمی‌شود، معذوراست.

علم و دین

سرمقاله

آفرینش همه تنبیه* خداوند دل است
دل ندارد که ندارد به خداوند اقرار
سعدی

در گردهمایی امسال دست‌اندرکاران مجله‌های رشد در تنکابن یکی از موضوع‌های مورد بحث، لزوم مطرح کردن مسائل دینی در این مجله‌ها بود. برخی بر این باور بودند که این کار گرچه در مجله‌های علوم انسانی و معارف به راحتی امکان‌پذیر است، اما برای مجله‌های تخصصی علمی کار چندان آسانی نیست، چراکه موضوع مجله‌های علوم پایه سنخیت چندانی با موضوع دین ندارد.

من با این دیدگاه موافق نیستم و فکر می‌کنم که موضوع علوم طبیعی نه تنها با پرسش‌هایی که دربارهٔ دین و خداوند می‌شود، بسیار سازگار است، بلکه در واقع صحنه‌ای است که در آن عظمت ذات پروردگار به بهترین وجه تجلی می‌یابد. سوءتفاهم ناسازگاری علوم طبیعی با دین از آنجا ناشی می‌شود که اغلب ما برداشت درستی از سرشت علم نداریم و آن را تنها یک رشته رابطه‌ها و فرمول‌هایی در نظر می‌گیریم که فقط افراد خاصی موفق به درک آنها می‌شوند و برای بقیه دسترس‌ناپذیر است. از آن طرف هم فکر می‌کنیم موضوع دین نیز پذیرش بدون تفکر و بی‌چون و چرای وجود پروردگار بدون مطرح کردن پرسش درباره‌ی این موضوع است.

در واقع، علم و دین دو جنبه‌ی متفاوت تجربه‌ی انسانی را به نمایش می‌گذارند که در یکی رویارویی انسان با طبیعت مطرح است و دیگری مواجهه‌ی انسان با وجودی را نشان می‌دهد که بسیار فراتر از خود اوست. در یکی از این دو موضوع از مشاهده‌ی عمیق و تجربه استفاده می‌شود، و در دیگری اعتقاد و پایبندی به مسئولیتی به میان می‌آید که در این رویارویی‌ها وجود دارد. یکی این پرسش را مطرح می‌کند که رویدادها چگونه در طبیعت رخ می‌دهند، و دیگری می‌پرسد که چرا این رویدادها به وقوع می‌پیوندند و هدف و مقصدشان چیست؟

به عنوان مثال، مسأله‌ای را در نظر می‌گیریم که همواره از زمان پیدایش انسان، هم ذهن دانشمندان را به خود مشغول داشته است و هم مورد توجه متفکران دینی بوده و آن مسأله‌ی آفرینش عالم است. یکی از دستاوردهای بزرگ فیزیک قرن بیستم آن بود که دانشمندان با مطالعه‌ی ستارگان و کهکشان‌ها و نوری که اتم‌های تشکیل دهنده‌ی آنها گسیل می‌دارند موفق شدند مدل موفقی درباره‌ی پیدایش عالم بسازند که به «مهبانگ» معروف است. با توجه به این مدل، عالم در پانزده بیلیون سال پیش در یک انفجار عظیم به وجود آمده و بر اثر انبساط و سرد شدن آن ساختارهای کنونی به تدریج شکل گرفته‌اند. درستی این مدل را آزمایش‌های چندی تأیید کرده‌اند. بنابراین دانشمند فیزیک که در پی شناخت عالم است درمی‌یابد که مدل‌های عالم، که محصول ذهن او هستند، عملاً در ساختار عالم فیزیکی اطراف او نیز یافت می‌شوند. همین‌طور، وقتی از دنیای کاملاً شهودی و غیرقابل رؤیت موجودات کوانتومی صحبت می‌کنیم متوجه می‌شویم که نوعی هماهنگی بین آنچه در اطراف ما در طبیعت می‌گذرد و آنچه در درون ما و در ذهنمان در جریان است وجود دارد و این هماهنگی در نهایت نشان می‌دهد که این دو، یعنی علم و دین، سرچشمه‌ی مشترکی دارند.

قانونمند و قابل شناخت بودن عالم که دستاوردی علمی است و در تمام عالم وجود، از ستارگان و کهکشان‌ها در بزرگ مقیاس گرفته تا ساختارهای اتمی و زیر اتمی در کوچک مقیاس مشاهده می‌شود، نشانگر ابهت و عظمتی است که به گفته‌ی انیشتین ما را شگفت‌زده می‌سازد و نوعی احساس مذهبی عمیق را در ما به وجود می‌آورد. این دستاورد علمی، ما را به تبیین و شناختی ژرف فرامی‌خواند که بسیار فراتر از توان علم است. بر خلاف تصور بسیاری از افراد، تعامل میان علم و دین مقطعی و مربوط به آفرینش و منشأ زمانی عالم نیست که عدم آگاهی ما از آنچه پیش از مهبانگ وجود داشته است خللی در آن به وجود آورد. بلکه، مسئله‌ی اساسی موردنظر منشأ وجودی آن است که به این پرسش بنیادی می‌پردازد که چرا موجودات وجود دارند. خداوند همان اندازه امروز آفریننده است که پانزده بیلیون سال پیش و در هنگام مهبانگ بود. از این رو، کیهان شناسی مهبانگ همان اندازه که از نظر علمی جالب توجه است از لحاظ الهیّاتی نیز اهمیت دارد.

در طول تاریخ شاهد آن هستیم که بسیاری از فیزیکدانان برجسته دل‌بستگی شدیدی به الهیات داشته‌اند. برای مثال، کوپرنیک کشیش بود، نیوتون که یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان همه‌ی اعصار است و تحول عظیمی را در فیزیک به وجود آورد، علاقه‌ی اصلی‌اش به الهیات بود. همین‌طور توماس یانگ که نظریه‌ی موجی نور را به اثبات رساند، یک کشیش بود و روحانی برجسته‌ای چون اسقف بارکلی در برابر کسانی که نگاه مکانیستی به علم داشتند این پاسخ زیبا را مطرح کرد که فرایند دیدن چیزی بسیار فراتر از تشکیل تصویر در عدسی چشم است.

بنابراین همبستگی عمیقی میان علم و دین وجود دارد. زیرا عالمان الهی و دانشمندان هر دو در پی وحدت بخشیدن به امور هستند و جست‌وجوی شناخت که برای دانشمندان امری طبیعی است، سرانجام به جست‌وجوی خداوند می‌انجامد و تنها با ترکیب این دو است که علم به شکوفایی و رشد خود در جهت تأمین سعادت انسان ادامه می‌دهد.

سردبیر

زیرنویس

* توجه دادن

پنج مقاله‌ای که دنیا را تکان داد

ماتیو چالمرز
مترجم: منیژه رهبر

در سال ۱۹۰۵، یک کارمند گمنام اداره‌ی ثبت اختراعات در «برن»، قانون‌های فیزیک را در اوقات فراغت خود بازنویسی کرد. ماتیو چالمرز سال معجزه‌آسای اینشتین را توصیف می‌کند:

اغلب فیزیکدانان بسیار خوشحال خواهند شد، اکتشافی به اندازه‌ی کافی مهم داشته باشند که به نسل‌های آینده‌ی فیزیک تعلیم داده شود. البته تنها تعداد کمی موفق می‌شوند، در زمان حیات

خود به این هدف مهم برسند و تعداد کم‌تری توفیق آن را پیدا می‌کنند که دو تا از کارهایشان در کتاب‌های درسی ظاهر شود. اما وضعیت اینشتین فرق می‌کرد. در مدتی کم‌تر از هشت ماه در سال ۱۹۰۵، او پنج مقاله‌ای را تکمیل کرد که جهان را برای همیشه تغییر دادند. این مقاله‌ها سه موضوع متفاوت «نسبیت»، «اثر فوتو الکتریک» و «حرکت براونی» را در بر می‌گرفتند. اینشتین، دیدگاه ما را نسبت به زمان و مکان دگرگون ساخت، نشان داد که کافی نیست نور را کاملاً به صورت موج توصیف کنیم، و شالوده‌ی لازم برای کشف اتم‌ها را پی‌ریزی کرد.

شگفت این که مقاله‌های سال ۱۹۰۵ اینشتین، نه بر شواهد تجربی دشوار مبتنی بودند و نه بر ریاضیات پیچیده، بلکه او با استدلال‌هایی ظریف، به نتیجه‌گیری‌هایی بر مبنای شهود فیزیکی رسید. به گفته‌ی **جرارد توفت**[1] از «دانشگاه اوترخت» و یکی از برندگان جایزه‌ی نوبل فیزیک سال ۱۹۹۹، برای کار در زمینه‌ی نظریه‌ی کوانتومی: «کار اینشتین به خاطر دشوار بودنش بارز نیست، بلکه از این نظر اهمیت دارد که هیچ کس در آن زمان مانند او نمی‌اندیشید. **دیراک**[2]، **فرمی**[3]، **فاینمن**[4] و دیگران نیز در فیزیک سهم دارند، اما اینشتین باعث شد جهان برای نخستین بار متوجه شود که تفکر ناب می‌تواند شناخت ما از طبیعت را تغییر دهد.»

و اگر کوچک‌ترین تردیدی در مورد عظمت دستاوردهای اینشتین داشته باشیم، باید به خاطر آوریم که او همه‌ی این کارها را در «اوقات فراغت» خود انجام داده است.

رازگشایی‌های آماری

اینشتین که در سال ۱۹۰۵ متاهل و دارای پسری یکساله بود به عنوان کارمند اداره‌ی ثبت اختراعات، در برن سوئیس کار می‌کرد. او به فیزیک دلبستگی داشت، اما پس از فارغ‌التحصیل شدن از «مدرسه‌ی پلی‌تکنیک» در زوریخ در سال ۱۹۰۰، موفق به یافتن شغل دانشگاهی نشده بود. با وجود این، توانست بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۰۴، پنج مقاله در مجله‌ی معروف آلمانی **آنالن در فیزیک**[5] به چاپ برساند. رساله‌ی سرخودی نیز درباره‌ی نیروهای مولکولی به «دانشگاه زوریخ» تسلیم کرده بود که مورد قبول قرار نگرفت.

بیش‌تر این مقاله‌های اولیه درباره‌ی واقعیت اتم‌ها و مولکول‌ها بودند؛ چیزی که در آن زمان اطمینانی در موردش وجود نداشت. اما اینشتین در ۱۷ مارس ۱۹۰۵، سه روز پس از بیست و ششمین سالگرد تولدش، مقاله‌ای تحت عنوان «دیدگاهی اکتشافی درباره‌ی تولید و تبدیل نور» به **آنالن در فیزیک** ارائه کرد.

اینشتین در این مقاله پیشنهاد کرد که از دیدگاه ترمودینامیکی، نور را می‌توان متشکل از کوانتوم‌های مستقل انرژی در نظر گرفت (*Ann.Phys. Lpz* 17 132-148). این فرضیه که ماکس پلانک[6] چند سال پیش آن را با احتیاط مطرح کرده بود، تصویر بسیار ریشه‌دار موجی را مستقیماً به مبارزه می‌طلبید. با این همه، اینشتین توانست با بهره‌گیری از این فکر، بعضی معماهای مربوط به چگونگی پرتاب الکترون‌ها از یک فلز به وسیله‌ی نور یا سایر تابش‌های الکترومغناطیسی را به کمک اثر فوتوالکتریک حل کند.

مثلاً، الکترودینامیک ماکسول نمی‌تواند توجیه کند که چرا انرژی فوتوالکترون‌های پرتاب شده، فقط تابع بسامد نور فرودی است و به شدت آن بستگی ندارد. با این همه، اگر نور با بسامد معین، در واقع از بسته‌های گسسته یا فوتون‌های هم انرژی تشکیل شده بود، درک این پدیده آسان می‌شد. اینشتین برای این کار، جایزه‌ی نوبل فیزیک سال ۱۹۲۱ را دریافت کرد؛ اگرچه در بیانیه‌ی رسمی ذکر شده بود که این جایزه «برای خدمت او به فیزیک نظری» نیز داده می‌شود.

به گفته‌ی **فرانک ویلچک**[7]، نظریه‌پرداز «انستیتوی فناوری ماساچوست» و برنده‌ی جایزه‌ی نوبل فیزیک ۲۰۰۴: «استدلال‌هایی که اینشتین در نظریه‌ی فوتوالکتریک و نظریه‌های تابش بعدی به کار برد، به لحاظ جسارت و زیبایی مبهوت کننده‌اند. او ایده‌هایی انقلابی را مطرح کرد که هم الهام‌بخش کارهای تجربی تعیین کننده شد و هم به ایجاد نظریه‌ی کوانتومی کمک کرد.»

کار اینشتین در مورد سرشت کوانتومی نور، اگرچه در زمان مطرح شدن آن کاملاً درک نشد، اما اولین گام به سوی تثبیت سرشت دوگانه‌ی ذرات کوانتومی بود.

در ۳۰ آوریل، یک ماه پیش از چاپ مقاله‌اش او درباره‌ی اثر فوتوالکتریک، دومین مقاله‌ی سال ۱۹۰۵ خود را تکمیل کرد. در آن نشان داد که چگونه می‌توان با مطالعه‌ی حرکت مولکول‌ها در یک محلول، عدد آووگادرو و اندازه‌ی آن‌ها را محاسبه کرد. این مقاله که در ژوئیه به عنوان رساله‌ی دکترا در دانشگاه زوریخ پذیرفته شد، در سال ۱۹۰۶ با تغییری اندک، در **آنالن در فیزیک** به چاپ رسید. به رغم این که رساله‌ی اینشتین درباره‌ی ابعاد مولکولی، اغلب در مقایسه با مقاله‌هایش درباره‌ی نسبیت خاص و اثر فوتوالکتریک ناشناخته‌تر مانده، اما کاری است که بیش‌ترین ارجاع به آن صورت گرفته است. در واقع، دلمشغولی او به مکانیک آماری بود که مبنای چند تحول اساسی، از جمله ایده‌ی کوانتیده بودن نور را تشکیل داد.

اغلب فیزیکدانان پس از پایان رساله‌ی دکترای خود، یا به جشن گرفتن می‌پردازند یا استراحت می‌کنند. اما اینشتین درست ۱۱ روز پس از آن مقاله، مقاله‌ی دیگری را به **آنالن در فیزیک** فرستاد. در این مقاله که عنوان آن «درباره‌ی حرکت ذرات کوچک معلق در مایع‌های در حال سکون، با توجه به نظریه‌ی جنبشی گرمایی» بود، اینشتین از ترکیب نظریه‌ی جنبشی هیدرودینامیک، معادله‌ای را به دست آورد و نشان داد که

جابه‌جایی ذرات براونی به صورت ریشه‌ی دوم زمان تغییر می‌کند (*Ann.Phys.* Lpz **17** 549-500).

این موضوع را **ژان پرن**[8] سه سال بعد به صورت تجربی تأئید کرد، و یک‌بار برای همیشه نشان داد که اتم‌ها در واقع وجود دارند. در حقیقت، اینشتین نظریه‌ی حرکتی براونی خود را در مقاله‌ی دیگری بسط داد که در ۱۹ دسامبر به مجله فرستاده بود، ولی تا فوریه‌ی ۱۹۰۶ چاپ نشد.

یک کشف خاص

اندکی پس از به پایان رساندن مقاله‌اش درباره‌ی حرکت براونی، فکر همزمان ساختن ساعت‌هایی که در مکان‌های متفاوت قرار داشته باشند، به ذهن اینشتین خطور کرد. این باعث شد، مقاله‌ای بنویسد که در ۳۰ ژوئن به دفتر مجله‌ی *آنالن در فیزیک* رسید و باعث شد، شناخت ما از فضا و زمان مورد بازنگری قرار گیرد. این مقاله‌ی ۳۰ صفحه‌ای که هیچ مرجعی نداشت، چهارمین مقاله‌ی اینشتین با عنوان «درباره‌ی الکترودینامیک اجسام متحرک» بود (*Ann.Phys.* Lpz **17** 891-921).

حدود ۲۰۰ سال قبل از ۱۹۰۵، فیزیک بر مبنای قانون‌های حرکت **نیوتون** قرار داشت که در چارچوب‌های مرجع ساکن و چارچوب‌هایی که با سرعت ثابت در خط راست در حرکت بودند، به خوبی صدق می‌کردند. بنابراین، با استفاده از قاعده‌های «گالیله‌ای» صحیح می‌توانستیم، قانون‌های فیزیک را چنان تبدیل کنیم که به چارچوب مرجع بستگی نداشته باشند.

با این همه، نظریه‌ی الکترومغناطیس که **ماکسول** در اواخر قرن نوزدهم به وجود آورد، مشکلی را برای این «اصل نسبیت» به وجود می‌آورد. زیرا طبق این نظریه، امواج الکترومغناطیسی همواره با یک سرعت حرکت می‌کردند. یا الکترودینامیک غلط بود و یا نوعی «اتر» ساکن وجود داشت که امواج می‌توانستند در آن منتشر شوند. همین‌طور، نیوتون می‌توانست برخطا باشد.

با وفاداری به سبک خود، اینشتین مفهوم اتر را (که به هر صورت، به‌طور تجربی آشکارسازی نشده بود)، در گامی متهورانه کنار گذاشت. او فرض کرد، هر قدر هم سریع حرکت کنید، به نظر می‌رسد که نور همواره با سرعت ثابت در حرکت است: سرعت نور یک ثابت بنیادی طبیعت است که هرگز نمی‌توان از آن تجاوز کرد.

از ترکیب این اصل با شرط یکسان بودن قانون‌های فیزیک در تمام چارچوب‌های «لَخت» (یعنی، چارچوب‌های بدون شتاب)، اینشتین نظریه‌ی جدیدی را برای حرکت به وجود آورد که مکانیک نیوتون تقریبی از آن است و فقط در سرعت‌های کم و روزمره صدق می‌کند. این نظریه بعدها به نظریه‌ی نسبیت خاص معروف شد ـ از این نظر خاص است که فقط در مورد چارچوب‌های بدون شتاب به کار می‌رود ـ و معلوم شد که فضا و زمان ارتباطی تنگاتنگ با یکدیگر دارند.

با توجه به فرض‌های نسبیت خاص اینشتین، چیزهای عجیبی برای فضا و زمان رخ می‌دهند که برای انیشتین ناشناخته بودند. اما **لورنتس** و دیگران، یک سال قبل، آن‌ها را پیش‌بینی کرده بودند. مثلاً، طول جسمی که با سرعت ثابت در حرکت است، کوتاه‌تر می‌شود، و ساعت متحرک، کندتر از ساعت ساکن کار می‌کند. این اثرها در صدسال اخیر در تعداد بی‌شماری آزمایش تأئید شده‌اند، اما در سال ۱۹۰۵ مشهورترین پیش‌بینی نظریه‌ی اینشتین هنوز انجام نشده بود.

اینشتین پس از گذراندن یک تعطیلی خانوادگی کوتاه در صربستان، پنجمین و آخرین مقاله‌ی خود را در ۲۷ سپتامبر ۱۹۰۵ ارائه کرد. عنوان این مقاله‌ی سه صفحه‌ای این بود: «آیا لختی یک جسم به محتوای انرژی آن بستگی دارد؟» این مقاله، نشانگر «اقدام بعدی» در مورد پیامدهای نسبیت خاص بود که در معادله‌ای ساده که اکنون به $E=mc^2$ معروف است، به اوج رسید (*Ann.Phys.* Lpz **18** 639-641). این معادله که به صورت مشهورترین معادله در تمام علوم درآمد، رویه‌ی تزئینی کیک بود.

به گفته‌ی ویلچک: «نظریه‌ی نسبیت خاص که اوج آن پیش‌بینی تبدیل جرم و انرژی به یکدیگر است، یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای فیزیک، یا هرچیز دیگر با این محتوا به حساب می‌آید. کار اینشتین در زمینه‌ی حرکت براونی، شایسته‌ی یک جایزه‌ی نوبل درست و حسابی بود. اثر فوتوالکتریک سزاوار جایزه‌ی نوبلی قوی بود، اما برای نسبیت خاص و $E = mc^2$، باید جایزه‌ی نوبلی اَبَرقوی به اینشتین می‌دادند.

با این همه، بسیاری از فیزیکدانان در حالی که در مورد مقیاس دستاوردهای اینشتین تردیدی ندارند، فکر می‌کنند که کشف‌های سال ۱۹۰۵ را سرانجام دیگران می‌کردند. **ادوارد ویتن**[9] از «انسیتوی مطالعات پیشرفته‌ی پرینستون» می‌گوید: «اگر اینشتین نبود، شاید مردم به مدت یک دهه یا چیزی مانند آن سکندری می‌رفتند، ولی سرانجام برداشت روشنی از نسبیت عام به دست می‌آوردند.»

توفت نیز با این نظر موافق است: «روند طبیعی‌تر رویدادها بدین صورت در می‌آمد که اکتشاف‌های سال ۱۹۰۵ اینشتین را افراد دیگری انجام می‌دادند، نه فقط یک نفر.»

اما اغلب افراد گمان می‌کنند که زمانی بسیار طولانی‌تر، شاید چند دهه، طول می‌کشید تا نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین شکل بگیرد. به گفته‌ی **ویلچک**، یکی از پیامدهای نسبیت عام به اندازه‌ای از زمان خود جلوتر بود که موضوع آن به مدت چند سال، مورد بی‌توجهی قرار گرفت.

پیامد

در پایان سال ۱۹۰۵، اینشتین کم‌کم در جامعه‌ی فیزیک مشهور می‌شد، و پلانک و **فیلیپ لنارد** که جایزه‌ی فیزیک آن سال را برد، مشهورترین حامیانش بودند. در واقع، پلانک در آن زمان یکی از اعضای تحریریه‌ی آنالن در فیزیک بود.

اینشتین سرانجام عنوان آقای دکتر را در ژانویه‌ی ۱۹۰۶ از دانشگاه زوریخ دریافت داشت. اما قبل از این که اولین سمت دانشگاهی را در زوریخ به دست آورد، دو سال و نیم دیگر در اداره‌ی ثبت اختراعات ماند. در این زمان، تفسیر آماری او از حرکت براونی و فرض‌های متهورانه‌اش درباره‌ی نسبیت خاص، به صورت بخشی از بافت فیزیک درآمده بودند؛ گرچه چند سال دیگر طول کشید تا مقاله‌ی او درباره‌ی کوانتوم‌های نور پذیرش عام پیدا کند.

۱۹۰۵ بدون شک سالی عظیم برای فیزیک و برای اینشتین بود. به گفته‌ی ویلچک: «باید به سراغ چهره‌های نیمه اسطوره‌ای مانند گالیله یا مخصوصاً نیوتون بروید تا همتای مناسبی برای او بیابید. شاید نزدیک‌ترین در عصر جدید دیراک باشد که اگر تک‌قطبی‌های مغناطیسی کشف شده بودند، اینشتین را گرفتار رقابت واقعی می‌ساخت!»

اما نباید فراموش کنیم که ۱۹۰۵، درست آغاز تولد میراث اینشتین بود. عالی‌ترین دستاورد او ـ نظریه‌ی نسبیت عام ـ هنوز در راه بود.

وقایع دیگر سال ۱۹۰۵

سال جادویی اینشتین، سایر تحولات علمی سال ۱۹۰۵ را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. بنابراین، به‌جز اختراع سلوفون، شروع به کار تابلوهای نئون، و آشنایی مردم با چای کیسه‌ای، چه اتفاق دیگری در آن سال رخ داد؟ با توجه به تعداد ارجاع‌ها در مجله‌های فیزیک و شیمی فیزیک از سال ۱۹۴۵، طبق نظر **ورنرمارکس**[10] و **مانوئل کاردونا**[11] از انستیتوی ماکس پلانک، برای تحقیقات حالت جامد، در «اشتوتگارت»، سه مقاله‌ی سال ۱۹۰۵ اینشتین در میان پنج مقاله با بیش‌ترین ارجاع قرار دارد. در واقع، مقاله‌های او درباره‌ی حرکت براونی و نسبیت خاص به ترتیب با ۱۴۶۷ و ۶۴۲ ارجاع، مکان اول و دوم را به خود اختصاص داده‌اند (مقاله‌های اثر فوتوالکتریک و $E=mc^2$ در مکان پنجم و یازدهم هستند). چهارمین مقاله‌ی پرارجاع سال ۱۹۰۵ را **پل لانژون**[12] نوشته است. وی فرمولی بنیادی را در نظریه‌ی جنبشی به دست آورد که ظاهراً موضوعی مورد توجه در آن زمان بود. در حالی که **لاورنس براگ**[13] مقاله‌ای درباره‌ی اتلاف انرژی ذرات آلفا در محیط‌های متفاوت منتشر کرد که ششمین مقاله‌ی پر ارجاع در آن سال بود.

هندریک آنتون لاورنس[14] که در توسعه‌ی نظریه‌ی نسبیت خاص مؤثر بود، در سال ۱۹۰۵ به عضویت انجمن سلطنتی درآمد و چند مقاله منتشر کرد که یکی از آن‌ها به حرکت الکترون‌ها در اجسام فلزی مربوط بود. در آن زمان، فیزیک هسته‌ای نیز مورد توجه فراوان قرار داشت. **ارنست رادرفورد**[15] و **فردریک سُدی**[16] نظریه‌ی خود درباره‌ی تبدیل‌های هسته‌ای را منتشر کردند و **برترام**[17] و **بولت وود**[18] نشان دادند که سرب محصول نهایی واپاشی اورانیم است. اندکی دورتر، **ویکتور گلداشمیت**[19] برای احیای اکسیدهای فلزی به فلزات روشی ابداع کرد، در حالی که **هالدین**[20] و **پریستلی**[21] نقش دیوکسیدکربن در تنظیم تنفس را به نمایش گذاشتند.

خارج از جهان علم، انقلابی ناموفق در روسیه آغاز می‌شد. **آنتونیو گودی**[22]، ساخت یکی از دوبنای مشهور خود در بارسلون را شروع کرد و اچ. جی. **ولز**[23] کیپز را نوشت. در ضمن، **ژان پل سارتر**[24] و **هنری فوندا**[25] متولد شدند؛ همین‌طور فیزیکدان برنده‌ی جایزه‌ی نوبل، **امیلیو سگره**[26] که ۴۰ سال بعد با انفجار اولین بمب اتمی، شاهد کاربرد فرمول $E=mc^2$ بود.

زیرنویس

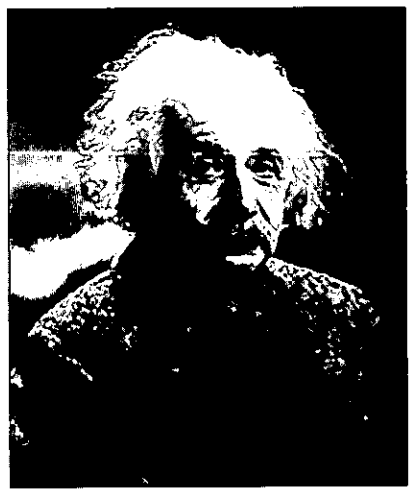
1. Gerard t'Ltoft
2. Dirac
3. Fermi
4. Feynman
5. Annalen der Physik
6. Max Planck
7. Frank Wilczek
8. Jean Perrin
9. Ed Witten
10. Werner Marx
11. Manuel Cardona
12. Paul Langevin
13. Lawrence Braogg
14. Hendrik Antoon Lorentz
15. Ernest Rutherford
16. Frederik Soddy
17. Bertran
18. Boltwood
19. Victor GoldSmith
20. Haldane
21. Priestley
22. Antonio Gaudi
23. H.G.Wells
24. Jean-paul Sartre
25. Henry Fonda
26. Emilio Segre

منبع

Physisces world. January 2005

درس‌هایی برای معلمان فیزیک بر پایه‌ی خرد اینشتین

کیت اس تابر*
مترجم: روح اله خلیلی بروجنی
rkhalili@physicist.net



«سرنوشت، تاوان تنفرم از قدرت را با قدرتمند ساختن من زقم زد.»

آلبرت اینشتین

خوانندگان مجله‌ی «آموزش فیزیک» می‌دانند که سال ۲۰۰۵ صدمین سال انتشار پنج مقاله‌ای است که باعث شهرت علمی اینشتین شد. هر چند تخصص اینشتین در فیزیک بود و نه در آموزش، با این حال او می‌توانست در موضوع‌های گسترده‌تری چون سرشت علوم و بهبود تفکر علمی اظهار نظر کند. به مناسبت گرامیداشت سال اینشتین خواهیم دید، چگونه یک مدرس فیزیک می‌تواند، برخی از نظرهای او را به عنوان یک مرجع آموزش تفسیر کند. نقل قول‌هایی از اینشتین را، از یک فرهنگ نقل قول‌های علمی ذکر می‌کنیم [۲].

«عقل سلیم چیزی نیست جز پیشداوری‌هایی که قبل از ۱۸ سالگی در ذهن ما شکل می‌گیرد.»

در این‌جا اینشتین متذکر می‌شود که کار معلم فیزیک از آن‌رو دشوار است که دانش‌آموزان با گستره‌ای از ایده‌ها و پیشداوری‌ها درباره‌ی جهان پابه کلاس می‌گذارند. به نظر می‌رسد که بیش‌تر این ایده‌ها در زندگی روزمره به کار می‌روند. با وجود این، اغلب آن‌ها با مدل‌هایی از جهان که در فیزیک مورد استفاده قرار می‌گیرند، ناسازگارند. متأسفانه، این ایده‌ها و برداشت‌های قبلی، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در تفکر دانش‌آموزان دارند. معلم فیزیک باید به سختی بکوشد تا بر پیشداوری‌های دانش‌آموزان غلبه کند و آن‌ها را در مورد ارزش استفاده از روش علمی در مشاهده‌ی پدیده‌ها متقاعد سازد.

«تاریخ اکتشاف علمی و فنی به ما می‌آموزد که نوع بشر، در تفکر مستقل و قدرت تخیل سازنده، فقیر است. حتی وقتی شرایط خارجی و علمی برای شکل گیری یک ایده وجود دارد، معمولاً محرک و مشوقی بیرونی لازم است تا آن ایده را عملی سازد. به عبارت دیگر، بشر قبل از ظهور ایده‌ای جدید، باید بارها اشتباه کند و سکندری برود.»

به علت تصورهای مربوط به عقل سلیم که دانش‌آموزان با خود به کلاس می‌آورند، رهیافت‌های علمی پذیرفته شده‌ی معروف به «آموزش اکتشافی»، به ندرت در فراگیری مدل‌های پذیرفته شده‌ی علمی درباره‌ی جهان کارسازند. بعید به نظر می‌رسد که بتوان با قراردادن پدیده‌هایی که بصیرت انتقادی را در دانشمندانی چون ارشمیدس، نیوتون و مایسنر به وجود آوردند، بر سر راه دانش‌آموزان، آن‌ها را به باز تولید اکتشاف دانشمندان

بزرگ گذشته رهنمون شد. در عوض، معلم باید به دقت چارچوبی را برای یادگیری فراهم کند تا دانش‌آموزان برای رسیدن به نتیجه‌گیری درست، لنگان‌لنگان به پیش بروند!

«پیش از یافتن قالب‌ها در اشیا، بشر باید آن‌ها را به طور مستقل در ذهن خود بسازد.»

اینشتین طرفدار شیوه‌ای است که به ساختارگرایی در آموزش علوم معروف است. وی اذعان دارد که دانش آن چیزی است که در ذهن بشر ساخته می‌شود. بدین ترتیب که وقتی شخصی مطلبی را فرا می‌گیرد، فرایند تشکیل گام‌به‌گام چارچوب معلومات درباره‌ی آن، ذره‌ذره در ذهن او شکل می‌گیرد. هر شناخت جدیدی باید به دقت، روی چارچوب‌های مفهومی موجود بنا شود.

«تنها توجیه درستی مفهوم‌های ما آن است که این مفاهیم به ما کمک می‌کنند تا مجموعه‌ای از تجربه‌های خود را بیان کنیم. فراتر از این، آن‌ها مشروعیتی ندارند.»

با این همه اینشتین متذکر می‌شود، او یک ساختارگرای افراطی نیست که هر مفهوم مطرح شده را، به یک میزان، در خور مطرح کردن در فیزیک بداند. مانند بیش‌تر معلمان فیزیک اینشتین معتقد است، ارزش چارچوب‌های مفهومی به ارزش آن‌ها در بیان، پیش‌بینی و بررسی جهان فیزیکی بستگی دارد.

«ایده‌هایی که این روزها جوانان دارند، شگفت‌انگیز است اما من یک کلمه از آن‌ها را هم باور ندارم.»

اینشتین اذعان می‌کند که پژوهش در آموزش فیزیک نشان داده است که راه‌های متنوع و شگفت‌آوری وجود دارد که دانش‌آموزان مختلف می‌توانند از طریق آنها نیروها، نور، مدارهای الکتریکی و غیره را مجسم کنند. با این همه، بسیاری از این ایده‌ها با شواهد تجربی زیربنای مدل‌های علمی جهان که در برنامه‌ی درسی فیزیک مدرسه‌ها ارائه می‌شود، ناسازگارند.

«تخیل بسیار مهم‌تر از شناخت است.»

از سر دلسوزی و به خاطر تشویق آموزش فیزیک، اینشتین نمی‌خواهد از دانش‌آموزانی انتقاد کند که با برداشت‌های دیگر وارد کلاس فیزیک می‌شوند. اینشتین به تخیل در فیزیک اهمیت زیادی می‌دهد. بچه‌هایی که گستره‌ی وسیعی از ایده‌ها را درباره‌ی موضوع‌های علمی به نمایش می‌گذارند، در نهایت، در یادگیری الگوهای برنامه‌ی درسی علمی نسبت به دانش‌آموزان دارای تخیل ضعیف‌تر، موفق‌ترند.

«اجزای تفکر، علامت‌ها و نیز تصویرهای کم و بیش روشنی هستند که به دلخواه تولید و بازترکیب می‌شوند. این اجزا در مورد من، برخی عینی و برخی دیگر ذهنی هستند. واژه‌های متداول و نشانه‌های دیگر را باید با جدیّت جست‌وجو کرد.»

اینشتین مدعی است که سرشت تفکر خلاق او به ندرت به بیان درمی‌آید. او در جایی دیگر اظهار می‌کند: **«به‌طور کلی، به ندرت به واژه‌ها فکر می‌کنم.»** به نظر می‌رسد اینشتین علاقه‌مند است، به معلمان فیزیک یادآوری کند که دانش‌آموزان دارای شخصیتی مستقل، شیوه، طرز تفکر و یادگیری مربوط به خود هستند. برای معلم فیزیک سودمند نیست که فرض کند، دانش‌آموزان هم مانند او فکر می‌کنند. معلمی که فکر می‌کند، دانش‌آموزانی که به اصطلاح، از راه عمل یاد می‌گیرند توانایی عقلانی کم‌تری نسبت به دانش‌آموزانی که از راه گوش یا چشم فرا می‌گیرند دارند، باید به گفته‌ی اینشتین توجه کند که او برای بسط و گسترش ایده‌هایش از یادگیری عملی استفاده کرده است.

«خداوند نگران مشکلات ریاضی ما نیست. او به لحاظ تجربی نظم می‌بخشد.»

به‌رغم پذیرش توانمندی سرشت سازنده‌ی شیوه‌های متفاوت تفکر، اینشتین متذکر می‌شود که غالباً فیزیک، به‌طور مؤثر به صورت ریاضی مدل‌سازی می‌شود. او به دانشجویانی که در آینده می‌خواهند به تحصیل در دوره‌های تکمیلی درسی فیزیک بپردازند، هشدار می‌دهد که موفقیت آن‌ها به احتمال زیاد به توانایی و مهارتشان در ریاضی بستگی دارد.

معبد علم ساختمانی چند وجهی است.»

اینشتین، که از شیطنت مبرا نیست، یادآور می‌شود که گرچه فیزیک بخشی از علوم گسترده‌تر طبیعی است، ولی ویژگی‌هایی دارد که آن را از رشته‌های علمی دیگر متمایز می‌سازد. شاید او نگران آن است که چون فیزیک دیگر بخش مجزایی از برنامه‌ی درسی ملی کشورهای انگلیسی زبان نیست، به بسیاری از دانش‌آموزان، درس علوم به صورت کمی ارائه شود. لذا گوشزد می‌کند که تجربه‌ی دانش‌آموزان از علوم باید به گونه‌ای متبلور شود که جنبه‌های متفاوت علم را به نمایش بگذارد، نه این که به صورت توده‌ای بی‌شکل درآید. شاید او به ما یادآوری می‌کند که آموزگار علوم، جایگاه مهمی در این معبد دارد.

زیرنویس

[1] Ault C R. Novak J Dand Gowin D B 1984 Constructing Vee maps for clinical interviews on molecule concepts Sci. Edu. 68 441-62.

[2] Mackay A L 1991 A Dictionary of Scientific Quotations (Bristol: Adam Hilgery)

[3] Miller A I 1986 Imagery in Scientific Thought (Cambridag. MA: MIT Press)

مرجع

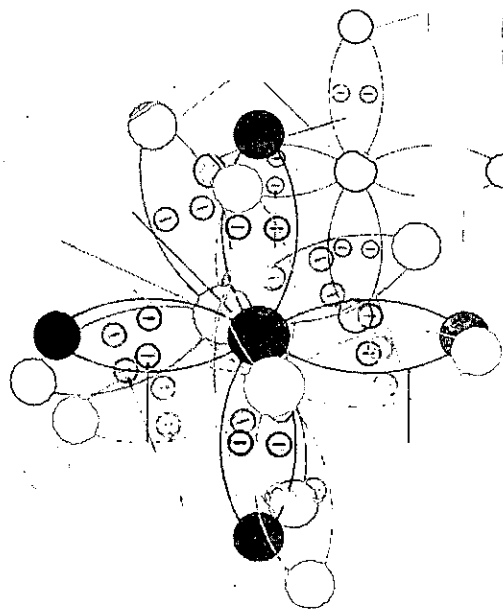
Physics Education May 2005

* کیت اس تابر استاد آموزش علوم در دانشگاه کمبریج و مدرس آموزش فیزیک برای دوره‌های PGCE است.

مولکول ها اتم ها

و ساختار داخلی اتم ها

جیم بریتهاویت
مترجم: محمدرضا خوش بین خوش نظر
skhoshbin@yahoo.com



۱ . حالت‌های ماده

یخ جامد است . مولکول‌های آن در یک ساختار صلب به یکدیگر جفت شده‌اند . وقتی که یخ به حد کافی گرم شود ، به آب تبدیل می‌شود . انرژی حاصل از فرایند گرمایش ، باعث فاصله گرفتن مولکول‌ها از هم می‌شود ؛ به‌گونه‌ای که ساختار صلب یخ از هم می‌پاشد . وقتی که آب به حد کافی گرم شود و به دمای جوش برسد ، به بخار تبدیل می‌شود . در این حالت ، دوباره انرژی ناشی از گرمایش ، مولکول‌ها را از هم جدا می‌کند . یخ ، آب و بخار مثال‌هایی از سه حالت ماده هستند .

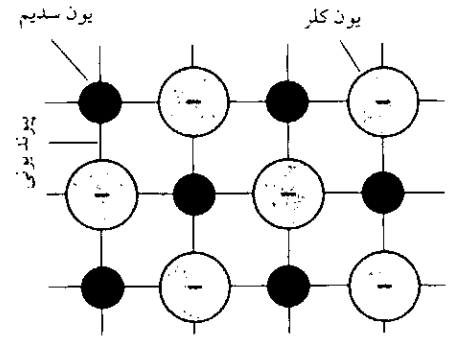
برای تغییر حالت ماده از جامد به مایع و یا از مایع به گاز ، باید مقداری انرژی صرف شکستن پیوندهای بین مولکولی بشود . ولی وقتی که گاز به مایع و یا مایع به جامد تبدیل می‌شود ، به دلیل آن‌که این‌بار باید پیوندهایی برای کنار هم نگه‌داشتن

مولکول‌ها تشکیل شوند، انرژی آزاد می‌شود. برای مثال، ذوب نمک را در نظر بگیرید. برای ذوب شدن نمک، باید آن را به شدت گرم کرد. در دمای اتاق، اتم‌های نمک با نیروهای قوی که آن‌ها را در کنار هم نگه داشته‌اند، در ساختاری صلب، به یکدیگر چفت شده‌اند. برای آن‌که اتم‌ها بتوانند این پیوندهای قوی را بشکنند، باید نمک را به شدت گرم کرد. این گرمای شدید باعث نوسان شدید اتم‌ها و جدا شدن آن‌ها از هم می‌شود.

نیرویی که اتم‌ها و مولکول‌ها را کنار هم نگه می‌دارد، ناشی از وجود ذرات باردار در آن‌هاست. به عبارت دیگر، این نیروها اصولاً الکتروستاتیکی هستند. در واقع، این الکترون‌ها هستند که از راه‌های گوناگون، نیروهای پیوندی را به وجود می‌آورند.

۱-۱. پیوند یونی

بلورهای نمک طعام (سدیم کلرید) به این صورت به هم می‌پیوندند: اتم سدیم بدون بار، تک الکترونی در پوسته‌ی سوم خود دارد و پوسته‌های داخلی آن، همگی پر شده‌اند. هر اتم کلر بدون بار، ۷ الکترون در پوسته‌ی سوم خود دارد و پوسته‌های داخلی آن نیز همگی پر شده‌اند. چون اتم‌ها می‌خواهند پوسته‌هایشان را پر کنند، اتم سدیم می‌خواهد یک الکترون از دست بدهد و اتم کلر می‌خواهد یک الکترون بگیرد. بنابراین، وقتی که اتم‌های سدیم و کلر تشکیل بلور سدیم کلرید را می‌دهند، هر اتم سدیم یک الکترون به اتم کلر می‌دهد. از این‌رو، اتم‌های سدیم، یون‌های مثبت و اتم‌های کلر یون‌های منفی می‌شوند. نیروهای الکتریکی بین این یون‌ها باعث می‌شود که آن‌ها به صورت منظمی که در شکل ۱ می‌بینیم، تشکیل شوند. نیروی بین یون‌های همسایه با بار مخالف، «پیوند یونی» نامیده می‌شود.



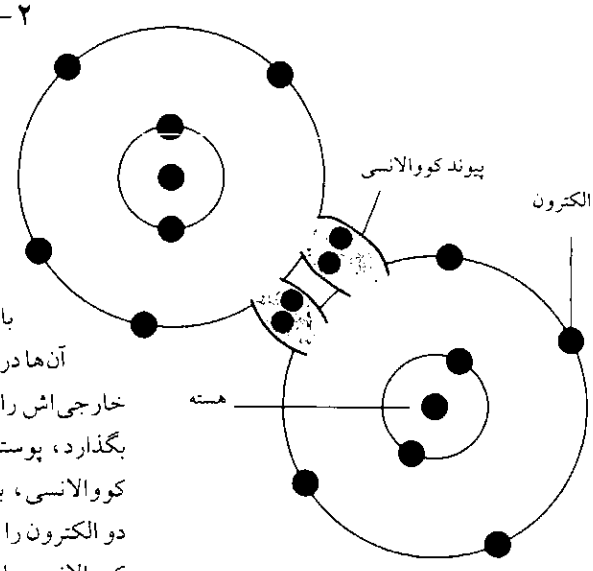
شکل ۱ ـ بلور سدیم کلرید

وقتی که یک بلور یونی را در آب هم می‌زنیم، حل می‌شود. در واقع این کار باعث تضعیف نیروهای الکتریکی بین یون‌ها می‌شود و بدین ترتیب، یون‌ها از هم جدا و بلور در آب حل می‌شود. اغلب بلورهای غیرآلی یونی هستند.

۱-۲. پیوند کووالانسی

وقتی که اتم‌ها نتوانند الکترون‌های لازم برای پرکردن پوسته‌های خود را به دست آورند، الکترون‌هایشان را با هم به اشتراک می‌گذارند. الکترون‌های شراکتی، مانند پیوند بین اتم‌ها عمل می‌کنند. این همان چیزی است که **پیوند کووالانسی** نامیده می‌شود.

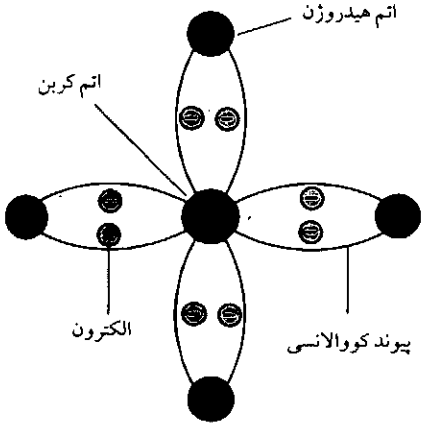
برای مثال، هر مولکول اکسیژن از دو اتم اکسیژن تشکیل شده است که با یک پیوند کووالانسی به هم وصل شده‌اند. هر اتم اکسیژن بدون بار ۸ الکترون دارد ($Z=8$) که دوتای آن‌ها در داخلی‌ترین پوسته و ۶ تای آن‌ها در پوسته‌ی دوم قرار گرفته‌اند. اگر یک اتم اکسیژن دو الکترون از پوسته‌ی خارجی‌اش را با دو الکترون از پوسته‌ی خارجی اتم اکسیژن دیگری به اشتراک بگذارد، پوسته‌ی خارجی هر یک از دو اتم اکسیژن پر خواهد شد. هر پیوند کووالانسی، به یک الکترون از اتم دیگر نیاز دارد. از این‌رو، چون هر یک از اتم‌ها دو الکترون را به اشتراک می‌گذارد، دو اتم اکسیژن مطابق شکل ۲، تشکیل دو پیوند کووالانسی را می‌دهند.



شکل ۲ ـ مولکول اکسیژن

مولکول‌های ترکیب‌های آلی با پیوندهای کووالانسی بین اتم‌هایشان تشکیل

می‌شوند. ترکیب‌های آلی شامل اتم‌های کربن هستند. یک اتم کربن بدون بار (Z=۶) دو الکترون در داخلی‌ترین پوسته‌اش و چهار الکترون در پوسته‌ی دوم خود دارد. پوسته‌ی دوم می‌تواند با ۸ الکترون پر شود. از این‌رو برای پرشدن این پوسته، یک اتم کربن باید با چهار اتم دیگر تشکیل چهار پیوند کووالانسی بدهد. برای مثال، هر یک از مولکول‌های گاز متان یک اتم کربن دارند که به چهار اتم هیدروژن پیوند خورده‌اند. هر اتم هیدروژن تشکیل یک پیوند کووالانسی با اتم کربن را می‌دهد و بدین ترتیب، هم پوسته‌ی اتم هیدروژن و هم پوسته‌ی دوم اتم کربن پر می‌شوند (به شکل ۳ نگاه کنید).

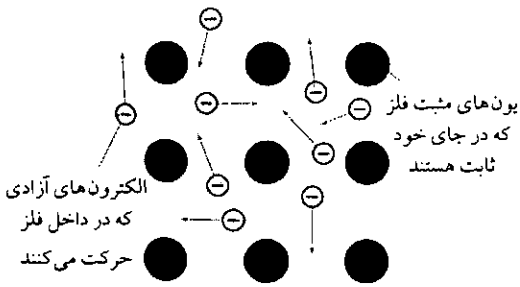


شکل ۳ ـ مولکول متان

۳-۱ . پیوندهای فلزی

در یک فلز، اتم‌ها الکترون‌های خارجی‌شان را که آزادانه در داخل فلز حرکت می‌کنند، از دست داده‌اند. بنابراین اتم‌های فلز، یون‌های مثبت می‌شوند. آن‌ها در یک شبکه‌ی منظم با نیروهای الکتریکی بین یون‌ها و الکترون‌های آزاد، جایگزین شده‌اند. ترتیب قرار گرفتن اتم‌ها در یک فلز می‌تواند با فلز دیگر فرق داشته باشند.

تمام فلزها رسانای الکتریکی هستند، زیرا همه‌ی آن‌ها الکترون‌های آزاد دارند. وقتی که اختلاف پتانسیلی به دو سر فلز اعمال شود، الکترون‌های آزاد داخل فلز به طرف پایانه‌ی مثبت حرکت می‌کنند و در نتیجه، بر اثر حرکت الکترون‌های آزاد، جریان الکتریکی به وجود می‌آید.

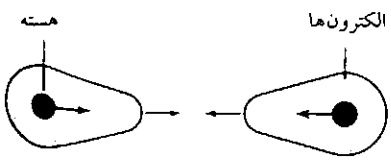


شکل ۴ ـ پیوند فلزی

۴-۱ . پیوند واندروالس

اتم‌های بدون بار هم می‌توانند به یکدیگر نیروی خارجی وارد کنند. چون این اتم‌ها بدون بار هستند، هر اتم به تعداد پروتون‌هایش الکترون دارد. ولی الکترون‌های یک اتم می‌توانند، تحت تأثیر نیروی پروتون‌های اتم مجاور قرار گیرند. از این‌رو، دو اتم بدون بار می‌توانند نیروی جاذبه‌ی ضعیفی به یکدیگر وارد کنند. چنین نیرویی یک **پیوند واندروالس** نامیده می‌شود.

مولکول‌های یک مایع بدون بار، بر یکدیگر نیروی واندروالس وارد می‌کنند. اگر یک مولکول بخواهد از همسایگانش در سطح مایع فاصله بگیرد، بر اثر نیروهای واندروالس بین آن مولکول و همسایگانش، عقب کشیده می‌شود. کشش سطحی مایعات براساس این نیروهای جاذبه‌ی ضعیف توضیح داده می‌شود.



شکل ۵ ـ نیروی واندروالس بین دو مولکول بدون بار

۲ . نیروهای بین مولکولی

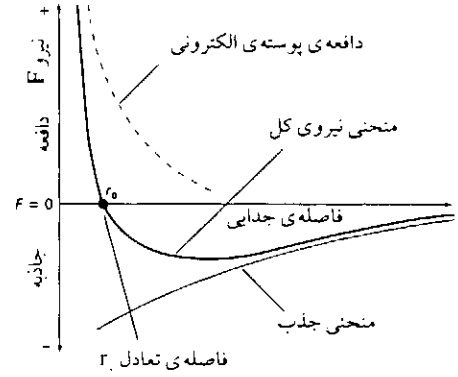
جامدات و مایعات را برخلاف گازها به سختی می‌توان متراکم کرد. مولکول‌ها در جامدات و مایعات در تماس با یکدیگرند. برای آن‌که مولکول‌ها در مایعات و جامدات به سمت یکدیگر کشیده شوند، به نیروهای بسیار قوی نیاز است. وقتی که دو اتم در یک جامد به هم نزدیک شوند، الکترون‌های خارجی مانند سدهایی مانع از نزدیک شدن آن‌ها به هم می‌شوند.

در حالت کلی، دو اتم حتی اگر بدون بار هم باشند، به یکدیگر نیروهایی اعمال می‌کنند. وقتی که اتم‌ها در فاصله‌ی دوری از هم باشند، این نیروها بسیار ضعیف‌تر از آن هستند که به حساب آیند. ولی وقتی که اتم‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شوند، هر اتم چنان‌که گفته شد، اتم دیگری را جذب می‌کند. وقتی اتم‌ها خیلی به هم نزدیک

می‌شوند، پوسته‌های الکترونی آن‌ها سعی در پس‌زدن دیگری می‌کنند. بنابراین، دو اتم که در نزدیک یکدیگر قرار دارند، یکدیگر را تا آن‌جایی جذب می‌کنند که پوسته‌های الکترونی، آن را مجاز بشمارد. در این نقطه، آن‌ها در وضعیت تعادل قرار می‌گیرند؛ چرا که برایند نیروهای وارد به آن‌ها صفر می‌شود. اگر آن‌ها را از نقطه‌ی تعادل به یکدیگر نزدیک‌تر کنیم، یکدیگر را پس می‌زنند و اگر آن‌ها را دورتر کنیم، یکدیگر را جذب می‌کنند. شکل ۶ نشان می‌دهد که چگونه نیروی بین دو اتم یا دو مولکول با فاصله‌ی بین آن‌ها تغییر می‌کند.

منحنی نیرو را می‌توان ترکیبی از دو بخش در نظر گرفت. یک منحنی جذب ضعیف بر اثر یکی از انواع پیوندهایی که پیش‌تر توضیح داده شد، و یک منحنی دافعه‌ی کوتاه برد و قوی که براثر برهم کنش الکترون - الکترون به هنگام نزدیک شدن اتم‌ها (نزدیک‌تر از نقطه‌ی تعادل) ظاهر می‌شود.

بنابراین کل منحنی نیرو، یک دافعه‌ی قوی را در فاصله‌های بسیار کم و یک جذب ضعیف را در فاصله‌های دورتر نشان می‌دهد. وضعیت تعادل جایی است که برایند نیروها برابر صفر شود؛ یعنی نقطه‌ای که این دو نیرو یکدیگر را خنثا می‌کنند. فاصله از نقطه‌ی تعادل، فاصله‌ی متوسط بین مولکول‌ها در یک ماده را نشان می‌دهد.



شکل ۶ ـ منحنی نیروی بین مولکولی

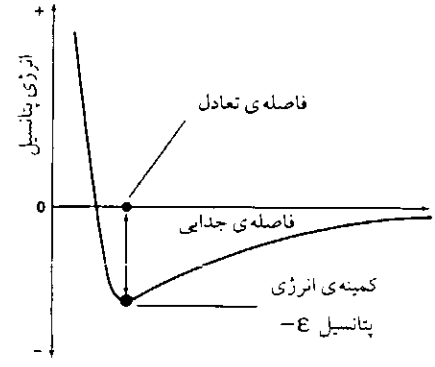
۱-۲. انرژی پتانسیل بین مولکولی

فرض کنید دو آهنربا یکدیگر را دفع می‌کنند و شما می‌خواهید آن دو را به هم نزدیک کنید. بدین منظور، باید کاری در برابر این نیروی دافعه انجام دهید. کار انجام شده روی آهنرباها انرژی پتانسیل آن‌ها را افزایش می‌دهد. حال اگر این دو آهنربا را از هم دور کنیم، انرژی پتانسیل آن‌ها کاهش می‌یابد.

اکنون فرض کنید دو آهنربا را از سوی قطب مخالفشان به هم نزدیک کنیم. آن‌ها یکدیگر را جذب خواهند کرد. اگر این‌بار بخواهیم آن‌ها را از هم دور کنیم، انرژی پتانسیل آن‌ها افزایش خواهد یافت؛ چرا که کار شما باید در مقابل نیروی جاذبه‌ی بین آن‌ها انجام شود. اگر آن‌ها به سمت یکدیگر حرکت کنند، از انرژی پتانسیل‌شان کاسته می‌شود.

حال بیایید این ایده‌های کلی را برای دو مولکول که از فاصله‌ای بسیار دور به فاصله‌ای بسیار نزدیک به هم حرکت می‌کنند، به کار بندیم. وقتی که خیلی دور از هم هستند، انرژی پتانسیل ناشی از برهم کنش آن‌ها صفر است. وقتی که به طرف یکدیگر حرکت می‌کنند، انرژی پتانسیل آن‌ها به دلیل برهم‌کنش‌شان افت می‌کند. این افت پتانسیل تا هنگامی که نیروی جاذبه به نیروی دافعه تغییر کند (مطابق شکل ۶)، ادامه می‌یابد. از آن پس، اگر آن‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شوند، انرژی پتانسیل به دلیل کار انجام شده روی سیستم برای غلبه بر نیروی دافعه‌ی بین آن‌ها، افزایش می‌یابد. شکل ۷ نشان می‌دهد که انرژی پتانسیل چگونه با فاصله تغییر می‌کند.

کمینه‌ی منحنی انرژی پتانسیل در جایی است که نیروی بین مولکول‌ها از جاذبه به دافعه تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، در جایی است که برایند نیروها برابر صفر است. بنابراین، کمینه‌ی انرژی پتانسیل در موضع تعادل دو مولکول قرار دارد. برای جداکردن دو مولکول از حالت تعادل به فاصله‌های نامتناهی، کاری که باید انجام شود تا انرژی پتانسیل آن‌ها از مقدار کمینه افزایش یابد $(\varepsilon- \rightarrow 0)$. ε گاهی اوقات **انرژی پیوند** نامیده می‌شود.



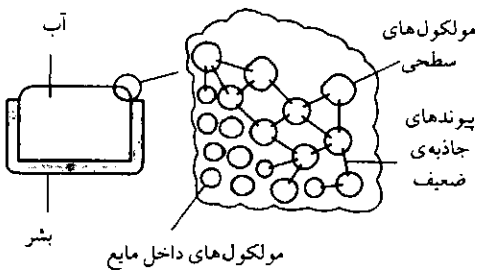
شکل ۷ ـ منحنی انرژی پتانسیل

شیب منحنی انرژی پتانسیل در هر نقطه‌ای روی منحنی، نیرویی را نشان می‌دهد که باید اعمال شود تا مولکول‌ها در آن فاصله نگه داشته شوند. فرض کنید آن‌ها به آرامی از هم فاصله بگیرند، به گونه‌ای که فاصله‌ی آن‌ها Δr شود. در این حالت، تغییر انرژی پتانسیل برابر با Δp می‌شود. از طرف دیگر، کار انجام شده برابر نیرو ضربدر فاصله، و خودکار انجام شده برابر با Δp است. از این‌رو، نیرویی که مولکول‌ها را حرکت داده است، از رابطه‌ی $\Delta p / \Delta r$ به دست می‌آید که همان شیب منحنی انرژی پتانسیل است. نیروی F ناشی از برهم‌کنش مولکول‌ها، از لحاظ مقدار برابر و از لحاظ علامت مخالف نیروی اعمال شده برای حرکت آن‌هاست. از این‌رو نیروی F بین مولکول‌ها از رابطه‌ی $-\Delta p / \Delta r$ به دست می‌آید.

۲-۲. استفاده از منحنی‌ها برای توضیح برخی از ویژگی‌های مواد

الف) کشش سطحی

مولکول‌های یک مایع در فاصله‌ی میانگینی از نقطه‌ی تعادل قرار دارند. مولکول‌ها حول نقطه‌ی تعادل حرکت می‌کنند، ولی نیروی متوسط وارد بر یک مولکول در مایع صفر است. با این حال، مولکول‌های روی سطح مایع بیش از مولکول‌های داخل آن فضای حرکتی دارند. از این‌رو، فاصله‌ی متوسط بین مولکول‌های سطحی کمی بیش‌تر از فاصله‌ی تعادل r_0 است و نیروهای جاذبه‌ی ضعیف، مولکول‌های سطحی را به دلیل افزایش فاصله‌شان به یکدیگر می‌پیوندند. به این پدیده «کشش سطحی» می‌گویند. در واقع، این کشش سطحی است که باعث می‌شود، وقتی بشری را پر از آب می‌کنیم، آب تا لبه‌ی آن بالا بیاید، کشش سطحی، آب را تا وقتی که فشار آب روی لبه‌ی خلاف بسیار زیاد نشده باشد، بالای لبه نگه می‌دارد.

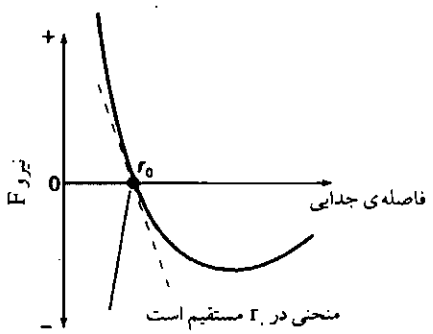


شکل ۸ ـ کشش سطحی

ب) قانون هوک

کشش فنر متناسب با میزان کشیدگی آن از طول طبیعی‌اش است. همین قاعده برای یک فنر فشرده شده نیز معتبر است. زیرا منحنی نیروی بین مولکولی در نزدیکی نقطه‌ی تعادل، به شکل خطی مستقیم است.

خط مستقیم در نزدیکی نقطه‌ی تعادل بدین معنی است که نیرو متناسب با جابه‌جایی از نقطه‌ی تعادل است. به همین ترتیب، پیوندهای بین اتم‌ها در جامدات شبیه فنرهای کوچکی هستند که از قانون هوک پیروی می‌کنند و این باعث می‌شود کل ساختار یک جامد بیش از حد کشیده یا فشرده نشود.



شکل ۹ ـ قانون هوک

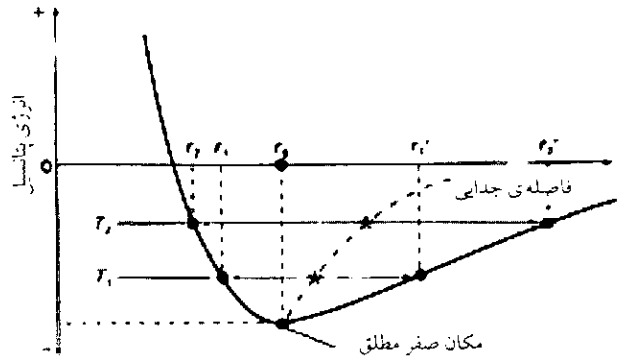
ج) گرمای نهان

برای تغییر حالت یک ماده از جامد به مایع و یا از مایع به گاز، باید به ماده انرژی داد تا اتم‌ها بتوانند، پیوندهایشان را بشکنند و آزاد شوند. قبل از تغییر حالت، اتم‌های داخل ماده در فاصله‌ی تعادل با کمینه‌ی انرژی پتانسیل هستند. برای تغییر حالت، پیوندهای بین اتم‌ها باید شکسته شوند. چون برای شکستن هر پیوند، مقداری انرژی برابر با ε اعمال می‌شود، از این‌رو باید به ماده انرژی گرمای نهان داده شده باشد.

وقتی که یک گاز به مایع و یا یک مایع به جامد تبدیل می‌شود، پیوندها دوباره تشکیل می‌شوند و از این‌رو به ازای هر پیوند تشکیل شده، مقداری انرژی آزاد می‌شود. بنابراین در این حالت، انرژی گرمای نهان به‌وسیله‌ی ماده آزاد می‌شود.

د) انبساط گرمایی

جامدات با افزایش گرما منبسط می‌شوند. همین‌که انرژی گرمایی بیش‌تر و بیش‌تری به ماده وارد می‌شود، اتم‌ها نیز نوسان بیش‌تر و بیش‌تر می‌کنند. در این حالت، فاصله‌ی بین دو اتم، حول مقدار تعادل نوسان می‌کند. هرچند انرژی پتانسیل دو اتم در هر دو سوی نقطه‌ی تعادل افزایش می‌یابد، ولی این افزایش در فاصله‌ی کم‌تر از نقطه‌ی تعادل، بارزتر می‌شود. وقتی جسم گرم شود، انرژی پتانسیل اتم‌ها به طور متوسط افزایش می‌یابد. ولی چون منحنی انرژی پتانسیل در یک سو تیزتر است، فاصله‌ی متوسط جفت اتم‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، برای کل شبکه‌ی اتم‌ها، انبساطی کلی رخ می‌دهد.

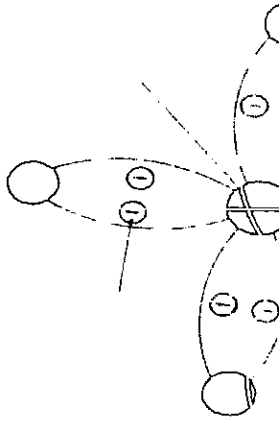


شکل ۱۰ ـ انبساط حرارتی

- در صفر مطلق، اتم‌ها نوسان نمی‌کنند و از این‌رو فاصله‌شان برابر r_0 است.
- در دمای T_1، اتم‌ها نوسان می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که فاصله‌شان از r_1 تا r'_1 تغییر می‌کند. چون منحنی انرژی پتانسیل در فاصله‌ی کم‌تر از r_0 تیزتر است، r_1 در مقایسه با r'_1 به r_0 نزدیک‌تر است. در نتیجه، فاصله‌ی متوسط، حد وسط r_1 و r'_1 می‌شود که از r_0 بزرگ‌تر است.
- با افزایش دما به T_2، نوسان افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که فاصله از r_2 تا r'_2 تغییر می‌کند. شکل منحنی انرژی پتانسیل به‌گونه‌ای است که فاصله‌ی متوسط (حد وسط r_2 و r'_2) بزرگ‌تر می‌شود.

۳. نیروهای هسته‌ای

هسته‌ی اتم از پروتون و نوترون تشکیل شده است. تنها استثنا هسته‌ی هیدروژن $_1^1H$ است که فقط یک پروتون دارد. در هسته‌های سنگین‌تر، پروتون‌ها به دلیل آن‌که باردار هستند، یکدیگر را دفع می‌کنند. اغلب هسته‌ها پایدار هستند و از هم نمی‌پاشند. چه عاملی باعث پایداری هسته‌ها می‌شود؟ باید نیروی جاذبه‌ای بین دو پروتون یا دو نوترون در هسته‌ها وجود داشته باشد تا هسته‌ها را پایدار نگه دارد. برای مثال، ایزوتوپ پایدار سرب $_{82}^{208}Pb$، ۸۲ پروتون و ۱۲۶ نوترون دارد. نیروی هسته‌ای، یعنی همان نیرویی که نوکلئون‌ها را در کنار هم نگه می‌دارد، باید به حدی قوی باشد که از نیروی دافعه‌ی ۸۲ پروتون که باعث دافعه‌ی الکتروستاتیکی می‌شود، جلوگیری کند.



برای برآورد نیروی هسته‌ای فرض کنید:

۱. اندازه‌ی این نیرو باید به حد کافی بزرگ باشد تا بتواند بر دافعه‌ی بین دو پروتون که به فاصله‌ی $10^{-14}\,m$ از هم هستند، غلبه کند. اندازه‌ی نیروی دافعه‌ی بین دو بار q_1 و q_2 که در فاصله‌ی r هستند، از قانون کولن به دست می‌آید:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

که به ازای $q_1 = q_2 = 1/6\times10^{-19}\,C$ و $r = 10^{-14}\,m$ چنین می‌شود:

$$F = \frac{(1/6\times10^{-19})(1/6\times10^{-19})}{4\pi\times8/85\times10^{-12}\times(10^{-14})^2} = 2/2N$$

بنابراین، اندازه‌ی نیروی هسته‌ای از مرتبه‌ی ۲N یا بیش‌تر است.

۲. بُرد نیروی هسته‌ای را می‌توان از آزمایش‌های پراکندگی α براورد کرد. ذرات α کم انرژی را دافعه‌ی الکتروستاتیکی هسته‌ها پراکنده می‌سازد. با این حال، اگر از ذرات α پرانرژی استفاده شود، این ذرات می‌توانند در میدان نیروی دافعه که اطراف هسته را احاطه کرده است، نفوذ کنند. ذره‌ی آلفایی که به داخل هسته کشیده شده است، می‌تواند با بیرون انداختن یک نوترون یا یک پروتون، یک واکنش هسته‌ای به وجود آورد. یک مثال برای چنین واکنشی هنگامی است که ذرات α ورقه‌ای بریلیمی را بمباران می‌کنند:

$$^{4}_{2}\alpha + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$$

ذرات α کم انرژی قادر به نفوذ در میدان دافعه‌ی الکتروستاتیکی ناشی از هسته‌ی باردار مثبت نیستند. از این‌رو، کم‌ترین فاصله‌ی ذره‌ی آلفای کم انرژی، مقدار تقریبی بُرد نیروی هسته‌ای را به دست می‌دهد. فرض کنید، این کم‌ترین فاصله برابر با d باشد. انرژی پتانسیل بین ذره‌ی آلفا و هسته از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P.E = \frac{Q_\alpha \times Q_n}{4\pi\varepsilon_0 d}$$

چون در نزدیک‌ترین فاصله، انرژی جنبشی اولیه برابر با انرژی پتانسیل است، خواهیم داشت:

$$\text{اولیه } K.E = \frac{2e \times Ze}{4\pi\varepsilon_0 d}$$

و از آن‌جا:

$$d = \left(\frac{2e \times Ze}{4\pi\varepsilon_0}\right) \Big/ \text{(اولیه K.E)}$$

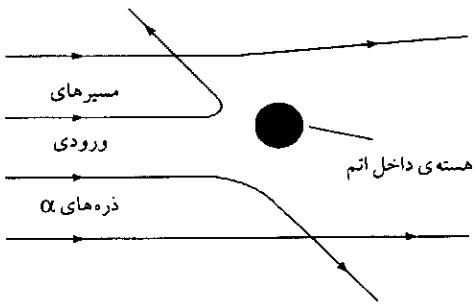
حال باید اعداد را در این رابطه قرار دهیم. برای طلا $Z = 79$ و انرژی اولیه‌ی نوعی در حدود $5Mev \left(= 5\times10^{6} \times e \times \text{joules}\right)$ است. با توجه به این‌که:

$e = 1/6\times10^{-19} C$ و $\varepsilon_0 = 8/85\times10^{-12}\ Fm^{-1}$ است، کم‌ترین فاصله‌ی d چنین می‌شود:

$$d = \left(\frac{2e \times 79e}{4\pi\varepsilon_0}\right) \Big/ \left(5\times10^{6} e\right) = \frac{2\times79\times e}{4\pi\varepsilon_0 \times 5\times10^{6}}$$

$$= 4/5\times10^{-14}$$

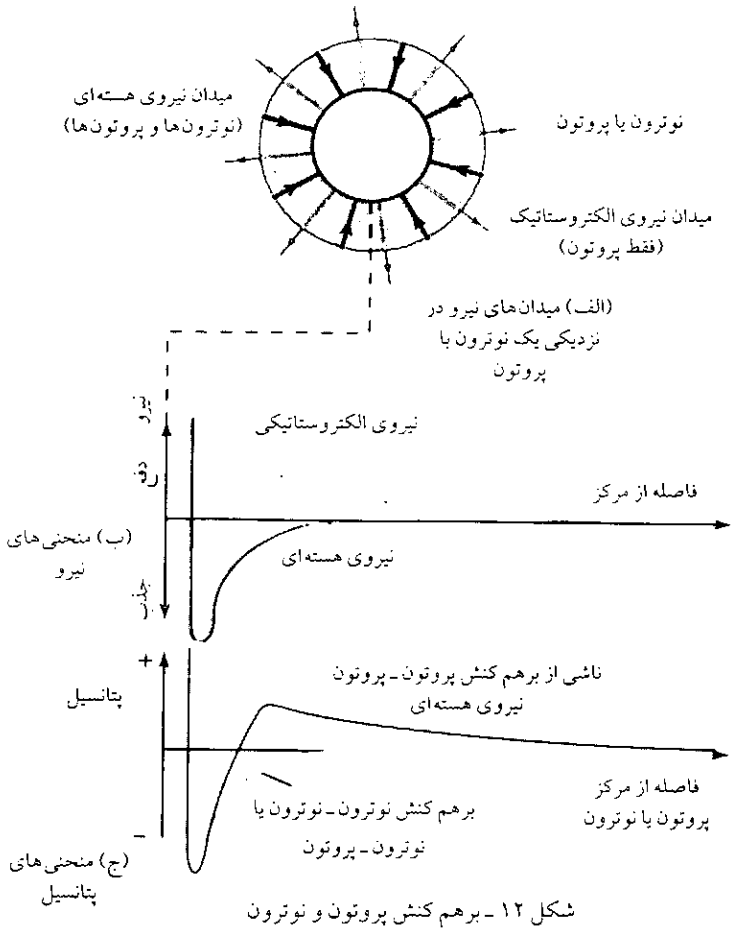
بنابراین، کم‌ترین فاصله‌ی نزدیکی و یا همان بُرد نیروهای هسته‌ای از مرتبه‌ی $10^{-14} m\ (= 10 fm)$ است.



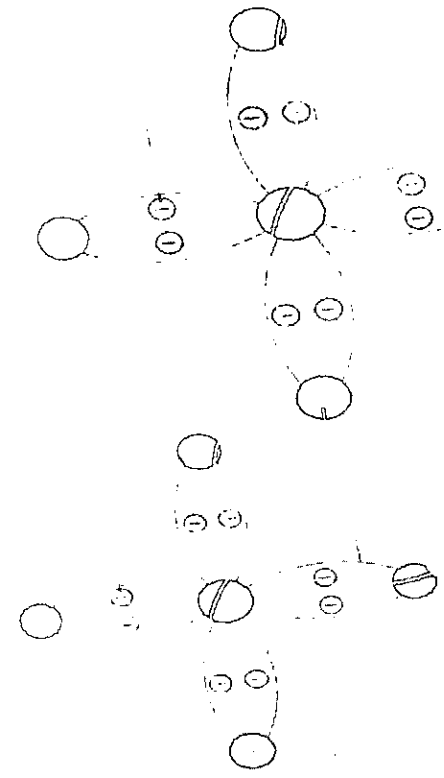
شکل ۱۱ ـ مسیرهای پراکندگی α

انرژی پتانسیل یک ذره

انرژی پتانسیل یک ذره در حوالی هسته، به بار آن بستگی دارد. برای مثال، انرژی پتانسیل پروتون با نزدیک شدن آن به هسته افزایش می‌یابد. ولی اگر پروتون در میدان الکتروستاتیکی اطراف هسته نفوذ کند، نیروی هسته‌ای پروتون را به دام می‌اندازد. بنابراین، انرژی پتانسیل پروتون افت می‌کند. شکل ج-۱۲ نشان می‌دهد که چگونه انرژی پتانسیل پروتون با فاصله از هسته تغییر می‌کند. این تغییر انرژی تا



شکل ۱۲ ـ برهم کنش پروتون و نوترون



حدودی شبیه تغییر انرژی پتانسیل یک گلوله‌ی غلتان است که در سطح زمین به طرف چاهی در بالای یک تپه می‌غلتد. وقتی که گلوله به طرف چاه می‌غلتد، انرژی پتانسیل آن تا رسیدن به بالای تپه افزایش می‌یابد. ولی همین‌که به داخل چاه سقوط کرد، انرژی پتانسیل آن ناگهان فرو می‌افتد.

با این حال، یک ذره‌ی بدون بار مانند نوترون، این میدان الکتروستاتیکی را حس نمی‌کند. در نتیجه، نوترون‌ها راحت‌تر به داخل هسته نفوذ می‌کنند. شکل ۱۲ تغییر انرژی پتانسیل را برای یک نوترون در نزدیکی یک هسته نشان می‌دهد. این‌جا هم در برد نیروی هسته‌ای، نوترون به داخل هسته کشیده می‌شود و درست مثل توپی که به داخل یک چاه می‌افتد، به دام می‌افتد.

پروتون‌ها و نوترون‌های به دام افتاده در داخل هسته را نیروی هسته‌ای قوی در کنار هم نگه می‌دارد. در صورتی که نیروی هسته‌ای قوی‌تر از نیروی دافعه‌ی الکتروستاتیکی بین پروتونها باشد، هسته پایدار باقی می‌ماند. اما اگر هسته بسیار سنگین باشد و یا نسبت تعداد نوترون‌ها به پروتون‌ها بسیار زیاد و یا بسیار کم باشد، آن‌گاه هسته ناپایدار می‌شود.

منبع

Undrestaning Physics for advanced level, Fourth Edition (2000), Jim Breithaupt, Nelson Thornesltd.

هندسه‌ی ریمانی و نظریه‌ی نسبیت اینشتین

شهناز خسرویان عرب

عالم‌شناسی و جست‌وجوی چگونگی ساختار عالم، از زمان‌های گذشته تا به کنون دستخوش تحول و جایگزینی‌هایی بوده است. در دوره‌ی رنسانس، به همت گروهی از فیزیکدانان و ستاره‌شناسان چون: **نیوتون، گالیله، کپلر و کوپرنیک** و... عالم‌شناسی کلاسیک، بر پایه‌ی اصول مکانیک کلاسیک بنا شد. قوانین تدوین شده در این عالم‌شناسی، از مرز منظومه‌ی شمسی تجاوز نمی‌کنند و تنها به چگونگی حرکت سیارات به‌دور خورشید و حرکت اقمار به دور سیارات می‌پردازند. این عالم‌شناسی، از پاسخ دادن به برخی پرسش‌ها از جمله چگونگی تولد و مرگ ستارگان و کهکشان‌ها و چگونگی پیدایش و انهدام عالم عاجز است. زیرا سرعت حرکت سیارات به‌دور خورشید نسبت به سرعت نور بسیار ناچیز است. پس از آن، نظریه‌ی نسبیت گام به میدان نهاد و بسیاری از اصول فیزیک کلاسیک، و به دنبال آن ساختار کلاسیک عالم را ویران کرد.

در فیزیک جدید، یکی از شنیدنی‌ها این است که فضا و زمان حقایقی مستقل از ماده نیستند، دارای خمیدگی هستند، و به گونه‌ای بر ماده تأثیر می‌گذارند. ماده نیز به نوبه‌ی خود تأثیری عمیق بر آن‌ها دارد. همچنین، زمان کمیتی است که در گوشه و کنار عالم دستخوش انقباض و انبساط می‌شود. در عالم چهار بعدی، طول‌ها در جهت حرکت، منقبض می‌شوند و زمان منبسط می‌شود و نور هنگام عبور از کنار جرم قابل ملاحظه، مسیر خطی خود را از دست می‌دهد و دستخوش خمیدگی می‌شود. فضا نیز از این دستبرد مصون نمی‌ماند و خمیدگی پیدا می‌کند. به همین دلیل، هندسه‌ی مسطحه و سه بعدی اقلیدسی، در این مناطق مفهوم خود را از دست می‌دهد و جای خود را به هندسه‌ی لوباچفسکی و ریمانی و هندسه‌های دیگر می‌سپارد.

نظریه‌ی جاذبه‌ی نیوتونی، حالت خاصی از نظریه‌ی نسبیت عام است؛ حالتی که سرعت‌ها، نسبت به سرعت نور بسیار ناچیزند. در چنین سرعت‌هایی، مکانیک نیوتونی تا نزدیک به صددرصد، نتیجه‌های صحیحی از پدیده‌ها می‌دهد. وقتی سرعت‌ها به تدریج افزایش یابند، مکانیک نیوتونی نیز به تدریج اثر خود را از دست می‌دهد و جای خود را به مکانیک نسبیتی

می‌سپارد. وقتی سرعت‌ها قابل مقایسه با سرعت نور شوند، اثر مکانیک نیوتونی بسیار ناچیز می‌شود و جلوه‌ی مکانیک نسبیتی به بیشینه می‌رسد. یکی از نتیجه‌های نظریه‌ی نسبیت عام این است که ساعت‌ها در میدان گرانشی قوی، کندتر حرکت می‌کنند.

نظریه‌ی «سیاهچاله‌ها»[1]، نظریه‌ای است که مستقیماً از معادله‌های کیهانی اینشتین نشأت گرفته و تکامل یافته است. سیاهچاله‌ها نواحی کوچکی از فضا هستند که در آن‌ها، ماده چنان زیاد و متراکم است که جاذبه یا خمیدگی ناشی از آن، در حد فوق تصور قوی است. آن‌سان قوی که هیچ چیز در حال عبور از آن خارج نمی‌شود تا دیده شود. وجود سیاهچاله‌ها در ناحیه‌ای از فضا، با تأثیری که جاذبه‌ی قوی آن‌ها بر وضعیت و حرکت اجرام آسمانی آن اطراف می‌گذارد، تشخیص داده می‌شود. این اجرام فوق‌العاده متراکم هستند، به‌گونه‌ای که به‌علت قدرت جاذبه‌ی بسیار قوی، حتی نور امکان رهایی از سطح آن‌ها را ندارد. وجود این اجرام، براساس نظریه‌ی نسبیت اینشتین پیش‌بینی شده بود و به همین خاطر هم سیاهچاله نامیده شدند. ردیابی و رؤیت آن‌ها به‌وسیله‌ی قوی‌ترین تلسکوپ‌ها یا هر وسیله‌ی دیگر تاکنون مقدور نبوده است. اما استیون هاوکینگ که سعی دارد نظریه‌ی نسبیت اینشتین را تکامل بخشد، با قدرت اندیشه و محاسبه‌های ریاضی پیچیده و دقیق، وجود این سیاهچاله‌ها را به اثبات رساند.

حال به این مثال توجه کنید. فرض کنید، یک سنگ را مستقیم به هوا پرتاب می‌کنید. جاذبه‌ی سیاره باعث می‌شود که سنگ دوباره فرو افتد. اگر شما سنگ را به اندازه‌ی کافی محکم پرتاب کنید، می‌توانید آن‌را کاملاً از جاذبه‌ی سیاره رها سازید. همان‌طور که می‌دانیم، سرعت گریز، به جرم سیاره وابسته است. اگر سیاره بی‌نهایت عظیم باشد، گرانش آن خیلی زیاد است و سرعت گریز باید بالا باشد. حالا شیئی را با تراکم بسیار بزرگ جرم تصور کنید که سرعت گریز از مرکز آن بیش‌تر از سرعت نور باشد. چون هیچ چیز نمی‌تواند سریع‌تر از نور برود، نمی‌توان شئی را از میدان جاذبه رها ساخت. حتی یک پرتو نور به وسیله‌ی جاذبه کشیده می‌شود و قادر به گریز نیست. از این‌رو، نزدیک یک سیاهچاله، تغییر شکل فضا خیلی زیاد است.

نمونه‌ای از سیاهچاله‌ها، سیاهچاله‌ای است با ۱۰ برابر جرم خورشید، و حدود 10^{31} کیلوگرم. برخی جرمی حدود یک میلیون برابر بیش‌تر از خورشید، یعنی 10^{36} کیلوگرم دارند.

یادآور می‌شویم که در نظریه‌ی نسبیت عام، جاذبه جلوه‌ای از فضا زمان چهار بعدی است. یعنی در جوار اجسام با جرم زیاد، هندسه‌ی فضا دیگر اقلیدسی نیست و زمان به‌گونه‌ای دیگر جریان می‌یابد. به‌عبارت دیگر، هر قدر به این جسم نزدیک‌تر شویم، جریان زمان کندتر و آهسته‌تر می‌شود. فرض کنیم برای بررسی چنین جسمی، یک فضاپیما با سرنشین به‌سوی این جسم در حال انقباض روانه شود. فضانورد موظف است که در تمام مدت پرواز، در هر ثانیه یک علامت به زمین و گیرنده‌ی ما بفرستد. فضاپیما سال‌ها در راه است و ما نیز مرتباً هر ثانیه یک‌بار، علامت را دریافت می‌کنیم. ولی به تدریج درمی‌یابیم که هر قدر فضاپیما به جرم عظیم نزدیک می‌شود، فاصله‌ی زمانی میان دو علامت که تاکنون یک ثانیه بود، تدریجاً افزایش می‌یابد. افزایش فاصله، نخست حدود یک دقیقه و سپس ساعت‌ها، روزها، ماه‌ها، سال‌ها و قرن‌هاست! اما فضانورد، با دقت کامل، در هر ثانیه یک علامت به‌زمین فرستاده است. تنها مشکل این است که وی براساس ساعت خود این عمل را مرتباً انجام داده است.

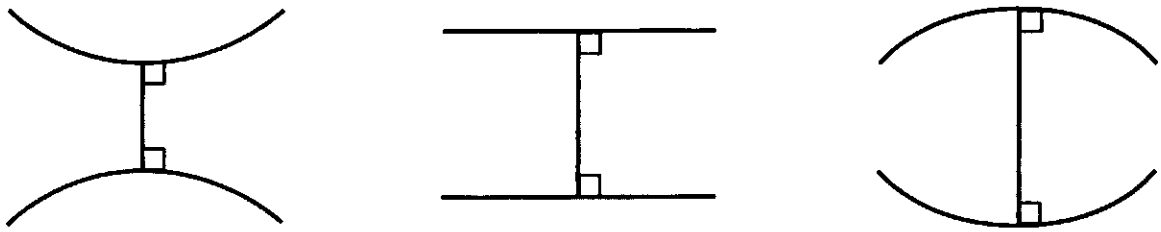
توجیه ساده‌ی ریاضی این داستان به این صورت است: اگر فاصله‌ی زمانی را، در نقطه‌ای بسیار دور از این جسم، Δt فرض کنیم، در جوار آن، زمان طولانی‌تر و تبدیل به $\overline{\Delta t}$ می‌شود که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\overline{\Delta t} = \sqrt{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}\ \Delta t$$

که در آن، r برابر است با محیط دایره‌ای (به مرکز جسم) که از فضاپیما می‌گذرد، تقسیم بر 2π؛ زیرا در جوار جسم، هندسه‌ی اقلیدسی غیرقابل اجراست، و محیط دایره $2\pi r$ نیست.

مقدار زیر رادیکال به ازای $r = R = \frac{2GM}{c^2}$، بی‌نهایت می‌شود؛ یعنی $\overline{\Delta t}$ نیز بی‌نهایت می‌شود. تعبیر فیزیکی این پدیده آن است که وقتی فضاپیما به جسم نزدیک می‌شود، ثانیه‌ها برای ناظر زمینی افزایش می‌یابند، و وی دو علامت متوالی را در فاصله‌ی زمانی زیادتری دریافت می‌کند. هنگامی که فضاپیما به فاصله‌ی R_g از جسم می‌رسد، فاصله‌ی زمانی $\overline{\Delta t}$ بی‌نهایت می‌شود و ناظر زمینی دیگر علامتی دریافت نمی‌کند. زمان نیز در این نقطه به کلی متوقف می‌شود و فاصله‌ی میان ازل تا ابد تنها یک لحظه می‌شود. می‌توان زمان را به آب رودخانه‌ای تشبیه کرد که دور از این جسم، دارای سرعت جریان ثابتی است، ولی به دلایلی، سرعت جریان آب به تدریج کم می‌شود (مثلاً در نزدیکی سدی که بر رودخانه‌ای بسته‌اند) تا به کلی متوقف می‌شود (مثل آبی که پشت سد است).

هندسه‌دانان ریمانی، مثل بسیاری از ریاضیدانان، در جست‌وجوی قضیه‌هایی هستند که حتی شاید کاربردهای عملی آن‌ها وجود ندارند؛ گرچه شاید کاربردهای عملی بسیاری از قضیه‌ها در آینده کشف شوند. بدون داشتن قضیه‌های ریاضی که در رابطه با کاربرد آن‌ها بحث می‌کند، فیزیکدانان به سختی می‌توانند نظریه‌های جدید را کشف کنند و درباره‌ی آن‌ها توضیح دهند. برای مثال، اینشتین، قبل از آن‌که نظریه‌هایش را توسعه



هندسه‌ی بیضوی　　هندسه‌ی اقلیدسی　　هندسه‌ی هذلولوی

شکل ۱ . رفتار خطوط با یک عمود مشترک در هر سه نوع هندسه

دهد، هندسه‌ی ریمانی را مطالعه کرد. معادله‌ی او مستلزم **خمیدگی ریچی** بود که اولین بار به‌وسیله‌ی ریاضیدانان تعریف شد و برای کار او خیلی مفید بود.

هندسه‌ی اقلیدسی

اصل پنجم اقلیدس (اصل توازی)، از این قرار است: «از یک نقطه خارج یک خط، فقط و فقط یک خط می‌توان به موازات خط مفروض رسم کرد.»

هندسه‌ای که در اصل پنجم اقلیدس صدق کند، هندسه‌ی اقلیدس یا هندسه‌ی سهموی نامیده می‌شود. هندسه‌ی اقلیدسی دو بعدی، هندسه‌ی تخت یا هندسه‌ی مسطحه نیز نامیده می‌شود.

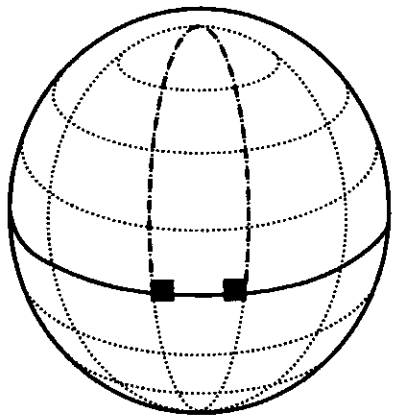
هندسه‌ی نااقلیدسی

بسیاری از دانشمندان تلاش کردند، اصل پنجم اقلیدس را به دو روش برهان خلف ثابت کنند و این به پیدایش هندسه‌های نااقلیدسی هذلولی و بیضوی انجامید. در حقیقت، هندسه‌های نااقلیدسی بر پایه‌ی اصول متعارف یک تا چهار و نقیض اصل پنجم استوارند.

هندسه‌ی هذلولوی که هندسه‌ی لوباچوفسکی نیز نامیده می‌شود، براساس تعویض اصل پنجم اقلیدس با اصل موضوع هذلولی است که بیان می‌کند: «یک خط l و یک نقطه‌ی A غیرواقع بر l مفروض هستند. حداقل دو خط متمایز وجود دارند که از A می‌گذرند و با l موازی هستند.»

سه مدل معمول در هندسه‌ی هذلولوی عبارتند از: «مدل کلاین»، «مدل پوانکاره» و «مدل نیم صفحه‌ی پوانکاره». از جمله قضیه‌های هندسه‌ی هذلولوی عبارتند از: «مجموع زاویه‌های یک مثلث از ۱۸۰ درجه کم‌تر است»، «فاصله‌ی دو خط متوازی ثابت نیست»، «دو خط متوازی عمود مشترک ندارند.» و «مستطیل با زاویه‌ی قائمه وجود ندارد».

هندسه‌ی بیضوی (هندسه‌ی ریمانی)، یک هندسه‌ی نااقلیدسی است، مبنی بر تغییر اصل موضوع پنجم اقلیدس و



شکل ۲ . کره با دو زاویه‌ی قائمه

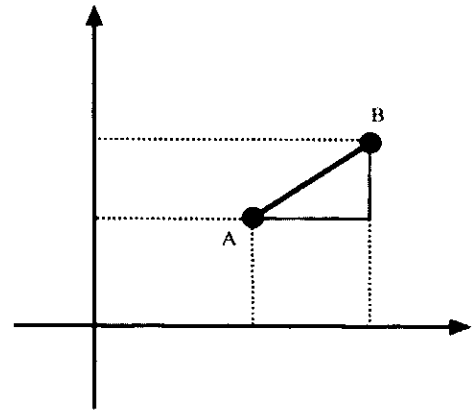
عبارت است: «از یک نقطه‌ی خارج یک خط، هیچ خط موازی با آن خط نمی‌گذرد.» پس در هندسه‌ی بیضوی خطهای موازی وجود ندارند. برای تصور این نوع هندسه، یک کره و دو زاویه‌ی قائمه روی خط استوا مطابق شکل ۲ در نظر بگیرید. توجه کنید که در این نوع هندسه، خطها، دایره‌های عظیمه و یا کمان‌هایی از این دایره‌ها هستند. این خطها بعد از طی یک چهارم محیط دایره در قلب همدیگر را قطع می‌کنند.

بسیاری از قضیه‌هایی که در هندسه‌ی اقلیدسی برقرارند، در هندسه‌ی ریمانی برقرار نیستند. برای مثال، در هندسه‌ی ریمانی: «مجموع زاویه‌های یک مثلث از ۱۸۰° بیش‌تر است»، «مستطیل با زاویه‌های قائمه وجود ندارد» و «قضیه‌ی فیثاغورس برقرار نیست».

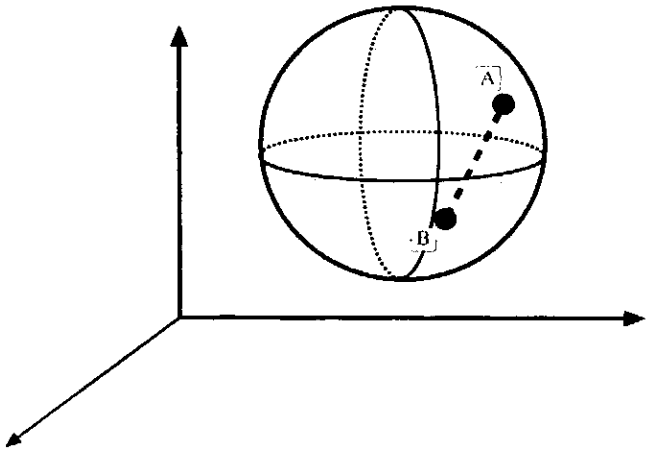
متریک

یک متریک روی مجموعه‌ی A عبارت است از تابعی به صورت $g: A \times A \to IR$ که $g(x,y)$ فاصله‌ی بین نقطه‌های x و y را در A نشان می‌دهد. یک متریک در سه شرط زیر صدق می‌کند:

۱) $g(x,y) = 0 \Leftrightarrow x = y$



شکل ۳



شکل ۴

(خاصیت تقارن) $g(x,y) = g(y,x)$ ۲

(نامساوی مثلثی) $g(x,y) + g(y,z) \geq g(x,z)$ ۳

اگر شرط اول حذف شود، g را «شبه متریک» می‌نامند. مجموعه‌ای که یک متریک روی آن تعریف شود، «فضای متریک» نامیده می‌شود.

حال دستگاه مختصات x و y را روی صفحه در نظر بگیریم. با توجه به قضیه‌ی **فیثاغورس**، فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی $A(x,y)$ و $B(x+\Delta x, y+\Delta y)$ (شکل ۳) عبارت است از:

$$s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

و در فضای سه بعدی، فاصله عبارت است از:

$$s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

و در فضای n بعدی، این فاصله از دستور زیر به دست می‌آید:

$$s = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \ldots + \Delta x_n^2}$$

پس در فضای اقلیدسی، برای تعیین فاصله‌ی دو نقطه کافی است، دو نقطه را مستقیماً به هم متصل کنید. اندازه‌ی این پاره‌خط، فاصله‌ی دو نقطه خواهد بود.

حال کره را ابتدا در فضای سه بعدی اقلیدسی در نظر بگیریم (شکل ۴). فاصله‌ی دو نقطه‌ی $A(x_1,y_1,z_1)$ و $B(x_2,y_2,z_2)$ را روی کره می‌توان به راحتی از قضیه‌ی فیثاغورس به دست آورد:

$$s = \sqrt{(x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2 + (z_2-z_1)^2}$$

اکنون کره را به صورت توپولوژیکی و نه هندسی در نظر می‌گیریم. یعنی کره را در فضای سه بعدی می‌نشانیم، به طوری که فقط نقطه‌های روی کره در فضای سه بعدی قرار بگیرند. در این صورت، فاصله‌ی دو نقطه‌ی کره که در واقع کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه است و ژئودزیک نامیده می‌شود، طول کمانی از دایره‌ی عظیمه است که از این دو نقطه می‌گذرد. (دایره‌ی عظیمه فصل مشترک سطح کره با صفحه‌ای است از مرکز کره می‌گذرد).

گاه بین دو نقطه بیش‌تر از یک ژئودزیک وجود دارد. مثلاً روی کره، ژئودزیک‌های زیادی بین قطب‌های شمال و جنوب، که دایره‌های عظیمه هستند، وجود دارد (شکل ۵).

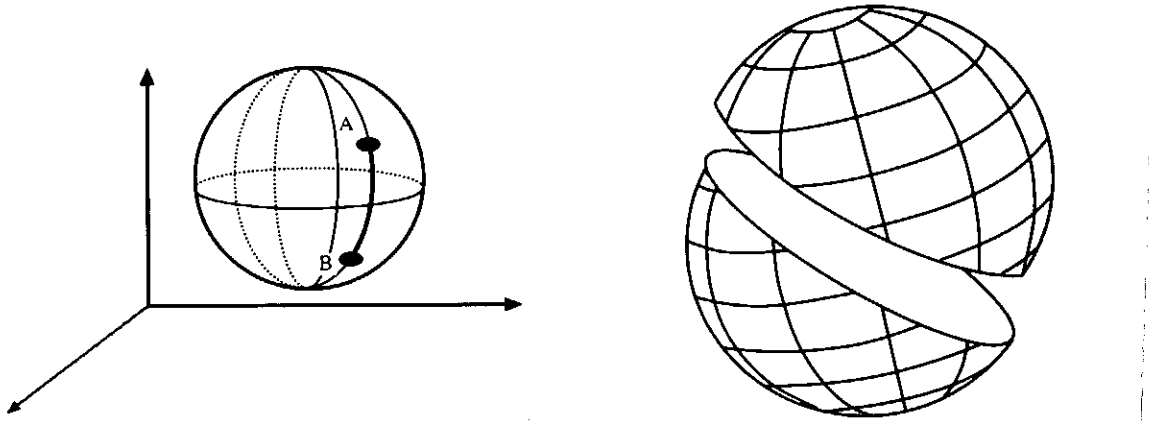
حال رویه‌ای دلخواه انتخاب می‌کنیم (شکل ۶). در این صورت، فاصله‌ی دو نقطه‌ی دلخواه A و B را چگونه می‌توان یافت؟ در این جا متریک ریمانی به کار می‌آید.

هندسه‌ی ریمانی عالم منحنی‌هایی را تشریح می‌کند که روی یک سطح خمیده یا در یک فضای خمیده هستند و در جهان با بعدهای بالاتر، ناشناخته و غیرقابل دسترسی هستند. در واقع هندسه ریمانی، یک روش نگرش به فاصله‌ها روی خمینه‌هاست. هندسه‌ی ریمانی در حوزه‌ی کوچکی از سطح، با هندسه‌ی روی صفحه اختلاف اندکی دارد. هرچه این حوزه کوچک‌تر باشد، اختلاف هم کم‌تر می‌شود. زیرا در واقع هر سطحی در نزدیکی هر نقطه‌ی خود، نسبت به صفحه‌ی مماس، تفاوت اندکی دارد (شکل ۷).

حال رابطه‌ی $s = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \ldots + \Delta x_n^2}$ را به فاصله‌ی دو نقطه در فضای اقلیدسی n بعدی مربوط است، به یاد آورید. در نزدیکی هر نقطه‌ای مثل A، مختصات جدید x_1، ... و x_n را طوری وارد می‌کنیم که داشته باشیم:

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + \ldots + dx_n^2$$

یعنی نقطه‌ی $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ را آن‌قدر نزدیک A انتخاب می‌کنیم که بتوانیم مانند فاصله‌ی دو نقطه در فضای اقلیدسی، فاصله‌ی نقطه‌ی A تا x را بیابیم.



شکل ۵

در فضای ریمانی، منحنی به این ترتیب داده می‌شود که هر n مختص نقطه، نسبت به پارامتر t که دربازه‌ی معینی تغییر می‌کند، مشخص شود:

$$y_1 = y_1(t),\ y_2 = y_2(t),\ \ldots,\ y_n = y_n(t);\ a \le t \le b \quad (1)$$

حال فرض کنیم، مختصات y_1، ... و y_n را در حوزه‌ای از فضای ریمانی وارد کرده باشیم. نقطه‌ی دلخواه A را در این حوزه انتخاب می‌کنیم و x_1، ... و x_n را مختصات خاص نقطه‌ی A در نظر می‌گیریم که برای آن‌ها، عنصر طول در این نقطه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + \ldots + dx_n^2 \quad (2)$$

مختصات x_i برحسب مختصات $y_i\ (i = 1,\ldots,n)$ با دستورهایی به این شرح قابل بیانند:

$$x_1 = f_1(y_1, y_2, \ldots, y_n)$$
$$x_2 = f_2(y_1, y_2, \ldots, y_n)$$
$$\vdots$$
$$x_n = f_n(y_1, y_2, \ldots, y_n)$$

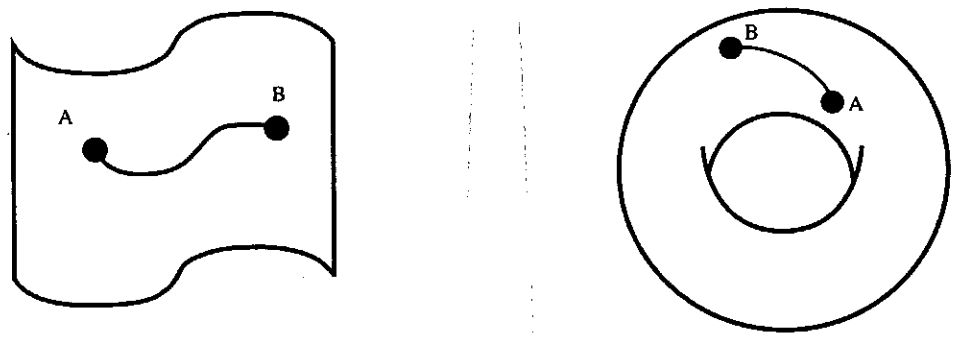
در نتیجه:

$$dx_i = \frac{\partial f_i}{\partial y_1}dy_1 + \frac{\partial f_i}{\partial y_2}dy_2 + \ldots + \frac{\partial f_i}{\partial y_n}dy_n \ ;\ i = 1,\ldots,n$$

حال با جاگذاری در رابطه‌ی ۲ خواهیم داشت:

$$ds^2 = g_{11}dy_1^2 + 2g_{12}dy_1dy_2 + g_{22}dy_2^2 + \ldots + g_{nn}dy_n^2$$

که $g_{ij} = \dfrac{\partial f_i}{\partial f_j}$، به‌طوری‌که: $i = 1,\ldots,n$. (رابطه‌ی بالا با توجه به رابطه‌ی $g_{ij} = g_{ji}$).



شکل ۶. سمت راست، نمودار یک چنبره را می‌بینید. چنبره، ناحیه‌ی بین دو کره یا دو بیضی متحدالمرکز است.

$$G=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}$$

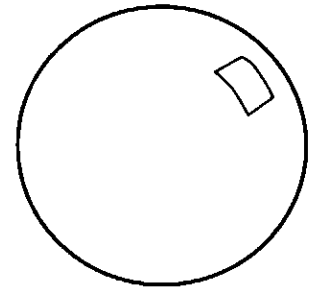
بنابراین :

$$g_{ij}=\begin{cases}1 & i=j\\ 0 & i\neq j\end{cases}$$

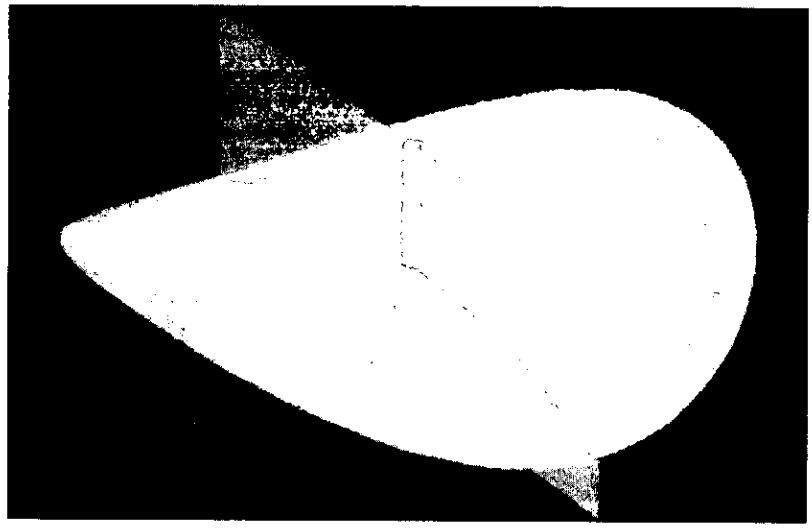
با جاگذاری در رابطه‌ی ۳ خواهیم داشت :

$$s=\int_a^b \sqrt{y_1'^2+y_2'^2+y_3'^2}\,dt$$

که این همان محاسبه‌ی طول منحنی



شکل ۷



شکل ۸

بنابراین :

$$ds^2=\sum_{i,k=1}^{n} g_{ik}dy_i dy_k \Rightarrow ds=\sqrt{\sum_{i,k=1}^{n} g_{ik}dy_i dy_k}$$

پس طول منحنی ، در فضای ریمانی ، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید :

$$s=\int ds=\int\sqrt{\sum_{i,k=1}^{n} g_{ik}dy_i dy_k} \qquad (۳)$$

در صورتی که منحنی با معادله‌ی ۱ داده شده باشد ، داریم :

$dy_1=y'dt,\ dy_2=y'dt,\ \ldots,dy_n=y'dt$

با جاگذاری در رابطه‌ی ۳ داریم :

$$s=\int_a^b \sqrt{\sum g_{ik}y_i'y_k'}\,dt \qquad (۴)$$

حال ماتریس $G=(g_{ij})_{n\times n}$ را در نظر بگیرید که درایه‌های این ماتریس ، همان g_{ij} ها هستند که در رابطه‌ی قبل وجود دارند .

فرض کنید $n=3$ باشد و داشته باشیم :

$y_1=y_1(t)\ ,\ y_2=y_2(t)\ ,\ y_3=y_3(t)\ ,\ a\le t\le b$

در فضای اقلیدسی $|R^3$ است . بنابراین فضای اقلیدسی ، حالت خاصی از فضای ریمانی است .

خمیدگی

برای منحنی C در صفحه‌ی تخت ، می‌توان خمیدگی را در نقطه‌ی مفروضی که برابر عکس شعاع دایره‌ی بوسان است ، محاسبه کرد .

اما برای رویه‌های دو بعدی در $|R^3$ ، دو نوع خمیدگی وجود دارد : «خمیدگی گاؤسی» (یا اسکالر) و «خمیدگی میانگین» .

برای محاسبه‌ی این دو نوع خمیدگی در یک نقطه‌ی مفروض از رویه ، رویه را با یک صفحه شامل یک بردار قائم ثابت قطع می‌کنیم . فصل مشترک رویه با صفحه ، یک منحنی تخت است و یک خمیدگی دارد . اگر صفحه را تغییر دهیم ، این خمیدگی تغییر خواهد کرد و دو مقدار خمیدگی ماکسیمال و مینیمال وجود خواهند داشت . پس خمیدگی های اصلی یک رویه در یک نقطه ، انحناهای کمینه و بیشینه منحنی های نرمال در آن نقطه هستند که

آن‌ها را با $\frac{1}{R_1}$ و $\frac{1}{R_2}$ نشان می‌دهند (شکل ۸).

خمیدگی میانگین یک رویه در یک نقطه، نصف مجموع خمیدگی‌های اصلی در آن نقطه است و خمیدگی گاؤسی یک رویه در یک نقطه، حاصلضرب خمیدگی‌های اصلی در آن نقطه است. بنابراین برای کره، خمیدگی همه‌جا مثبت است، برای هذلولیوار، همه‌جا منفی و برای صفحه‌ها همه‌جا صفر است. خمیدگی تعیین می‌کند که آیا یک رویه در یک نقطه، هندسه‌ی بیضوی (وقتی خمیدگی گاؤسی مثبت است) یا هذلولی (وقتی خمیدگی گاؤسی منفی است) دارد.

یک تعریف ذاتی خمیدگی گاؤسی در نقطه‌ای مانند p به این صورت است، مورچه‌ای را تصور کنید که با رشته‌ی کوتاهی به طول r به p ربط است. مورچه، در حالی که رشته کاملاً کشیده است، حول p حرکت می‌کند. C(r) اندازه‌ی مسیری است که حول p یک دور می‌چرخد. اگر رویه تخت باشد، داریم: $C(r)=2\pi r$. روی رویه‌های خمیده، فرمول برای C(r) متفاوت خواهد بود و خمیدگی گاؤسی k در نقطه‌ی p به صورت زیر می‌تواند محاسبه شود:

$$k=\lim_{r\to 0}(2\pi r-C(r))\frac{3}{\pi r^3}$$

جهت‌پذیری

در هندسه و توپولوژی، یک رویه در $\mathbb{R}^3$ جهت‌پذیر نامیده می‌شود، اگر بین دو طرف رویه تفاوت وجود داشته باشد. برای مثال، کره را در نظر بگیرید. می‌توانیم بین درون و برون کره فرق بگذاریم. بنابراین، کره جهت‌پذیر است. صفحه‌ی دو بعدی xy نیز که می‌توان آن را به عنوان زیر مجموعه‌ای از فضای سه بعدی تصور کرد، جهت‌پذیر است؛ زیرا می‌توانیم بین رو و پائین صفحه فرق بگذاریم. حال نواری مستطیلی را لوله کنید، ولی قبل از آن‌که دو لبه‌ی نوار را به هم بچسبانید، نیم پیچی به نوار بدهید. به این سطح، «نوار موبیوس» می‌گویند. این سطح در نظریه‌ی نسبیت و توپولوژی از اهمیت فراوانی برخوردار است. نوار موبیوس جهت‌پذیر نیست و در واقع فقط یک‌رو دارد. در شرایطی که هر حلقه‌ی معمولی مانند اشیای دیگر، دارای دو طرف و دو سو است، داخل و خارج حلقه‌ی پیچ‌خورده‌ی موبیوس، تنها یک طرف و یک‌سو دارد. در واقع

شکل ۹

می‌توانیم همه‌ی سطح را با حرکت مداوم و متصل قلم‌مو رنگ بزنیم، بدون آن که به مشکلی برخورد کنیم. رنگ‌آمیزی قسمت برون و درون یک استوانه‌ی معمولی، بدون آن‌که قلم مو از سطح آن جدا شود، امکانپذیر نیست (شکل ۹).

بطری کلاین (شکل ۱۰) نیز جهت‌پذیر نیست. زیرا نمی‌توان بین درون و بیرون آن فرق گذاشت. یک بطری با یک حفره در کف آن در نظر بگیرید. حال گردنه‌ی بطری را به سمت خودش خم کنید و به حفره در کف متصل کنید. یک حشره می‌تواند از بیرون به درون بیاید بدون این‌که از بین رویه بگذرد. (پس واقعاً درون و برون وجود ندارد).

در گذشته بشر اطمینان داشت، در فضای مسطح و نامحدود و در زمانی کاملاً لایتغیر و مستقل از فضا زندگی می‌کند. نظریه‌ی نسبیت خاص نشان داد، ما در فضا ـ زمانی زندگی می‌کنیم که برای ناظران گوناگون فرق می‌کند. در چنین عالمی، «جویبار لحظه‌ها» دارای سرعت‌های متفاوتی است. در برخی موارد تند در برخی دیگر کند حرکت می‌کند. مواردی نیز وجود دارد که زمان از حرکت می‌ایستد.

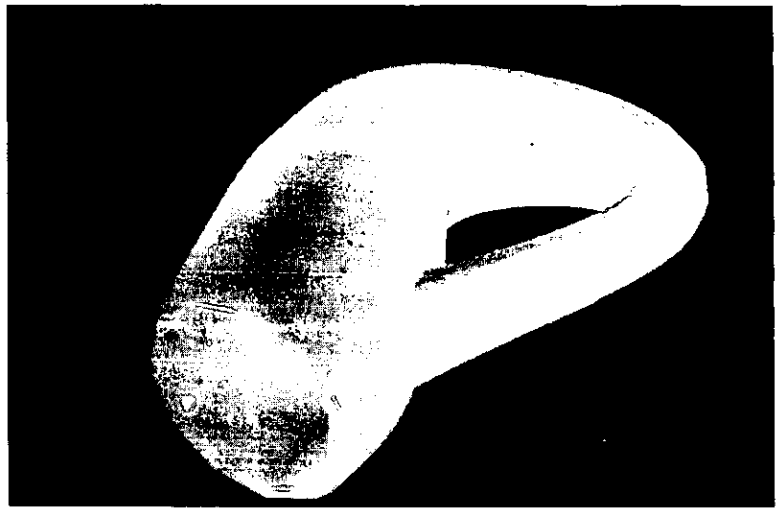
نظریه‌ی نسبیت عام نیز بنای فضای مسطح را در هم ریخت. در این نظریه ثابت می‌شود، تنها آن قسمت از فضا مسطح است که چگالی ماده بسیار کم و ناچیز باشد. در واقع، در برخی منطقه‌های عالم، میدان جاذبه آن‌قدر قوی است که یک «پیچش» فضا ـ زمان در این منطقه‌ها پدید می‌آید (مثل نوار موبیوس).

در سال ۱۹۱۷، اینشتین شروع به تدوین نظریه‌ای کرد که قابل تعمیم به عام بود. در این تاریخ، وی با مشکلات حل نشدنی ریاضی برخورد کرد که هم‌اکنون نیز، با وجود رشد حیرت‌انگیز ریاضی، به حل کامل آن‌ها نزدیک نشده‌ایم. به همین دلیل، وی توضیح برخی مشاهده‌ها لازم است.

معادله‌ی میدان اینشتین به صورت زیر است:

$$R_{ik} - \frac{g_{ik}R}{2} + \Lambda g_{ik} = \Lambda\pi\frac{G}{c^4}T_{ik}$$

که R_{ik} تانسور خمیدگی ریچی، R اسکالر خمیدگی ریچی، g_{ik} تانسور متریک، Λ ثابت کیهان شناختی، T_{ik} تانسور فشار انرژی، π همان عدد پی، c سرعت نور و G ثابت گرانشی است که در قانون گرانش نیوتون هم وجود دارد. g_{ik} متریک خمینه را بیان می‌کند و یک تانسور ۴×۴ متقارن است.



شکل ۱۰

در معادله‌های گرانش خود، عبارت مشهور «پارامتر عالم» را وارد کرد و سرانجام موفق به ساختن اولین مدل ریاضی عالم شد.

یادآور می‌شویم که نظریه‌ی نسبیت نشان می‌دهد، در عالم چهار بعدی، در جهت حرکت طول‌ها منقبض می‌شوند، زمان منبسط می‌شود و نور هنگام عبور از کنار جرم قابل ملاحظه، مسیر خطی خود را از دست می‌دهد و خمیده می‌شود. فضا نیز به شکل خمیده در می‌آید. به همین دلیل، هندسه‌ی مسطحه و سه بعدی اقلیدسی، در این منطقه‌ها مفهوم خود را از دست می‌دهد و جای خود را به هندسه‌ی لوباچفسکی و ریمانی و هندسه‌های دیگر می‌سپارد. زمان نیز شخصیت حقوقی مستقل خود را از دست می‌دهد و با فضا می‌آمیزد، تا فضا ـ زمان چهاربعدی مینکوفسکی را به وجود آورد.

معادله‌ی اینشتین، شامل یک پارامتر Λ به‌نام ثابت کیهان‌شناختی است که به وسیله‌ی اینشتین برای جهان ایستا معرفی شد (یعنی منبسط یا منقبض نمی‌شود). یک دهه بعد، رصدهای هابل[2] نشان دادند که عالم ما در حقیقت ایستا نیست، بلکه منبسط می‌شود. پس Λ به کناری نهاده شد. اما اخیراً روش‌های نجومی نشان داده‌اند که یک مقدار غیرصفر Λ برای بنابراین ۱۰ مؤلفه‌ی مستقل وجود دارد.

مطالعه‌ی حل‌های این معادله، یکی از فعالیت‌های شاخه‌ی نجوم به‌نام کیهان‌شناسی است که به پیشگویی درباره‌ی سیاهچاله‌ها و مدل‌های متفاوت تکامل عالم کمک می‌کند.

زیرنویس

1. black holes
2. Hubble

منابع

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Sectional-curvature.htm
2. http://en2.wikipedia.org/wiki/General-relativity.htm
3. http://en2.wikipedia.org/wiki/Curvature.htm
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Non-euclidean-geometry.htm
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Sectional-curvaure.htm
6. http://en2.wikipedia.org/wiki/Orientability.htm
7. http://mathworld.wolfram.com/RiemannianGeometry.html
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Riemannian manifold
9. http://en2.wikipedia.org/wiki/M%F6bius strip
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Riemannian-geometry
11. http://comet.lehman.cuny.edu/sormani.research/riemgeom.html
12. عضو اسپنیان، کاظم. تئوری نسبیت اینشتین و ساختمان عالم.

مواظب گفتارتان باشید:

استعاره می‌تواند شمشیری دولبه باشد

کیت اس تابر
مترجم: نسیم صبا

«تشبیه» و «استعاره»، پایه‌های اصلی تفکر علمی هستند. نقش آن‌ها در اکتشاف به خوبی نمایان می‌شود؛ مانند شباهتی که رادرفورد بین منظومه‌ی شمسی و اتم درنظر گرفت. از این موضوع در آموزش نیز استفاده می‌شود. مثلاً به نوآموزان گفته می‌شود، الکتریسیته شبیه جریان آب در لوله است. اما با وجود این همه فایده، تفکر تشبیهی هرگز رسماً به ما آموزش داده نمی‌شود.

دی جنتر و اِم جریورسکی [۱]

بخش اعظم گفتارها مبتنی بر استعاره است، اگرچه بسیاری از جنبه‌های استعاری نوشته‌ها و گفته‌هایمان نادیده گرفته می‌شوند.

معلم فیزیکی که در اتاق معلمان، از این اظهارنظر متداول که تا پایان سال تحصیلی «زمانی طولانی» باقی مانده است، استفاده می‌کند کلمه‌ی «طولانی» را که در فیزیک مربوط به کمیت طول (با بُعد فضا) است به طور مجازی برای دوره‌ی زمانی (با بُعد زمان)، به کار می‌برد. او احتمالاً نمی‌تواند همکارانش را متقاعد کند که بگویند: «دوره‌ای زمانی با اندازه‌ی بزرگ». در

این جا نکته‌ی آموزشی مهمی وجود دارد: آشنایی قبلی، روش تفسیر ما را از مفهوم یک عبارت استعاری، تغییر می‌دهد.

دانش‌آموزان ممکن است متوجه چگونگی توسعه‌ی زبان در طول زمان نشوند. خیلی جا خوردم، وقتی از واژه‌ی «مهمان یار» در یکی از درس‌ها استفاده کردم و شاگردی گفت که این واژه واقعی نیست؛ زیرا کسی آن را ساخته است.

به نظر من، روش پذیرش واژه‌های جدید در واژگان ما با روش پذیرش یک مفهوم علمی هم‌ارز است. ابتدا ممکن است، برچسبی با مفهوم نسبتاً مبهم داشته باشیم، اما با گذشت زمان، درک ما از ایده‌هایی که برچسب معرف آن است، عمیق‌تر می‌شود. در آموزش علوم، کار ما شناساندن ناشناخته‌هاست و تا جایی که امکان دارد، تجربه‌ای در ارتباط با آن مفهوم ارائه می‌کنیم، تا بتوانیم به آسانی آن را بشناسانیم. اگر این کار امکانپذیر نباشد، از مدل‌ها و نمایش‌هایی چون شبیه‌سازی رایانه‌ای استفاده می‌کنیم و اگر ایده مجرد باشد، ممکن است مطرح کنیم که مفهوم جدید شبیه مفهومی است که دانش‌آموز قبلاً با آن آشناست؛ مثلاً یک اتم از جهاتی شبیه به یک منظومه‌ی خورشیدی کوچک است. خطری که در این جا وجود دارد آن است که اگر از این مرحله فراتر نرویم، ممکن است دانش‌آموز این پیام را برداشت کند که اتم، یک منظومه‌ی خورشیدی کوچک است.

بنابراین ما باید بر سرشت «اندکی شبیه» مقایسه‌ی خود تأکید کنیم. این شبیه‌سازی به عنوان یک جای پا، وارد پایگاه اطلاعاتی فعلی دانش‌آموز می‌شود، و بنابراین، نقطه‌ی شروعی برای رشد مدل ذهنی دانش‌آموز از مفهوم جدید را تشکیل می‌دهد.

تفسیرهای جدید

کلمه‌ای که ابتدا به عنوان استعاره به کار رفته است، اگر به طور مداوم مورد استفاده قرار گیرد، می‌تواند معنی جدیدی، جدا از کاربرد اولیه‌ی آن پیدا کند. واژه‌ی «بار» در ابتدا برای توصیف یک ویژگی فیزیکی مجرد در مقایسه با مفهوم رایج بار به عنوان «بارگذاری» مورد استفاده قرار گرفت. دانش‌آموزان چگالی را، جرم تقسیم بر حجم می‌دانند و سپس این عبارت را به همین ترتیب برای خارج قسمت‌های دیگر، مانند چگالی الکترون، چگالی جمعیت، چگالی اپتیکی و غیره به کار می‌برند.

با این همه، اگر معلم فیزیک از کلمه‌ای که ابتدا به صورت استعاری به کار رفته و اکنون پذیرش عام یافته است استفاده کند، سوءتفاهم‌هایی ممکن است به وجود آیند. یک مثال در این مورد، واژه‌ی «اسپین» است. معنی رایجی برای اسپین وجود دارد، اما فیزیکدانان از این واژه برای برچسب زدن به ذره‌ای استفاده می‌کنند که دارای تکانه‌ی زاویه‌ای ذاتی است. جسم دارای اسپین (در مفهوم رایج آن)، دارای تکانه‌ی زاویه‌ای است، اما برای فیزیکدانان جسم می‌تواند دارای تکانه‌ی زاویه‌ای باشد، بدون این که از دیدگاه ماکروسکوپی متداول بچرخد. برای بسیاری از دانشجویان، این موضوع که الکترون، اسپین دارد، به چگونگی حرکت آن مربوط می‌شود و این موضوع وقتی دادن این مفهوم را با مدل‌های موجی الکترون و یا نشان دادن آن‌ها به صورت **ابرهایی** از **چگالی** بار دشوار می‌سازد.

هانس یورگن اشمیت[1]، متخصص آموزش شیمی، درباره‌ی «برچسب به عنوان یک قانع‌کننده‌ی پنهان» صحبت می‌کند [۲]. برای مثال، بسیاری از دانشجویان فرض می‌کنند که حاصل واکنش‌های خنثاسازی که در آن‌ها اسید به وسیله باز خنثی می‌شود، محصولی خنثاست، اما همیشه این طور نیست. به نظر می‌رسد که برچسب خنثاسازی چنین تصوری را ایجاب می‌کند، به‌ویژه وقتی که یکی از محصولات این واکنش آب باشد که به آن‌ها آموخته‌اند، خنثاست. برای ما رد کردن این موضوع آسان است: اگر شیمیدانان از واژه‌ی «خنثاسازی» برای واکنشی استفاده می‌کنند که محصولات آن همواره خنثا نیستند، نباید تعجب کنیم که دانشجو نتیجه‌ی نادرستی از موضوع بگیرد. به‌هرحال، قبل از این که به مسخره کردن بپردازیم، باید از درستی کارمان اطمینان پیدا کنیم.

استعاره‌های مغناطیسی

در فیزیک دبیرستان، بین آهنربای دائمی و موقت فرق می‌گذاریم. آهنربای الکتریکی یک آهنربای موقتی است؛ زیرا با قطع و وصل جریان به کمک کلید، میدان مغناطیسی تولید می‌شود یا از بین رود. معمولاً ماده‌ی به کار رفته در هسته‌ی آهنربا را به دو دسته‌ی «سخت» و «نرم» طبقه‌بندی می‌کنیم. از این واژه‌ها به صورت استعاری استفاده می‌کنیم. انرژی گرمایی، منطقه‌های موجود در ماده را به صورت کاتوره‌ای حرکت می‌دهد. میدان مغناطیسی حاصل از یک سیملوله، این حوزه‌ها را هم‌خط می‌کند. با این همه، در بعضی مواد این دو حوزه راحت‌تر از بقیه هم‌خط می‌شوند، و درنتیجه به آن‌ها مواد مغناطیسی نرم می‌گویند.

در مدرسه، معمولاً از آهن نرم به عنوان هسته‌ی آهنربای الکتریکی استفاده می‌کنیم. برای معلم، برچسب نرم به معنی آن است که به راحتی خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کند و به همان راحتی نیز این خاصیت را از دست می‌دهد. این مفهوم به قدری شناخته شده است که مشکلی به وجود نمی‌آورد و متوجه منشأ استعاری آن نمی‌شویم. اما ممکن است فراموش کنیم که برای بسیاری از دانش‌آموزان، واژه‌ی «نرم» در مورد موادی به کار می‌رود که به راحتی تغییر شکل می‌دهند.

استعاره می‌تواند شمشیر دولبه باشد

اخیراً، با دانش‌آموز ۱۵ ساله‌ای صحبت می‌کردم که در زمینه‌ی آهنرباهای الکتریکی برای درس فیزیک خود، تحقیق می‌کرد. او گفت که آهنربای مغناطیسی سخت برای مدتی مغناطیس می‌ماند، در حالی که هسته‌ی نرم، معمولاً خاصیت مغناطیسی خود را به سرعت از دست می‌دهد. وقتی آهن نرم در سیملوله‌ای قرار داده می‌شود، فوراً خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهد و تمام حوزه‌ها در جهت‌های مختلف قرار می‌گیرند. او فکر می‌کرد که فاصله‌ی بین مولکول‌ها یا اتم‌ها در آهن نرم بزرگ‌تر از جامد و سخت است. با این همه، او ادعا می‌کرد که هیچ آهن نرمی را ندیده است. اگرچه معلم هسته‌های آهنی نرم را در اختیار او گذاشته بود، او فکر نمی‌کرد که آن «هسته‌ها سخت هستند»، زیرا «سخت احساس می‌شدند».

این داستان به یادم آورد که ما چه‌قدر همه چیز را بدیهی می‌گیریم، و چه‌قدر راحت شاگردان می‌توانند مفهومی را برداشت کنند که ما قصد انتقال آن را نداریم. اگرچه این دانش‌آموز می‌دانست که اگر از هسته‌ی نرم در آهنربای الکتریکی استفاده کند، آهنربا، به سرعت خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهد، و اگرچه او روی آهنرباهای الکتریکی دارای این ویژگی تحقیق کرده بود، اما نمی‌توانست تشخیص دهد که میله‌ی آهنی سختی که از آن به عنوان هسته استفاده می‌کرد، می‌توانست همان آهن نرمی باشد که او چیزهایی درباره‌ی آن آموخته بود.

استعاره می‌تواند در آموزش بسیار مفید باشد، اما اگر واژه‌ها را بدون توجه به چگونگی به‌دست آوردن آن‌ها به کار بریم، می‌تواند برای دانش‌آموز گمراه‌کننده باشد. استعاره در آموزش می‌تواند مانند شمشیری دولبه باشد.

زیرنویس

1. Hans - Jürgen schmidt

مراجع

1. Gentner D and Jeriorski M 1993 Metaphor and Thought ed. A ortony 2nd edition (cambridge: cambridge unversity press) p447.
2. Schmidt H-J 1991 Alabel as a hidden persuader: chemists' neutralization concept Int. J. sci. Educ. 13 459-71.
3. Taber KS 2001 when the analogy breaks down: modelling the atam on the solar system, phys. Educ. 36 222-6.

منبع

physics Education, January 2005

دفتر انتشارات کمک آموزشی

آشنایی با مجله‌های رشد

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

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

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

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

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

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

- **رشد برهان راهنمایی (مجله‌ی ریاضی، برای دانش‌آموزان دوره‌ی راهنمایی تحصیلی)، رشد برهان متوسطه (مجله‌ی ریاضی، برای دانش‌آموزان دوره‌ی متوسطه)، رشد آموزش معارف اسلامی، رشد آموزش جغرافیا رشد آموزش تاریخ، رشد آموزش زبان و ادب فارسی، رشد آموزش زبان رشد آموزش 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 زمین‌شناسی، رشد آموزش فنی و حرفه‌ای، رشد مشاوره.**

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

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

برگ اشتراک مجله های رشد

شرایط

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

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

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

استان: ..... شهرستان: .....

خیابان: .....

.....

پلاک: ..... کدپستی: .....

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

امضا:

نشانی: تهران ـ صندوق پستی مشترکین ۱۶۵۹۵/۱۱۱

نشانی اینترنتی: www.roshdmag.org

پست الکترونیک: Email:info@roshdmag.org

☎ امور مشترکین: ۷۷۳۳۶۶۵۶ ـ ۷۷۳۳۵۱۱۰

☎ پیام گیر مجلات رشد: ۸۸۳۰۱۴۸۲ ـ ۸۸۸۳۹۲۳۲

یادآوری:

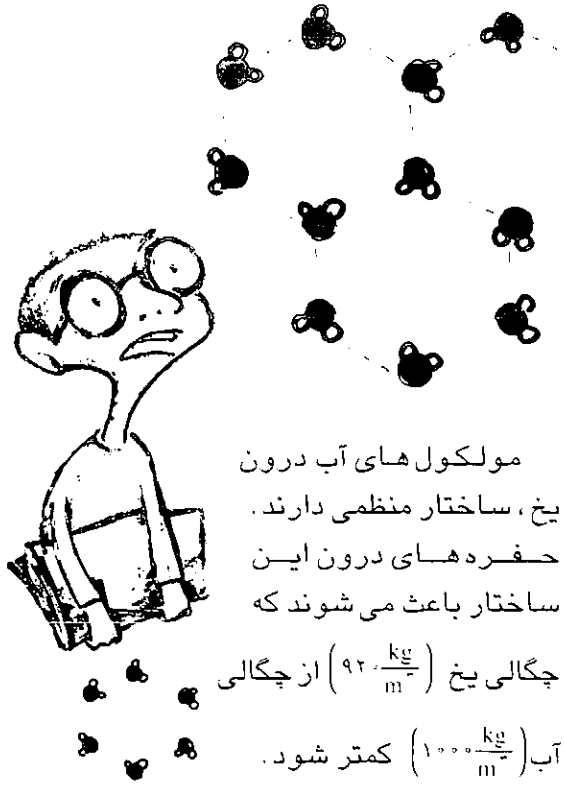
- هزینه برگشت مجله در صورت خوانا و کامل نبودن نشانی، بر عهده مشترک است.
- مبنای شروع اشتراک مجله از زمان وصول برگ اشتراک است.
- برای هر عنوان مجله برگ اشتراک جداگانه تکمیل و ارسال کنید (تصویر برگ اشتراک نیز مورد قبول است).

شما چه فکر می کنید؟

حسن قلمی باویل علیایی

یخ

مولکول های



مولکول های آب درون یخ، ساختار منظمی دارند. حفره های درون این ساختار باعث می شوند که چگالی یخ $\left(۹۲۰ \frac{kg}{m^3}\right)$ از چگالی آب $\left(۱۰۰۰ \frac{kg}{m^3}\right)$ کمتر شود.

چرا یخ بر روی آب شناور می ماند؟ برای پاسخ به این پرسش، باید ابتدا ببینیم که چه چیزی در درون این حفره ها قرار دارد؟ هوا یا بخار آب و یا هیچ چیز. شما چه فکر می کنید؟

این کار آسان نیست اما امکان‌پذیر است

پل دیویس
مترجم: مریم عباسیان

سفر در زمان از زمانی که اچ. جی. ولز[۲] در ۱۹۸۵ رمان معروف خود، ماشین زمان را نوشت، موضوع علمی-تخیلی مورد توجهی بوده است. اما آیا این کار واقعاً ممکن است؟ آیا می‌توان ماشینی ساخت که انسان را به گذشته یا آینده ببرد؟

چگونه یک ماشین زمان بسازیم؟

برای چند دهه، سفر در زمان فراتر از حاشیهٔ علم معتبر قرار داشت. اما در سال‌های اخیر، این موضوع در میان فیزیکدانان نظری به یک مسألهٔ کارگاه خانگی تبدیل شده است. انگیزهٔ این کار تا حدودی از بابت تفریحی بودن آن است. تفکر در مورد سفر در زمان موضوع جالبی است، اما این پژوهش جنبهٔ جدی دیگری نیز دارد. درک رابطهٔ میان علت و معلول، بخش کلیدی تلاش‌ها در جهت یافتن نظریهٔ وحدت یافته‌ای برای فیزیک است. اگر سفر در زمان، بدون محدودیت، حتی به لحاظ اصولی امکان‌پذیر بود، سرشت این نظریهٔ وحدت یافته تغییر

سیستم	مشخصات	مقدار اتساع زمان
پرواز هواپیما	با سرعت ۹۲۰ کیلومتر بر ساعت بر مدت ۸ ساعت پرواز	۱۰ نانوثانیه (نسبت به دستگاه مرجع لخت)
گشت زیر دریایی	درعمق ۳۰۰متر به مدت ۶ ماه	۵۰۰ نانوثانیه (نسبت به سطح دریا)
پرتوهای کیهانی نوترونی	10^{18} الکترون ولت	نیم عمر آن از ۱۵ دقیقه به ۳۰هزار سال افزایش می‌یابد.
ستارهٔ نوترونی	انتقال به‌سرخ ۰٫۲	بازه‌های زمانی ۲۰٪ افزایش می‌یابند (نسبت به اعماق کهکشان).

قابل ملاحظه‌ای می‌کرد.

بهترین شناخت از مقولهٔ زمان، برگرفته از نظریه‌های نسبیت اینشتین است. پیش از این نظریه‌ها، زمان واقعیتی کاملاً مطلق و جهانی بود که برای همهٔ ناظران، بدون توجه به موقعیت فیزیکی آن‌ها، یکسان در نظر گرفته می‌شد. اینشتین در نظریهٔ نسبیت خاص خود اظهار داشت که بازهٔ زمانی اندازه‌گیری شده بین دو رویداد، به چگونگی حرکت ناظر بستگی دارد. اساساً ناظرانی که به شکل‌های متفاوت حرکت می‌کنند، فاصله‌های بین دو رویداد یکسان را متفاوت می‌بینند.

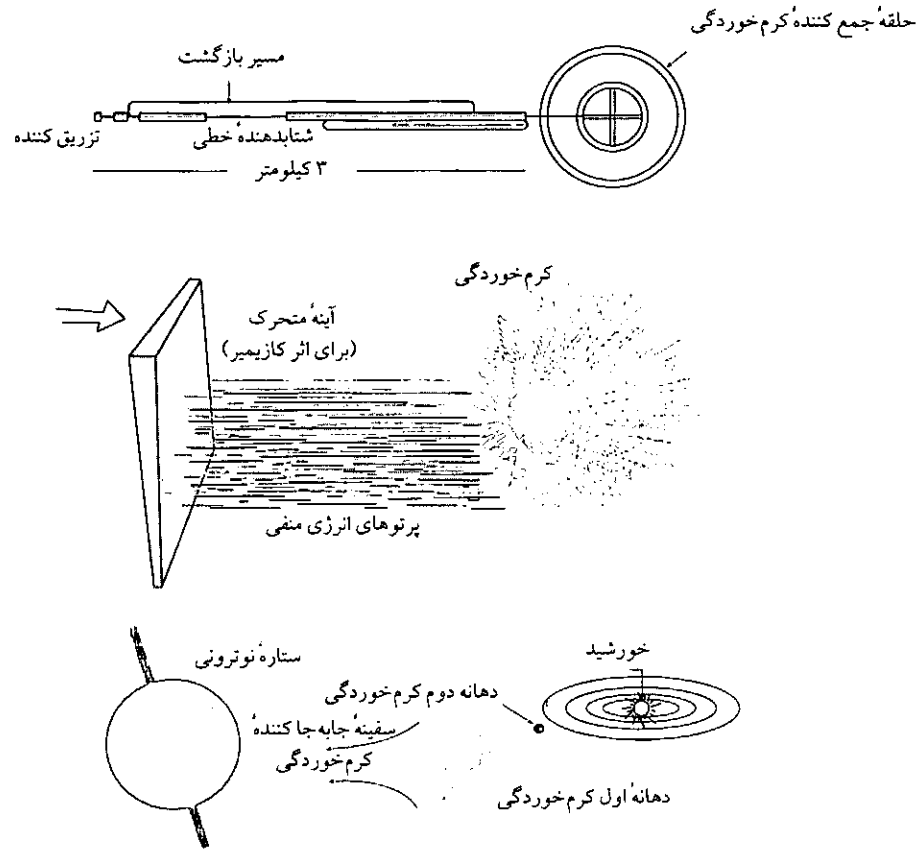
این اثر اغلب با کمک گرفتن از «پارادوکس دو قلوها» بیان می‌شود. فرض کنید، سالی و سام دوقلو هستند. سالی سوار بر سفینه‌ای به ستاره‌ای نزدیک می‌رود، دور می‌زند و به زمین باز می‌گردد، در حالی که سام در خانه می‌ماند. مدت سفر برای سالی ممکن است یک سال باشد، اما هنگامی که برمی‌گردد و از سفینه خارج می‌شود، متوجه می‌شود که روی زمین ۱۰ سال گذشته است. حال برادر او ۹ سال از او بزرگ‌تر است. گرچه سالی و سام در یک روز متولد شده‌اند ولی دیگر، همسن نیستند. این مثال، نوع محدودی از سفر در زمان را نشان می‌دهد. در واقع سالی به ۹ سال آیندهٔ زمین پریده است.

عقب‌ماندگی جت

این اثر که به «اتساع زمان» معروف است، وقتی رخ می‌دهد که دو ناظر نسبت به هم در حرکت هستند. ما در زندگی روزمره متوجه تاب‌خوردگی‌های عجیب زمان نمی‌شویم، چون وقتی این اثر بارز می‌شود که سرعت حرکت نزدیک به سرعت نور باشد. حتی در سرعت‌هایی معادل سرعت هواپیما نیز پدیدهٔ اتساع زمان در هر سفر فقط در حدود چند نانوثانیه است که ماجرایی ولزی نیست. با وجود این، ساعت‌های اتمی برای ثبت این انتقال دقیق هستند و تأئید می‌کنند، زمان به هنگام حرکت کش می‌آید. در نتیجه، سفر به آینده واقعیتی اثبات شده است؛ گرچه تا کنون مقدار آن‌چندان هیجان‌انگیز نبوده است.

برای مشاهدهٔ تاب‌خوردگی‌ها بارز زمان باید فراتر از محدودهٔ رویدادهای عادی را بنگریم. در شتابگرهای بزرگ، ذرات زیر اتمی، با سرعتی حدود سرعت نور به پیش رانده می‌شوند. بعضی از این ذرات، مانند موئون‌ها، دارای ساعت‌های ذاتی هستند؛ زیرا با نیمه‌عمر معینی وا می‌پاشند. با توجه به نظریهٔ اینشتین مشاهده می‌شود که موئون‌های سریع درشتابگرها به کندی وا می‌پاشند. به‌علاوه بعضی از پرتوهای کیهانی دستخوش تاب‌خوردگی زمانی تماشایی می‌شوند. این ذرات با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کنند که از دیدگاه آن‌ها، کل کهکشان را می‌توان فقط ظرف چند دقیقه پیمود، گرچه از دید ناظر چارچوب زمین، این کار چندین هزار سال طول می‌کشد. بدون در نظر گرفتن پدیدهٔ اتساع زمان، آن‌ها هرگز نمی‌توانستند به زمین برسند.

سرعت عاملی است که با کمک آن می‌توان در زمان جلو پرید گرانی عامل دیگری است. اینشتین در نظریهٔ نسبیت عام خود



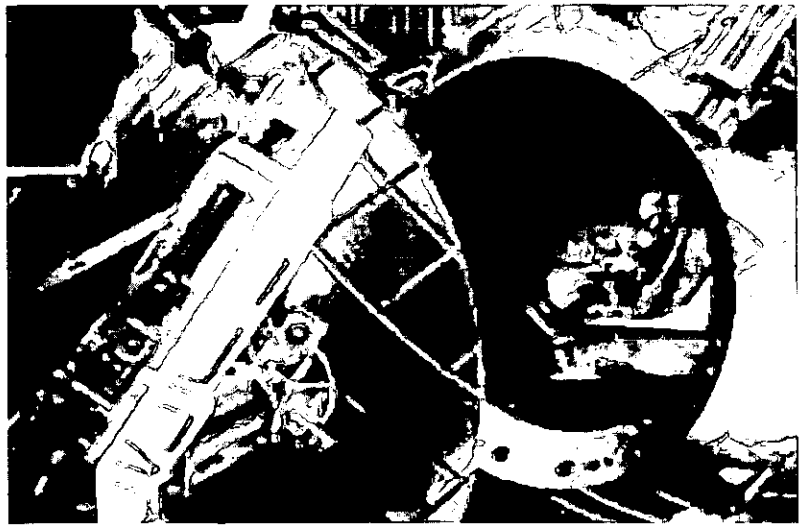
شکل ۱

پیش‌بینی کرد، گرانی زمان را کند می‌سازد. ساعت‌ها در اتاق زیرشیروانی کمی سریع‌تر از طبقهٔ همکف کار می‌کنند که به مرکز زمین و در نتیجه به مرکز میدان گرانشی نزدیک‌تر است. همین طور، ساعت‌ها در فضا سریع‌تر از روی زمین کار می‌کنند. اثر مشاهده شده اگرچه بسیار کوچک است، اما با استفاده از ساعت‌های دقیق مستقیماً قابل اندازه‌گیری است. بی‌شک این اثرهای تاب‌خوردگی زمان در سیستم تعیین مکان سراسری در فضا می‌باید در نظر گرفته شوند، در غیر این صورت ملوانان، رانندگان تاکسی و موشک‌های هدایت شونده، خود را کیلومترها دورتر از مسیر خواهند یافت.

گرانی در سطح ستاره‌های نوترونی چنان قوی است که در آن‌ها، زمان در حدود ۳۰ درصد کندتر از زمین می‌گذرد. از دید ناظر این ستاره، وقایع مانند فیلمی که تند شده است به نظر می‌رسند. یک سیاهچاله نشانگر نهایت تاب‌خوردگی زمان است. در سطح سیاهچاله، زمان در مقایسه با زمین متوقف می‌شود. یعنی اگر از حوالی سیاهچاله به آن سقوط کنید، در مدت زمان کوتاهی که طول می‌کشد تا به سطح سیاهچاله برسید، تمام ابدیت در عالم گسترده‌تری سپری می‌شود. بنابراین، تا جایی که به عالم خارج از سیاهچاله مربوط می‌شود، ناحیهٔ داخل سیاهچاله فراتر از پایان زمان است. اگر فضانوردی می‌توانست تا حوالی یک سیاهچاله برود و سالم باز گردد البته این فرض کاملاً تخیلی است ـ می‌توانست به آیندهٔ دور بپرد.

ماشین زمان، کرم‌خوردگی در سه مرحله

۱. **کشف یا ساخت کرم‌خوردگی**: کرم‌خوردگی تونلی است که دو نقطهٔ مختلف در فضا را به هم مرتبط می‌سازد. به‌صورت طبیعی، کرم‌خوردگی‌های بزرگی ممکن است در اعماق فضا و در نتیجهٔ مهبانگ (انفجار بزرگ) به وجود آیند. در غیر این صورت، مجبوریم از کرم‌خوردگی‌هایی با ابعاد زیراتمی که می‌توانند به صورت طبیعی وجود داشته باشند (و در اطراف ما، بین هستی و نیستی مدام در رفت‌وآمد هستند.) و یا انواع مصنوعی آن که توسط شتابگرهای ذرات ساخته می‌شوند (همان‌طور که این‌جا به تصویر کشیده شده است) استفاده کنیم. این کرم‌خوردگی‌های کوچک باید توسط میدان‌های انرژی، مانند



شکل ۲

میدان هایی که باعث انبساط عالم بعد از مهبانگ شدند، بزرگ‌تر شوند تا قابل استفاده باشند.

۲. **پایدار سازی کرم‌خوردگی**: تزریق انرژی منفی که توسط اثرهای کوانتومی فراهم می‌آید و «اثر کازیمیر» نامیده می‌شود، می‌تواند باعث شود که ذره یا سیگنال به سلامت از کرم‌خوردگی عبور کند. انرژی منفی، گرایش کرم‌خوردگی به درهم کشیده شدن و تبدیل به نقطه‌ای با چگالی بینهایت یا نزدیک به بینهایت را خنثی می‌کند. به بیان دیگر، مانع از سیاهچاله شدن آن می‌شود.

۳. **حرکت دادن کرم‌خوردگی**: فضاپیمایی که از فناوری بسیار پیشرفته‌ای بهره‌مند است، دهانه‌های کرم‌خوردگی را از هم جدا می‌کند. یکی از دهانه‌ها در نزدیکی سطح یک ستارهٔ نوترونی بسیار چگال و دارای میدان گرانشی قوی، قرار می‌گیرد. گرانی قوی آن باعث می‌شود، زمان کندتر بگذرد؛ به این دلیل که زمان در دهانهٔ دیگر سریع‌تر می‌گذرد. پس دهانه‌های کرم‌خوردگی نه تنها از نظر مکانی، بلکه از نظر زمانی نیز متفاوتند.

سرم گیج می‌رود

تا حالا در مورد جلو رفتن در زمان صحبت کرده‌ایم. آیا عقب رفتن هم ممکن است؟ این کار بسیار دشوارتر است. در ۱۹۴۸، کورت گدل[۷] از مؤسسهٔ مطالعات پیشرفته در پرینستون نیوجرسی، جوابی برای معادله‌های میدان گرانشی اینشتین یافت که عالم دورانی را توصیف می‌کرد. در این عالم، فضانورد می‌تواند در فضا حرکت کند و به گذشتهٔ خویش برسد. این کار ممکن است، زیرا گرانی بر نور تأثیر می‌گذارد این چرخش عالم، نور (و در نتیجه رابطه های علیتی میان اشیا) را به همراه خود به چرخش در می‌آورد که در نتیجهٔ آن، جسم مادی در حلقهٔ بسته‌ای در فضا که در واقع حلقهٔ بسته‌ای در زمان نیز هست، بدون این که در هیچ مرحله‌ای سریع‌تر از نور حرکت کند، در کنار ذرهٔ دیگر حرکت می‌کند. جواب گدل مانند یک شگفتی ریاضیاتی کنار گذاشته شد و در نهایت، رصدها هیچ نشانه‌ای از این که کل عالم در چرخش است، نشان ندادند. با این وصف، نتیجه‌گیری او نشان داد که طبق نظریهٔ نسبیت، عقب رفتن در زمان را نظریهٔ نسبیتی ممنوع نمی‌سازد. در واقع اینشتین اعتراف کرد، فکر این که نظریهٔ او سفر به گذشته را تحت شرایطی امکان‌پذیر سازد، نگرانش می‌سازد.

سناریوهای دیگری نیز یافته شده‌اند که سفر به گذشته را مجاز می‌دارند. برای مثال، در ۱۹۷۴ فرانک جی. تیپلر[۸] از دانشگاه تولین محاسبه کرد که استوانهٔ سنگین بسیار درازی که با سرعتی نزدیک به سرعت نور روی محور خود می‌گردد، با کشیدن نور به صورت حلقه‌ای بسته به دور استوانه می‌تواند فضانوردان را به گذشته ببرد. در ۱۹۹۱، جی. ریچاردگات[۹] از دانشگاه پرینستون پیش‌بینی کرد ریسمان‌های کیهانی ـ ساختاری که کیهان‌شناسان فکر می‌کنند در مراحل اولیه پس از مهبانگ خلق شده‌اند نیز می‌توانند نتایج مشابهی تولید کنند. در اواسط دههٔ ۱۹۸۰، واقعی‌ترین سناریو برای ساخت ماشین زمان بر اساس مفهوم کرم‌خوردگی به دست آمد.

کرم‌خوردگی را در داستان‌های علمی و تخیلی اغلب «دروازه‌های ستاره» می‌نامند. که راه میانبری بین دو نقطهٔ دور از هم در فضا فراهم می‌سازند. با پریدن داخل یک کرم‌خوردگی فرضی، می‌توانید لحظه‌ای بعد در آن سوی کهکشان از آن بیرون بیایید. طبیعتاً کرم‌خوردگی‌ها به نظریهٔ نسبیت عام برازش می‌یابند

شکل ۳

که در آن، گرانی نه تنها زمان بلکه فضا را نیز پیچ و تاب می‌دهد. این نظریه امکان می‌دهد که مسیرهای متفاوت به صورت تونل، دو نقطه از فضا را به یکدیگر مربوط سازند. ریاضیدانان چنین فضایی را دارای همبندی چندگانه می‌دانند. درست مانند تونلی که از میان کوه می‌گذرد و کوتاه‌تر از جاده‌های روی سطح آن است، کرم‌خوردگی نیز می‌تواند کوتاه‌تر از مسیر عادی باشد که از فضای معمولی می‌گذرد.

کارل ساگان در رمان خود به نام تماس، از کرم‌خوردگی‌ها به عنوان ابزاری تخیلی استفاده کرد. با الهام از ساگان، کیپ اس. تورن[۶] و همکارانش در انستیتوی فناوری کالیفرنیا می‌کوشند به این پرسش پاسخ دهند که آیا کرم‌خوردگی‌ها با فیزیک شناخته شده سازگارند یا خیر. شباهت کرم‌خوردگی و سیاهچاله از نظر گرانی هولناک آن‌ها، نقطهٔ شروع این کار بود. اما درست برعکس سیاهچاله که سفری یک طرفه به ناکجاست، کرم‌خوردگی علاوه بر ورودی دارای خروجی نیز هست.

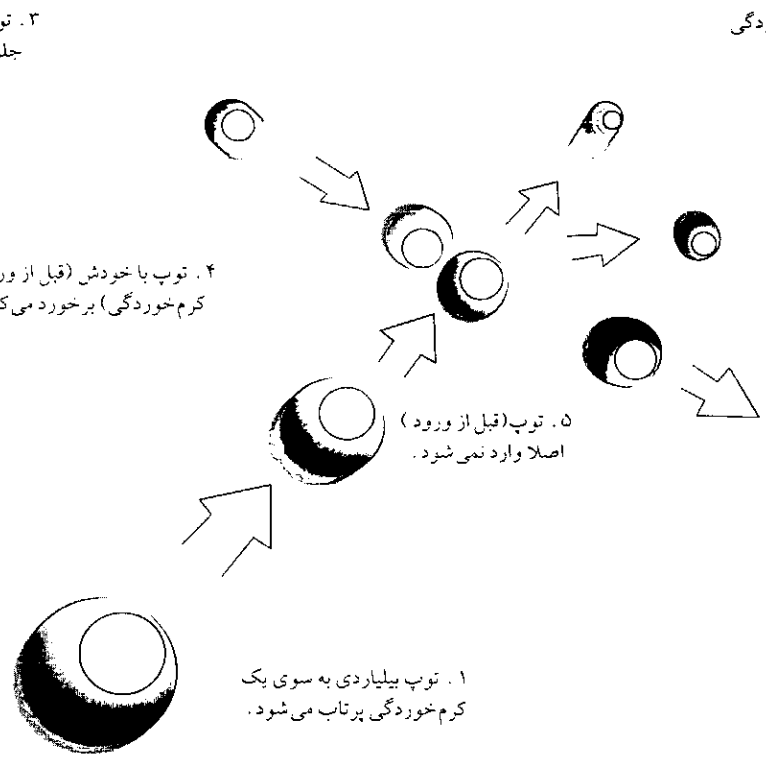
در حلقه

برای این‌که بتوان از کرم‌خوردگی‌ها عبور کرد، آن‌ها باید حاوی ماده‌ای باشند که تورن آن را مادهٔ عجیب نامید. در واقع، این ماده پادگرانی تولید می‌کند که با میل طبیعی سیستم سنگین برای ورود به سیاهچاله تحت تأثیر سنگینی وزن آن، مقابله می‌کند. پادگرانی یا دافعهٔ گرانشی را می‌توان با انرژی یا فشار منفی تولید کرد. می‌دانیم که حالت‌های انرژی منفی در بعضی سیستم‌های کوانتومی مشاهده می‌شوند که نشان می‌دهد، مادهٔ عجیب پیشنهادی تورن بر خلاف فیزیک نیست، اگرچه معلوم نیست بتوان مقدار کافی مادهٔ دارای پادگرانی فراهم ساخت که بتواند کرم‌خوردگی را پایدار سازد. تورن و همکارانش به زودی متوجه شدند که اگر بتوان کرم‌خوردگی پایدار به وجود آورد، به آسانی می‌توان از آن به عنوان ماشین زمان استفاده کرد. فضانوردی که از کرم‌خوردگی عبور کند، نه تنها می‌تواند از هر نقطهٔ دیگری در کهکشان بیرون بیاید، بلکه می‌تواند به آینده یا گذشته نیز برود.

برای این‌که کرم‌خوردگی برای سفر در زمان مناسب باشد، یکی از دهانه‌های آن باید بتواند، ستارهٔ نوترونی را به دنبال خود بکشد. گرانی ستاره، گذر زمان در حوالی دهانهٔ کرم‌خوردگی را کند می‌کند، به‌طوری که اختلاف زمان بین دو انتهای کرم‌خوردگی به تدریج انباشته می‌شود. اگر هر دو دهانه در نقطه‌های مشخصی از فضا پارک شده باشند، این اختلاف زمان بدون تغییر باقی می‌ماند.

فرض کنید اختلاف زمان ۱۰ سال است. یعنی فضانوردی که در یک جهت که از کرم‌خوردگی می‌گذرد، به ۱۰ سال آینده می‌رود، در حالی‌که فضانورد دیگری که از جهت مخالف از آن می‌گذرد، به ۱۰ سال گذشته خواهد رفت. اگر فضانورد دوم با سرعت زیاد در فضای معمولی به نقطهٔ شروع خود بازگردد، حتی می‌تواند قبل از زمان حرکت، به جای خود بازگردد. به بیان دیگر، حلقهٔ بسته در فضا می‌تواند حلقهٔ بسته درزمان نیز بشود. فقط یک محدودیت باقی می‌ماند: فضانورد نمی‌تواند به زمان قبل از ساخته شدن کرم‌خوردگی برگردد.

مشکل اساسی برای ساختن ماشین زمان کرم‌خوردگی، ساخت اولیهٔ کرم‌خوردگی است. به احتمال زیاد، چنین ساختارهایی در فضا به‌صورت طبیعی وجود دارند که در واقع باقی مانده‌های مهبانگ هستند. اگرچنین باشد، یک تمدن بزرگ ممکن است بر یکی از آن‌ها حکمرانی کند. حتی ممکن است، کرم‌خوردگی‌های طبیعی در دستیابی‌های بسیار کوچک، در حد



شکل ۴

طول یک پلانک، یعنی 10^{-20} برابر کوچک‌تر از هستهٔ اتم، به وجود آیند. چنین کرم‌خوردگی‌هایی را می‌توان با یک تپ(پالس) انرژی پایدار ساخت و سپس تا ابعاد قابل استفاده متورم ساخت.

سانسورشده!

به فرض این‌که مشکلات فنی را بتوان حل کرد، باز هم ماشین زمان می‌تواند مجموعه‌ای از پارادوکس‌های علیتی را به‌وجود آورد. برای مثال، مسافری را در نظر بگیرید که به گذشتهٔ خود می‌رود و مادر خود را هنگامی که دختر جوانی بوده است می‌کشد. این حادثه چه معنایی می‌تواند داشته باشد؟ اگر دختر بمیرد، او هرگز مادر مسافر ما نخواهد بود. اما اگر مسافر هرگز به دنیا نیامده باشد، نمی‌تواند به گذشته برود و مادر خود را بکشد.

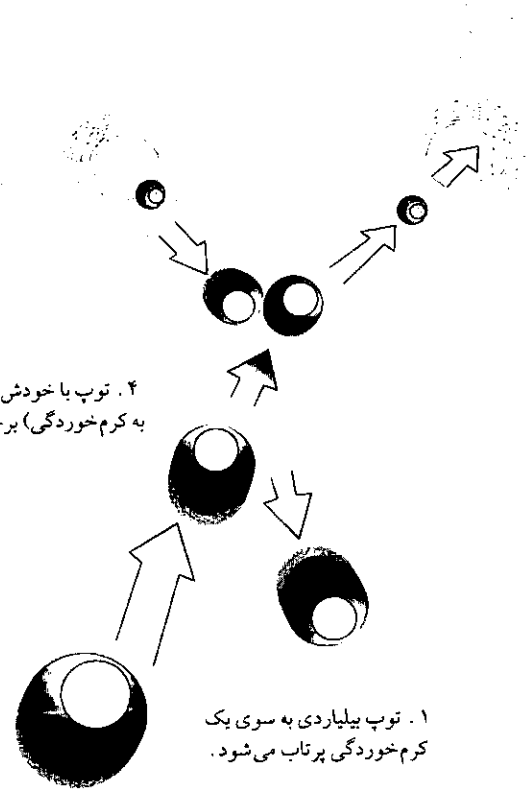
پارادوکس‌هایی از این نوع هنگامی به وجود می‌آیند که مسافر زمان سعی می‌کند، گذشته را تغییر دهد که آشکارا غیر ممکن است. اما چنین مشکلاتی مانع از این نمی‌شود که فرد بخشی از گذشتهٔ خود باشد. فرض کنید، مسافر به گذشته برود و دختر جوانی را از کشته شدن نجات دهد و این دختر وقتی بزرگ‌تر شد، مادر او شود. حال این حلقهٔ علیتی خود سازگار است و پارادوکس نیست. سازگاری علیتی می‌تواند محدودیت‌هایی را بر کارهایی که مسافر می‌تواند انجام دهد تحمیل کند، اما مانع از سفر در زمان نمی‌شود.

مادر تمامی پارادوکس‌ها

این پارادوکس مشهور (که گاهی با استفاده از روابط آشنای دیگری فرمولبندی می‌شود) از آن‌جا ریشه می‌گیرد که افراد و اجسام می‌توانند به گذشته سفر کنند و آن را تغییر دهند. مدل ساده شدهٔ ما از چند توپ تشکیل شده است. توپ بیلیاردی از ماشین زمان کرم‌خوردگی می‌گذرد، به خودش (قبل از ورود به کرم‌خوردگی) برخورد می‌کند و مانع از ورودش به کرم‌خوردگی می‌شود.

حل این تناقض با استفاده از استدلالی ساده میسر است. توپ بیلیارد نمی‌تواند کاری را انجام دهد که با منطق یا قوانین فیزیکی ناسازگار باشد. توپ نمی‌تواند به گونه‌ای وارد کرم‌خوردگی شود که مانع از عبور خودش از آن گردد.

اگرچه سفر در زمان کاملاً متناقض نما نیست، اما بدون شک غیرعادی است. فرض کنید مسافری یک سال جلو برود و قضیهٔ ریاضی جدیدی را در شمارهٔ آیندهٔ ساینتیفیک امریکن بخواند، جزئیات را به خاطر بسپارد، به زمان خودش برگردد و قضیه را به شاگردی یاد دهد و او مقاله‌ای با همین عنوان به ساینتیفیک امریکن



شکل ۵

بفرستد. البته این مقاله همانی است که مسافر خوانده است. پس این پرسش مطرح می‌شود که اطلاعات مربوط به این قضیه از کجا آمده است؟ بدون شک مربوط به مسافر نیست، چون او فقط آن‌ها را از جایی خوانده است. اما بدون شک مربوط به دانشجو نیز نیست، چون آن را از مسافر آموخته است. از قرار معلوم این اطلاعات بدون دلیل از هیچ کجا آمده‌اند.

پیامدهای عجیب سفر در زمان باعث شده است، دانشمندان این اندیشه را کاملاً کنار بگذارند. اسیتون هاوکینگ از دانشگاه کمبریج، «پندارهٔ حفاظت از ترتیب زمانی» را پیشنهاد کرد که حلقه‌های علیتی را مردود می‌دارد. چون نظریهٔ نسبیت وجود حلقه‌های علیتی را امکان‌پذیر می‌سازد، اگر حفاظت از ترتیب زمانی نیازمند عامل دیگری برای ممانعت از سفر به گذشته است، این عامل چه می‌تواند باشد؟ یک فرض آن است که فرایندهای کوانتومی به کمک ما می‌آیند. وجود ماشین زمان اجازه می‌دهد، ذرات به گذشتهٔ خودشان برگردند.

محاسبه‌ها دال برآن هستند که آشفتگی‌های حاصل، خود تقویت کننده می‌شوند و موجی گریزان از انرژی را به‌وجود می‌آورند که کرم‌خوردگی را نابود می‌کند.

از آن‌جا که حفاظت از ترتیب زمانی هنوز فقط یک فرض است، بنابراین سفر در زمان همچنان یک احتمال باقی می‌ماند. برای یافتن حل نهایی این مسأله باید منتظر وحدت موفقیت‌آمیز مکانیک کوانتومی و گرانش باشیم که از طریق نظریه‌هایی مثل نظریهٔ ریسمان یا تعمیم آن که «نظریهٔ M» نامیده می‌شود، تحقق پذیرد. به‌علاوه، شاید نسل جدید شتابگرهای ذرات قادر به تولید کرم‌خوردگی‌هایی با ابعاد زیر اتمی باشند که به اندازهٔ کافی باقی بمانند تا ذرات حوالی آن‌ها، وقت کافی برای ایجاد حلقه‌های فانی علیتی را داشته باشند. این البته با تصویر ولز از ماشین زمان فاصلهٔ بسیار دارد، اما تصور ما از واقعیت فیزیک را برای همیشه تغییر خواهد داد.

زیرنویس

1. Wormhole (تونلی که دو نقطهٔ متفاوت را در فضا به هم مرتبط می‌سازد.)
2. H.G.wells
3. Kurt Gdel
4. Frank J. Tipler
5. J.Richard Gott
6. Kip s. Thorne

منبع

Scientific American: How to Build a Time Machine, Paul Davies, August 13, 2002.

آموزشی

آسمان آبی و غروب سرخ

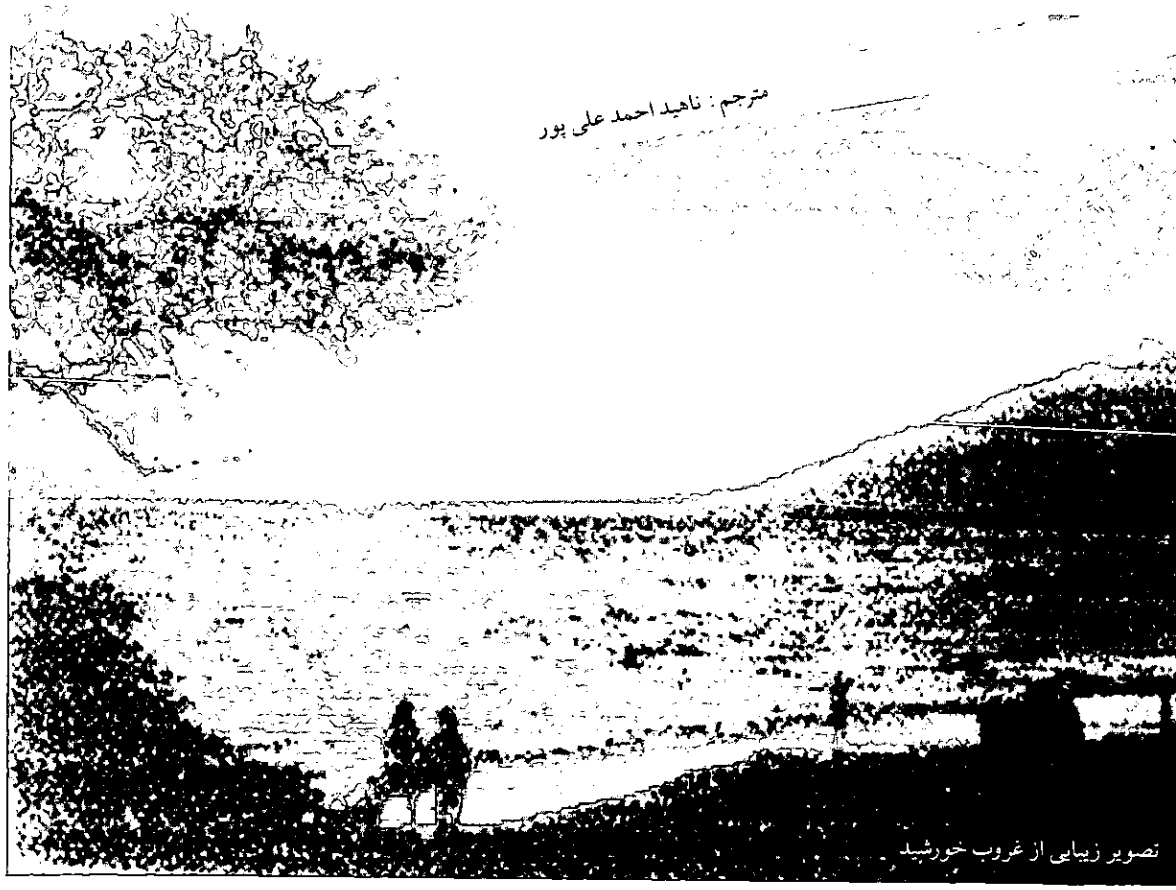
مترجم: ناهید احمد علی پور

خورشید امواج نوری گسیل می‌کند که شامل گستره‌ای از بسامدهاست. برخی از این بسامدها در محدوده‌ی طیف مرئی قرار دارند و در نتیجه، توسط چشم انسان قابل آشکارسازی هستند. نور خورشید سفید به نظر می‌رسد، زیرا همه‌ی بسامدهای مرئی را دربردارد. این نور سفید بر زمین فرود می‌آید و جهان خارج و جوی را که سیاره‌ی ما را احاطه کرده است، روشن می‌کند. در برهم‌کنش نور مرئی با ماده، بسامدهای خاصی از نور را جذب نمی‌کند؛ زیرا برخی از بسامدهای نور مرئی را ماده جذب نمی‌کند. بسامدها یا از آن عبور می‌کنند (در مواد شفاف)، یا از سطح آن بازمی‌تابند (در مواد کدر).

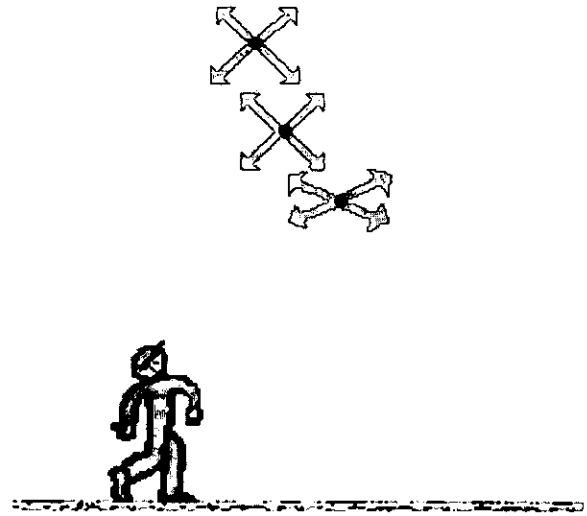
وقتی به اشیای گوناگون اطرافمان نگاه می‌کنیم، رنگی که چشم ما می‌بیند، به رنگ‌های نوری بستگی دارد که آن جسم بازتابانده یا عبور داده و به چشم ما رسیده است. بنابراین، وقتی یک برگ سبز را روی درخت می‌بینیم، در حقیقت اتم‌ها در مولکول‌های کلروفیل برگ، اکثر بسامدهای نور مرئی را به جز سبز، جذب کرده‌اند، ولی نور سبز را به چشم ما بازتابانده‌اند. پس برگ سبز دیده می‌شود. هنگامی که به آسفالت سیاه خیابان نگاه می‌کنیم، اتم‌های آسفالت همه‌ی بسامدهای نور مرئی را جذب می‌کنند و هیچ رنگی را به چشم ما بازنمی‌تابانند. در نتیجه آسفالت خیابان سیاه به نظر می‌رسد (نبود نور). بنابراین، برهم‌کنش نور خورشید با مواد، رنگ جهان پیرامون ما را به وجود می‌آورد. در این جا، برای توجیه آسمان آبی و غروب سرخ خورشید، به بررسی برهم‌کنش نور خورشید با ذرات جو می‌پردازیم و می‌کوشیم، به دو پرسش زیر پاسخ دهیم:

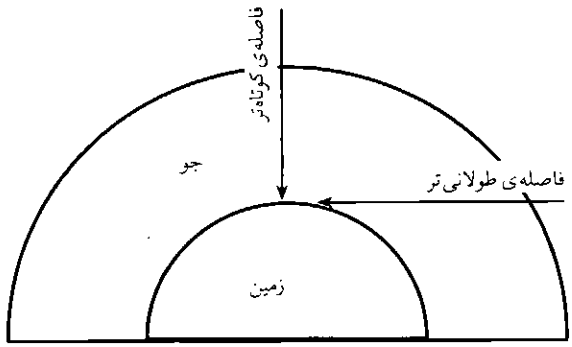
۱. چرا آسمان آبی است؟

۲. چرا غروب سرخ است؟



تصویر زیبایی از غروب خورشید





دلیل این که خورشید هنگام ظهر زرد به نظر می‌رسد آن است که بسامدهای بالاتر آن پراکنده شده‌اند.

بر هم‌کنش نور خورشید با مواد می‌تواند به یکی از سه رفتار موجی جذب، عبور و بازتاب بینجامد. جو، دریایی از گازهاست که انواع گوناگونی از ذرات در آن وجود دارند. دو نوع ماده که در جو به مقدار زیادی وجود دارند، گازهای اکسیژن و نیتروژن است. این ذرات در پراکندگی بسامدهای بالاتر و طول موج‌های کوتاه‌تر طیف نور مرئی بسیار مؤثر هستند. فرایند پراکندگی، شامل جذب یک موج نور در اتم و سپس باز گسیل موجی در جهت دیگر است. میزان پراکندگی نور به بسامد نور بستگی دارد (با توان چهارم بسامد نور متناسب است). گازهای اکسیژن و نیتروژن، نور بنفش را که به دنبال نورهای آبی و سبز و... است، پراکنده می‌سازند. بنابراین، وقتی نور سفید که شامل نورهای قرمز، نارنجی، زرد، سبز و آبی و نیلی و بنفش است از جو می‌گذرد، بسامدهای بالا (نورهای آبی و نیلی و بنفش) پراکنده می‌شوند، در صورتی که بسامدهای پائین‌تر (قرمز، نارنجی و زرد)، بدون تغییر خاص در جهتشان از آن عبور می‌کنند. در نتیجه‌ی پراکندگی بسامدهای بالاتر نور خورشید، آسمان با نورهای آبی و نیلی و بنفش (که در انتهای طیف نور مرئی هستند) روشن می‌شود. البته چشم ما به آبی حساس‌تر است. بنابراین، ما آسمان را آبی می‌بینیم.

نوری که پراکنده نشده است، از جو عبور می‌کند و به چشمان ما می‌رسد. هنگام ظهر، بسامدهای پائین‌تر نور خورشید، یعنی نورهای قرمز و نارنجی و زرد به چشمان ما می‌رسند. گرچه نور خورشید شامل تمام بسامدهاست، اما همه‌ی آن‌ها شدت یکسانی ندارند. در حقیقت، بسامدهای زرد از بقیه‌ی بسامدهای آن بسیار بیش‌تر است. بدین سبب، نور خورشید هنگام ظهر زرد دیده می‌شود، زیرا مقادیر قابل ملاحظه‌ای از نور زرد مستقیماً از طریق جو به چشم ما می‌رسد.

ظاهر خورشید در طول روز تغییر می‌کند. در حالی که هنگام ظهر زرد به نظر می‌رسد، با نزدیک شدن به غروب رنگ خورشید به تدریج تغییر می‌کند. این موضوع را می‌توان با پراکندگی نور توضیح داد. وقتی خورشید به خط افق می‌رسد، نورش فاصله‌ی طولانی‌تری را در جو طی می‌کند.

با طولانی شدن مسیری که نور خورشید در جو طی می‌کند، همه‌ی بسامدهای نور مرئی با ذرات بیش‌تری روبه‌رو می‌شوند. این باعث پراکندگی مقادیر بیش‌تر و بیش‌تری از نور زرد می‌شود. پس در هنگام غروب، نوری که از جو عبور می‌کند و به چشم ما می‌رسد، بیش‌تر شامل نورهای قرمز و نارنجی است. زیرا همان‌طور که اشاره شد، به جز نورهای قرمز و نارنجی بقیه نورها را ذرات پراکنده کرده‌اند. به این دلیل، غروب خورشید نارنجی ـ قرمز فام است. اگر جو دارای ذرات بیش‌تری باشد، سرخی غروب خورشید نیز بیش‌تر می‌شود. حضور هوامیزهای گوگردی (که به عنوان آلاینده‌های صنعتی گسیل می‌شوند)، غروب‌های سرخ باشکوهی را به وجود می‌آورد؛ اگرچه مسائل زیست‌محیطی بسیار جدی و خطرناکی را نیز در پی دارد.

برگرفته از سایت اینترنتی:

www.yahoo.com → physics → the physics classroom → lesson 2 blue skies and red sunsets.

شومینه، وسیله‌ای برای سرمایش یا گرمایش

مجید بیک محمّدی

پرداختن به موضوع میزان گرمادهی وسایل گرمایشی در خانه‌ها، از دو جنبه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد:

۱. صرفه‌جویی در مصرف انرژی

۲. طراحی و ساخت وسایل گرمایشی بهتر

قبل از پرداختن به موضوع مقاله، مطالبی هرچند به اختصار، درخصوص روش‌های انتقال گرما در محیط بیان می‌کنیم:

۱. **انتقال گرما از طریق رسانش**: انتقال گرما بدین روش به محیط مادی نیاز دارد. جامدات، مایعات و گازها به دلیل ساختار خاص مولکولی خود، رتبه‌های اول تا سوم را در امر رسانش احراز می‌کنند.

۲. **انتقال گرما از طریق تابش**: در فرایند تابش، انتقال گرما به محیط مادی نیاز ندارد، ولی شدت و طول موج امواج گسیل شده، نقش مهمی را در این فرایند ایفا می‌کنند.

۳. **انتقال به روش همرفت**: انتقال گرما در این روش، به دلیل اختلاف چگالی بین دو نقطه از شاره صورت می‌گیرد.

نقش‌های متفاوت روش‌های انتقال گرما در یک اتاق

با توجه به این‌که هوا محیط انتقال دهنده‌ی گرما در یک اتاق است، هر یک از روش‌های بالا تأثیر متفاوتی در این انتقال دارند. همان‌طور که می‌دانیم، هوا رسانای ضعیف گرماست. بنابراین، در انتقال گرمای درون اتاق، فرایند رسانش نقش چندانی ندارد، ولی توجه به امر رسانش گرمایی در طراحی و ساخت بدنه‌ی وسایل گرمایشی، امری بسیار مهم و غیرقابل چشم‌پوشی است که در ادامه در مورد این موضوع مطالبی بیان خواهد شد.

انتقال گرما به روش تابش با شدت تابش و طول موج گسیل شده به وسیله‌ی دستگاه‌های گرمایشی رابطه‌ی مستقیمی دارد. بدین معنی که هرگاه یک وسیله‌ی گرمایشی بتواند امواجی با شدت زیاد و طول موج کوتاه تولید کند می‌تواند، گرمای زیادی را به محیط انتقال دهد. ولی تولید این امواج علاوه بر این که برای سلامتی انسان ضرر دارد، مقرون به صرفه هم نیست. در این خصوص به ساخت وسایل گرمایشی که بتوانند امواج مرئی را تولید کنند، قناعت کرده‌ایم.

انتقال گرما به روش همرفت نیز نقش مهمی را در گرم کردن خانه‌ها ایفا می‌کند، به‌طوری که گرم کردن داخل خانه‌ها و ساختمان‌ها بدون در نظر گرفتن این شیوه‌ی مبادله‌ی گرما، غیرممکن است. دلیل اهمیت همرفت در این نکته نهفته است که محیط انتقال دهنده‌ی گرما، هواست و می‌دانیم که عمل همرفت در محیط‌های شاره‌ای، با سهولت و سرعت انجام می‌گیرد. البته سرعت و سهولت در این امر، با طرح و شکل وسیله‌ی گرمایشی و همچنین مواد به کار رفته در آن رابطه‌ی مستقیمی دارد که در ادامه در این‌باره مطالبی بیان خواهد شد.

ناکارامدی‌های شومینه

با توجه به مطالب بالا، هر قدر یک وسیله‌ی گرمایشی بتواند بهتر شرایط لازم را در جهت مبادله‌ی گرما با محیط مهیا سازد، ابزار مناسب‌تری برای گرم کردن هوای خانه‌هاست. وسیله‌ای همچون شومینه یا به عبارت دیگر، شومینه‌هایی که به شکل سنتی در کشور ما مورد استفاده قرار می‌گیرند، واقعاً چه نقشی را در گرمایش خانه‌ها دارند؟

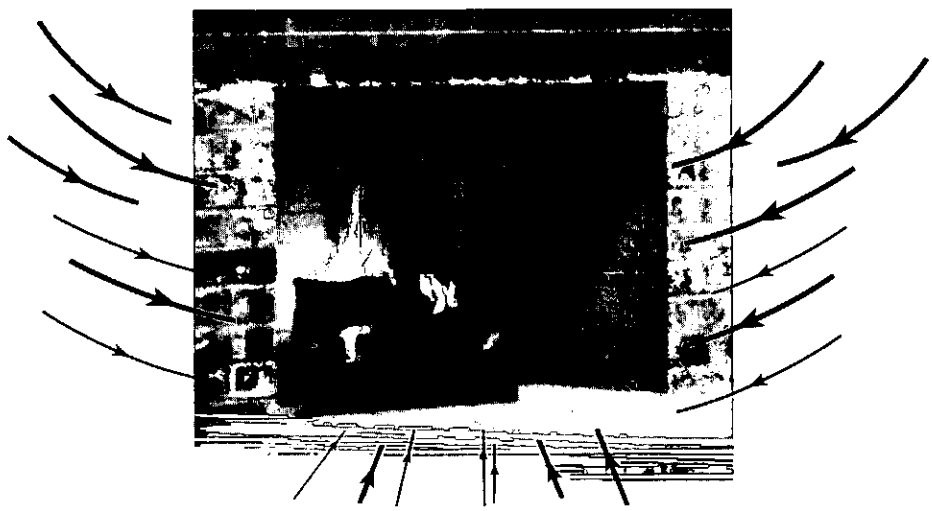
با بررسی‌های انجام شده درمی‌یابیم، این شومینه‌ها به جای گرم کردن خانه‌ها، باعث سرد شدن آن‌ها می‌شوند. برای اثبات

این موضوع می‌توان دلیل‌های زیر را بیان کرد:

همان‌طور که اشاره شد، رسانش (البته به طور مستقیم) در گرم کردن هوای خانه نقش چندانی را ایفا نمی‌کند، ولی نقش میانجی برای عمل همرفت را دارد؛ به‌طوری که ضعف در رسانش، به ضعف در عمل همرفت می‌انجامد.

در این‌جا ناکارامدی شومینه را در عمل رسانش، با توجه به رابطه‌ی $Q=\frac{kAt\Delta\theta}{L}$ بررسی می‌کنیم. طبق این رابطه، مقدار گرمای منتقل شده، با ضریب رسانش (k)، سطح مقطع (A) و زمان رسانش (t) و اختلاف دمای دو طرف رسانا ($\Delta\theta$) رابطه‌ی مستقیم و با ضخامت رسانا (L) رابطه‌ی عکس دارد. پس یک وسیله‌ی گرمایی هنگامی می‌تواند رسانای گرمایی مناسبی باشد که:

۱. از موادی ساخته شده باشد که ضریب رسانندگی بالایی دارند.



۲. سطح مقطع مناسبی برای رسانش گرمایی داشته باشد.

۳. اختلاف دمای زیاد در دو طرف رسانای آن برقرار باشد.

۴. ضخامت ماده‌ی به کار رفته در بدنه‌ی دستگاه گرمایشی زیاد نباشد.

عیب‌های شومینه در رسانش گرمایی

الف) بیش‌تر شومینه‌ها از موادی همچون: آجرهای سفالی، سیمان، گچ و سنگ ساخته شده‌اند. هیچ‌یک از این مواد ضریب رسانندگی مناسبی ندارند.

ب) چهار سطح شومینه، در امر رسانش تقریباً هیچ نقشی ندارند، زیرا بین دیوارها و کف زمین قرار می‌گیرند. در نتیجه، رسانش این سطوح کمکی به گرم شدن خانه‌ها نمی‌کند.

ج) ضخامت مصالح به کار رفته در ساختمان شومینه زیاد است. در نتیجه، گرما به سختی از این مصالح عبور می‌کند؛ زیرا گرمای منتقل شده، با ضخامت دیواره‌ها رابطه‌ی عکس دارد.

با توجه به این عیب‌ها، دیواره‌ی شومینه رسانای خوبی نیست. بنابراین، عمل همرفت هم دچار خدشه می‌شود. زیرا هوای داخل منزل در تماس با دیواره‌ی شومینه، انرژی گرمایی چندانی را دریافت نکرده است و اختلاف چگالی لازم برای عمل همرفت در اتاق فراهم نمی‌شود.

عیب بزرگ شومینه زمانی ظاهر می‌شود که این وسیله‌ی گرمایشی نقش تهویه‌کننده یا به عبارت دیگر، مکنده‌ی هوا را در خانه ایفا می‌کند، و این عیب بزرگ، در نهایت به سرد شدن خانه می‌انجامد. با توجه به شکل زیر، درک این موضوع چندان مشکل نیست.

عمل همرفت به دلیل اختلاف چگالی بین هوای داخل شومینه که با شعله‌های آتش در تماس مستقیم است و هوای داخل خانه، صورت می‌گیرد. به دنبال این اختلاف، چگالی هوای درون خانه به سمت شعله‌ها و فضای داخل شومینه که از چگالی پائین‌تری برخوردار است، جریان می‌یابد، ولی هوای منتقل شده، پس از دریافت انرژی گرمایی، از طریق دودکش به خارج خانه هدایت می‌شود. یعنی شومینه به دستگاهی تبدیل می‌شود که هوای سرد داخل خانه را دریافت و پس از گرم‌کردن به بیرون خانه هدایت می‌کند. از سوی دیگر، کاهش فشار هوای درون خانه، باعث جریان هوای سرد از بیرون به درون خانه از طریق درز پنجره‌ها و درها، کانال کولر و هواکش می‌شود.

از مطالب بیان شده به این نتیجه می‌رسیم که شومینه تنها قادر است، فضای محدودی از اطراف خود را، آن هم از طریق رسانش و تابش گرمایی هیزم‌های سفالی روی شعله گرم کند و سایر نقاط در اثر همرفت سرد می‌شوند.

در صورت برخورد آذرخش به هواپیما چه اتفاقی می افتد؟

جی. مک گیل، تامپا، فلا
مترجم: مریم عباسیان

آزمایش در آزمایشگاه ولتاژ بالایی که در آن آذرخش شبیه سازی شده است، امکان می دهد که مهندسان امنیت هواپیما را ارزیابی کنند

ادوارد جی. رایکه، مهندس ارشد شرکت «لایتنینگ تکنولوژز» (LTI) در «پیتس فیلد» توضیح می دهد:

طبق برآوردها سالانه به طور متوسط، به هر هواپیما در ناوگان حمل و نقل بیش از یک آذرخش برخورد می کند. درواقع، اغلب هنگامی که هواپیماها از منطقهٔ ابرهای پر از بار الکتریکی می گذرند، باعث تولید آذرخش می شوند. در این موارد، جرقهٔ آذرخش از هواپیما سرچشمه می گیرد و در جهت های مخالف گسترش می یابد.

در این مورد آمار دقیقی وجود ندارد، ولی به نظر می رسد، شرکت های کوچک تر یا هواپیماهای شخصی به علت اندازهٔ کوچک ترشان و اجتناب از پرواز در هوایی که رسانای آذرخش است، کم تر دچار آن می شوند.

آخرین گزارش تأئید شده از سقوط یک هواپیما در ایالات متحده که مستقیماً به علت آذرخش رخ داد، در سال ۱۹۶۷ بود. در این حادثه آذرخش باعث انفجار فاجعه آمیز مخزن سوخت هواپیما شد. از آن پس، اطلاعات زیادی در مورد نحوهٔ تأثیر آذرخش بر هواپیماها گردآوری شد که درنتیجه، روش های حفاظتی را بهبود بخشید. امروزه، هواپیماها باید گواهی موفقیت در یک مجموعهٔ کامل از آزمون های آذرخش را برای تأئید صلاحیت طراحی هایشان، دریافت کنند.

اگرچه ممکن است مسافران و خدمهٔ هواپیما، هنگام برخورد آذرخش با هواپیما برقی را مشاهده کنند و صدای بلندی را بشنوند، اما به دلیل طراحی و ساخت دقیق و استفاده از روش های محافظتی در برابر برخورد آذرخش به هواپیما و اجزای حساس آن، هیچ اتفاقی رخ نخواهد داد. ابتدا، آذرخش به نقطه های نوک تیز مانند دماغه یا انتهای بال ها برخورد می کند. سپس هواپیما در «مدار» الکتریکی ایجادشده بین منطقه های ابری و قطب های مخالف در برق آذرخش که خود را به نقطه های دیگر بدنه وصل می کند، پرواز می کند. سپس جریان الکتریکی ناشی از آذرخش، از پوستهٔ خارجی و ساختارهای هواپیما می گذرد و از یکی از نقطه های نوک تیز بدنه، مانند دم آن، از هواپیما خارج می شود. در این شرایط، خلبانان گاهی بارقهٔ موقتی نور یا تداخل کوتاه مدتی در دستگاه های خود را مشاهده می کنند.

بدنهٔ اغلب هواپیماها در درجهٔ اول از آلومینیم ساخته شده است که الکتریسیته را بسیار خوب هدایت می کند. با اطلاع از نبود گاف در این مسیر رسانا، می توان اطمینان یافت که جریان ناشی از آذرخش در سطح خارجی هواپیما باقی می ماند. برخی از هواپیماها از مواد مرکب پیشرفته ای ساخته شده اند که بسیار کم تر از آلومینیم رساننده است. ترکیب این مواد حاوی لایه هایی از رشته ها یا پرده های رساناست که برای عبور جریان در نظر

گرفته شده‌اند.

جت‌های مسافربری جدید، دارای کیلومترها سیم، چند دوجین رایانه و دستگاه‌های دیگری هستند که همه چیز را، از موتورها گرفته تا جاسری مسافران، کنترل می‌کنند. این رایانه‌ها مانند دیگر رایانه‌ها، گاهی بر اثر موج ناگهانی توان خراب می‌شوند. پس مهندسان علاوه بر اطمینان از امنیت قسمت‌های خارجی هواپیما در برابر آذرخش، باید مطمئن شوند که هیچ موج یا جریان گذاری مخرب نمی‌تواند به تجهیزات حساس داخل هواپیما برسد. آذرخش جاری در پوستهٔ خارجی هواپیما بالقوه می‌تواند جریان‌هایی گذرا در سیم‌ها و دستگاه‌های داخل بدنه القا کند. این جریان‌های گذرا، «اثرهای غیرمستقیم آذرخش» نامیده می‌شوند. محافظت دقیق و اتصال به زمین بدنه (از لحاظ بار الکتریکی) و استفاده از وسایل فرونشانی موج در صورت لزوم، از مشکل‌های ناشی از اثرهای غیرمستقیم آذرخش در کابل‌ها و تجهیزات می‌کاهند. سازندگان باید از هر مدار یا جزء تجهیزاتی که برای پرواز ایمن و به زمین نشستن هواپیما لازم و ضروری است، طبق مقررات ادارهٔ هواپیمایی فدرال (FAA) یا مقامات مشابه در کشور سازندهٔ هواپیما، در برابر اثر آذرخش محافظت کنند.

موضوع مهم و قابل توجه دیگر، سیستم سوخت هواپیماست که در آن، حتی جرقه‌ای کوچک نیز می‌تواند فاجعه‌آمیز باشد. بنابراین، مهندسان توجه بسیاری را صرف اطمینان از این مسئله می‌کنند که آذرخش نتواند جرقه‌ای در هیچ‌یک از بخش‌های سیستم سوخت‌رسانی هواپیما به‌وجود آورد. بدنهٔ هواپیما در نواحی اطراف مخزن سوخت باید به اندازهٔ کافی ضخیم باشد تا از نفوذ آتش به داخل آن جلوگیری کند. تمامی اتصال‌های ساختاری و چفت و بست‌های بدنهٔ هواپیما باید چنان محکم باشند که مانع نفوذ جرقه به داخل آن شوند؛ چون جریان ناشی از آذرخش از بخشی به بخش دیگر جاری می‌شود. درهای ورودی، درهای مخزن سوخت و همهٔ منفذها باید طوری طراحی و آزمایش شوند که در برابر آذرخش مقاوم باشند. تمامی لوله‌ها و مسیرهایی که سوخت را به موتورها می‌رسانند و خود موتورها، باید در برابر آذرخش حفاظت شوند. البته اخیراً بیش‌تر از سوخت‌های جدیدی استفاده می‌شود که بخارهای قابل انفجار کم‌تری تولید می‌کنند.

دماغهٔ مخروطی شکل هواپیما که رادار و دیگر وسایل کنترل پرواز در آن قرار دارد، ناحیهٔ دیگری است که مهندسان حفاظت در برابر آذرخش اهمیت ویژه‌ای به آن می‌دهند. برای این‌که رادار درست کار کند، نباید داخل محفظهٔ رسانا قرار داشته باشد. برای حفاظت این بخش در سطح خارجی دماغه، از نوارهایی استفاده می‌شود که آذرخش را منحرف می‌کنند. این نوارها می‌توانند از جنس میله‌های فلزی محکم یا دگمه‌های رسانا به فاصلهٔ نزدیک از هم باشند که در نوار پلاستیکی محکم شده و با چسب به دماغه متصل شده‌اند. این نوارهای منحرف‌کننده، از بسیاری جنبه‌ها مانند برقگیر در ساختمان‌ها عمل می‌کنند.

هواپیماهای شخصی کوچک باید از پرواز در میان و یا نزدیکی توفان‌های تندری احتراز کنند. اختلال‌های شدید در نواحی توفانی به تنهایی می‌توانند، باعث وحشت خلبانان این هواپیماها شوند. برای هواپیماهای خصوصی که مسافری جابه‌جا نمی‌کنند (FAA)، مجموعه قوانینی به‌منظور حفاظت در برابر آذرخش وجود دارد و یک سطح حفاظتی بنیادی برای سیستم سوخت‌رسانی و موتورها تهیه شده است. به طور کلی، اغلب هواپیماهای کوچک که برای هدف‌های تجاری ساخته شده‌اند، بدنهٔ آلومینیمی دارند، فاقد موتور یا کنترل‌کننده‌های پروازی هستند که با رایانه کار می‌کنند و ذاتاً کم‌تر به آذرخش حساسند. به هر حال، گزارش‌های بسیار زیادی از رسیدن آسیب‌های مختصر به انتهای بال‌ها، ملخ‌ها و لامپ‌های روشن‌کنندهٔ مسیر ثبت شده‌اند.

رشد روزافزون تولید انواع هواپیماهای دست‌ساز نگرانی‌هایی را به وجود می‌آورد. چون «FAA»ها، هواپیماهایی دست‌ساز، شخصی و «آزمایشی» هستند، مقررات حفاظت در برابر آذرخش در آن‌ها رعایت نمی‌شود. بسیاری از هواپیماهای دست‌ساز از پشم شیشه یا ترکیب‌های گرانیت تقویت شده ساخته می‌شوند. چنین هواپیماهایی در مؤسسهٔ «LTI» با شبیه‌سازی جریان آذرخش مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. نتیجهٔ این آزمایش‌ها نشان می‌دهد، آذرخش می‌تواند به ترکیب‌هایی که به اندازهٔ کافی تقویت نشده‌اند، صدمه برساند. خلبانان هواپیماهایی که از مواد ترکیبی یا پشم شیشه ساخته شده‌اند، نباید در نقطه‌های نزدیک به توفان‌های همراه با آذرخش، یا هر نوع ابری پرواز کنند. چون حتی ابرهایی که توفان تندری تولید نمی‌کنند نیز ممکن است، به اندازهٔ کافی بار الکتریکی برای تولید آذرخش داشته باشند.

زیرنویس

* پاسخ در ۸ جولای ۲۰۰۲ فرستاده شده است.

منبع

برگرفته از سایت مجله‌ی Scientific American، ۲۰۰۲.

شبیه‌سازی آونگ کاتر

احمد سلیمی

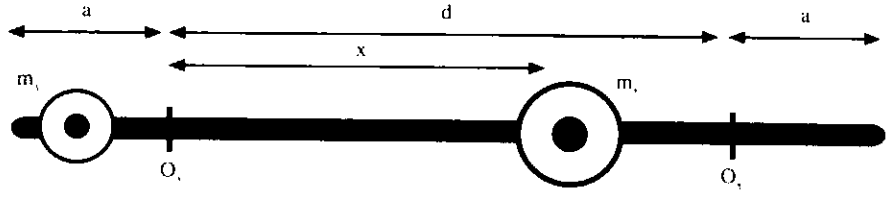
چکیده

یکی از آزمایش‌های جالب مکانیک که در اغلب آزمایشگاه‌های فیزیک پایه‌ی دانشگاه‌های گوناگون متداول است، آزمایش آونگ کاتر است. در این آزمایش، قضیه‌ی هویگنس درباره‌ی آونگ مرکب بررسی و تحقیق می‌شود. مقدار عددی که در نهایت برای کمیت شتاب جاذبه‌ی زمین (g) از اندازه‌گیری به دست می‌آید، به عنوان ملاک درستی قضیه در نظر گرفته می‌شود. در بیش‌تر مراجع در دسترس، توضیح صریح و واضحی از شکل منحنی‌های دوره‌ی تناوب و رفتار تابعی آن به‌چشم نمی‌خورد، یا شاید پیگیری آن به خواننده محول شده است. مؤلف در این بحث، با در نظر گرفتن پارامترهای متفاوت برای دستگاه آونگ کاتر، رفتار عملی آن را که روی منحنی‌های دوره‌ی تناوب مشاهده می‌شود، شبیه‌سازی می‌کند. وابستگی تابعی دوره‌ی تناوب به مکان وزنه‌ی متحرک برای دو محور نوسان (x)، به صورت تابعی به شکل عمومی $\sqrt{\frac{x^2 \pm ax + b}{\pm x + c}}$ به دست می‌آید و بعضی رفتارهای دستگاه از جمله تأثیر مکان وزنه‌ی ثابت دستگاه بر شکل منحنی‌ها را می‌توان پیش‌بینی کرد.

آونگ کاتر

در شکل ۱، نمودار کلی یک آونگ کاتر مشاهده می‌شود. مطابق شکل، این آونگ از یک میله‌ی فلزی، یک جفت تیغه‌ی O_1 و O_2 و وزنه‌ی ثابت و متحرک m_1 و m_2 تشکیل شده است.

وزنه‌ی m_1 در طول انجام آزمایش مکان ثابتی دارد و مکان آن تقریباً همانی است که در شکل نشان داده شده است. وزنه‌ی m_1 وزنه‌ی متحرک دستگاه است و با تغییر فاصله‌ی آن تا محور O_1، یعنی x، آرایش دستگاه آونگ مرکب تغییر می‌یابد. d فاصله‌ی دو محور، مقدار مشخص و ثابتی دارد.

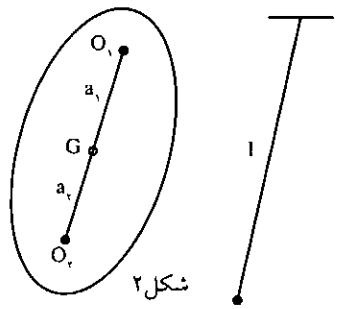


شکل ۱

قضیه ی هویگنس

قضیه ی هویگنس قضیه‌ای است درباره ی آونگ های مرکب که در بحث آونگ کاتر درستی آن بررسی می شود. بیان قضیه به این شکل است:

برای یک آونگ مرکب، حداقل دو نقطه به نام مرکزهای نوسان در دو طرف گرانیگاه آونگ می‌توان یافت؛ به‌طوری که دوره‌ی تناوب نوسان‌های ساده‌ی آونگ حول این دو نقطه با هم برابر باشند و فاصله‌ی این دو نقطه برابر با طول آونگ ساده‌ای باشد که دوره‌ی تناوب آن با دوره‌ی تناوب نوسان حول این دو نقطه برابر است (شکل۲).



شکل۲

که درستی آن را می‌توان به شکل زیر نشان داد. داریم:

$$T_{O_1} = 2\pi\sqrt{\frac{I_G + Ma_1^2}{Mga_1}}$$

و

$$T_{O_2} = 2\pi\sqrt{\frac{I_G + Ma_2^2}{Mga_2}}$$

که در آنها M جرم کل آونگ و I_G گشتاور لختی حول مرکز جرم (G) است.

چنانچه O_1 و O_2 مرکزهای نسبی نوسان باشند، در این صورت $T_{O_1} = T_{O_2}$ خواهد بود و با در نظر گرفتن رابطه‌ی شعاع ژیراسیون، یعنی $I_G = Mk^2$ داریم:

$$\frac{Mk^2 + Ma_1^2}{Mga_1} = \frac{Mk^2 + Mk_2^2}{Mga_2}$$

رابطه‌ی بالا تنها وقتی برقرار است که $k^2 = a_1a_2$ باشد و در آن صورت:

$$T_{O_1} = T_{O_2} = 2\pi\sqrt{\frac{a_1 + a_2}{g}}$$

یعنی دوره‌ی تناوب آونگ کاتر حول دو مرکز نوسان، با دوره‌ی تناوب آهنگ ساده‌ای به طول $l = a_1 + a_2$ برابر است.

در آزمایشگاه، برای تحقیق درستی قضیه‌ی هویگنس، آونگ ابتدا از یکی از دو تیغه، مثلاً تیغه‌ی O_1 آویزان می‌شود و $T_{O_1}(x)$ دوره‌ی تناوب نوسان‌های ساده‌ی آن به ازای فاصله‌های متفاوت x اندازه‌گیری می‌شود. سپس همین کار برای تیغه‌ی O_2 تکرار می‌شود و مقادیر عددی گوناگون $T_{O_2}(x)$ نیز مشخص می‌شود. مقادیر $T_{O_1}(x)$ و $T_{O_2}(x)$ در جدولی ثبت و نمودارهای آن‌ها در یک دستگاه مختصات رسم می‌شوند. دو نقطه‌ی تلاقی برای دو نمودار به‌دست می‌آید که تقریباً عرض یکسانی دارند. حال T عرض نقطه‌ی برخورد را در معادله‌ی $g = \frac{4\pi^2\overline{O_1O_2}^2}{T^2}$ قرار می‌دهیم $\left(\overline{O_1O_2} = a_1 + a_2\right)$ و مقدار g از آن به دست می‌آید. در واقع، در این روش با تغییر x، دستگاه‌های گوناگون آونگ ایجاد و بررسی می‌شوند و با رسم منحنی‌های دوره‌ی تناوب در یک دستگاه، دستگاه آونگ کاتری که O_1 و O_2 مرکزهای نوسان آن باشند، جست‌وجو می‌شود. نقطه‌ی مشترک یا محل برخورد منحنی‌ها، همان نقطه‌ی مورد نظر است که برای آن قضیه ی هویگنس برقرار است.

نقطه‌های برخورد دو منحنی از لحاظ نظری باید دقیقاً عرض یکسانی داشته باشند، زیرا تنها یک مقدار برای g متصور است. این

مطلب برای هر نوع آونگ مرکب دیگری غیر از آونگ کاتر (که ساده‌ترین نوع آن است) نیز درست به‌نظر می‌رسد. زوج منحنی‌های دوره‌ی تناوب هر آونگ مرکبی ممکن است، شامل تعداد زیادی بیشینه و کمینه (بسته به درجه‌ی پیچیدگی آونگ) و متناسب با آن‌ها، تعداد زیادی نقطه‌ی برخورد باشند. منحصر به‌فرد بودن مقدار g پیش‌بینی می‌کند که تمام نقطه‌های برخورد زوج منحنی‌ها باید عرض یکسانی داشته باشند.

شبیه‌سازی آونگ کاتر و به‌دست آوردن منحنی‌های دوره‌ی تناوب

جزئیات فرض‌های در نظر گرفته شده برای آونگ کاتر مورد بحث در شکل ۳ آمده است.

طول میله برابر $d+2a$ و جرم آن m_3 فرض شده است و قطر میله را نادیده گرفته‌ایم. همین‌طور، دو وزنه‌ی m_1 و m_2 به صورت قرص‌های کم ضخامت با شعاع‌های r_1 و r_2 در نظر گرفته شده‌اند. G مکان فرضی گرانیگاه است، b فاصله‌ی آن تا محور O_1 است که متناسب با x تغییر می‌کند. با توجه به این فرض‌ها، دوره‌های تناوب حول دو محور، به صورت زیر به دست می‌آیند. مطابق شکل ۳ داریم:

$$T_{O_1} = 2\pi\sqrt{\frac{I_{O_1}}{Mgb}}$$

$$T_{O_2} = 2\pi\sqrt{\frac{I_{O_2}}{Mg(d-b)}}$$

کمیت‌های b، I_{O_1} و I_{O_2} به فاصله‌ی وزنه‌ی m_2 تا محور O_1، یعنی x وابسته‌اند. وابستگی b به x با توجه به تعریف مرکز جرم آونگ و با در نظر گرفتن O_1 به عنوان مبدأ مختصات، به شکل زیر پیدا می‌شود:

$$Mb = -m_1 s + m_2 x + \frac{m_3 d}{2}$$

و بنابراین:

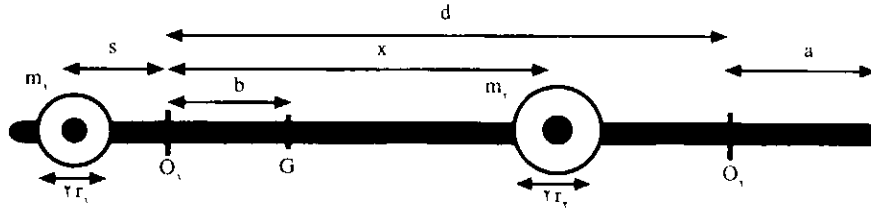
$$M(d-b) = Md + m_1 s - m_2 x - \frac{m_3 d}{2}$$

برای یافتن گشتاورهای لختی I_{O_1} و I_{O_2} لازم است گشتاورهای لختی دو قرص m_1 و m_2 و میله‌ی m_3 حول O_1 و O_2 محاسبه شوند. با استفاده از قضیه‌ی محورهای موازی و متعامد و با انتگرال‌گیری می‌توان نشان داد که I_{O_1} و I_{O_2} به ترتیب برابرند با:

$$I_{O_1} = \frac{m_3}{3(l+2a)}\left((d+a)^3 + a^3\right) + \frac{1}{2}m_1 r_1^2 + m_1 s^2 + \frac{1}{2}m_2 r_2^2 + m_2 x^2$$

$$I_{O_2} = \frac{m_3}{3(l+2a)}\left((d+a)^3 + a^3\right) + \frac{1}{2}m_1 r_1^2 + m_1 (d+s)^2 + \frac{1}{2}m_2 r_2^2 + m_2 (d-x)^2$$

در هر دو عبارت، جمله‌ی اول گشتاور لختی میله، جمله‌های دوم و سوم گشتاور لختی قرص m_1 و جمله‌های چهارم و پنجم



شکل ۳

گشتاور لختی قرص m_2 هستند. حال با قرار دادن عبارتهای به دست آمده در معادله‌های دوره، می‌توان توان $T_{O_1}(x)$ و $T_{O_2}(x)$ را به شکل زیر به دست آورد. به این ترتیب عبارت‌های زیر به دست می‌آیند:

$$T_{O_1}(x)=2\pi\sqrt{\frac{\frac{m_3}{3(l+2a)}\left((d+a)^3+a^3\right)+\frac{1}{2}m_1r_1^2+m_1s^2+\frac{1}{2}m_2r_2^2+m_2x^2}{\left(m_2x+\frac{m_3d}{2}-m_1s\right)g}}$$

و

$$T_{O_2}(x)=2\pi\sqrt{\frac{\frac{m_3}{3(l+2a)}\left((d+a)^3+a^3\right)+\frac{1}{2}m_1r_1^2+m_1(d+s)^2+\frac{1}{2}m_2r_2^2+m_2(d-x)^2}{\left(Md+m_1s-\frac{m_3d}{2}-m_2x\right)g}}$$

مقادیر عددی پارامترهای معادله‌های بالا به شکل زیرند:

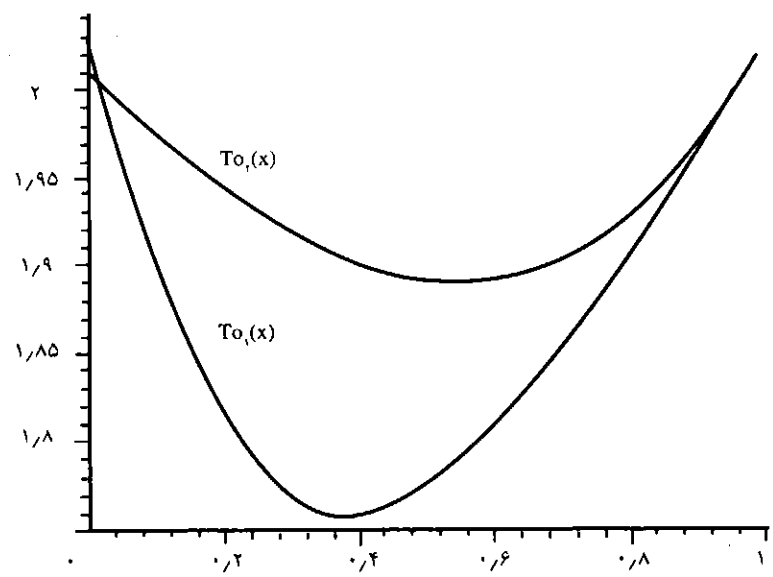
$m_1=1/0kg,\ m_2=1/4kg,\ m_3=2/0kg,\ a=0/2m,\ d=1/0m,\ s=0/17m,\ g=9/81,\ r_1=r_2=0/035m$

با قراردادن مقدارهای بالا در معادله‌ها، شکل‌های $T_{O_1}(x)$ و $T_{O_2}(x)$ به دست می‌آیند. برای انجام محاسبه‌های عددی مربوط به این قسمت و رسم زوج منحنی‌های دوره‌ی تناوب، از نرم‌افزار Maple 6 استفاده کرده‌ایم که در پیوست، مراحل انجام آن را آورده‌ایم. سرانجام شکل‌های $T_{O_1}(x)$ و $T_{O_2}(x)$ و منحنی‌های مربوطه (شکل ۴) به صورت زیر به دست آمده‌اند:

$$T_{O_1}(x)=2/006\sqrt{\frac{0/857+1/400x^2}{0/830+1/400x}}$$

$$T_{O_2}(x)=2/006\sqrt{\frac{2/197+1/400(1-x)^2}{3/570-1/400x}}$$

شکل منحنی‌های به‌دست آمده همانی است که در عمل به‌دست می‌آید و همین‌طور مشاهده می‌شود، عرض نقطه‌های برخورد دو منحنی، در حدود $T=2/005$ به‌دست می‌آید که می‌توان گفت، بر مقدارهای عملی منطبق است.



شکل ۴

پیوست: مراحل محاسبه با نرم‌افزار Maple 6

```
>
Io1:=(1/3)*(m3/(d+2*a))*((d+a)^3+a^3)+(1/2)*m1*r1^2+m1*s^
2+(1/2)*m2*r2^2+m2*x^2;
```

$$Io1 := \frac{1}{3}\frac{m3\,((d+a)^3+a^3)}{d+2\,a} + \frac{1}{2}\,m1\,r1^2 + m1\,s^2 + \frac{1}{2}\,m2\,r2^2 + m2\,x^2$$

```
>To1:=2*3.1415926535*(Io1/((-m1*s+m2*x+m3*d/2)*g))^(1/2);
```

$$To1 := 6.283185308\sqrt{\frac{\frac{1}{3}\frac{m3\,((d+a)^3+a^3)}{d+2\,a} + \frac{1}{2}\,m1\,r1^2 + m1\,s^2 + \frac{1}{2}\,m2\,r2^2 + m2\,x^2}{\left(-m1\,s + m2\,x + \frac{1}{2}\,m3\,d\right)g}}$$

```
>
Io2:=(1/3)*(m3/(d+2*a))*((d+a)^3+a^3)+(1/2)*m1*r1^2+(1/2)
*m2*r2^2+m1*(d+s)^2+m2*(d-x)^2;
```

$$Io2 := \frac{1}{3}\frac{m3\,((d+a)^3+a^3)}{d+2\,a} + \frac{1}{2}\,m1\,r1^2 + \frac{1}{2}\,m2\,r2^2 + m1\,(d+s)^2 + m2\,(d-x)^2$$

```
>To2:=2*3.1414926535*(Io2/(((m1+m2+m3)*d+m1*s-m2*x-
m3*d/2)*g))^(1/2);
```

$$To2 := 6.282985308\sqrt{\frac{\frac{1}{3}\frac{m3\,((d+a)^3+a^3)}{d+2\,a} + \frac{1}{2}\,m1\,r1^2 + \frac{1}{2}\,m2\,r2^2 + m1\,(d+s)^2 + m2\,(d-x)^2}{\left((m1+m2+m3)\,d + m1\,s - m2\,x - \frac{1}{2}\,m3\,d\right)g}}$$

```
>
To1x:=eval(To1,{m1=1,m2=1.4,m3=2,a=.2,d=1,r1=.035,r2=.035
,s=.17,g=9.81});
```

$$To1x := 2.006066681\sqrt{\frac{.8570366670 + 1.4\,x^2}{.83 + 1.4\,x}}$$

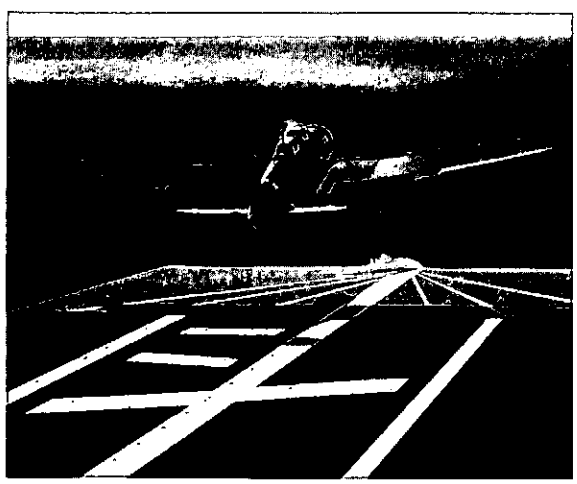
```
>
To2x:=eval(To2,{m1=1,m2=1.4,m3=2,a=.2,d=1,r1=.035,r2=.035
,s=.17,g=9.81});
```

$$To2x := 2.006002826\sqrt{\frac{2.197036667 + 1.4\,(1-x)^2}{3.57 - 1.4\,x}}$$

```
>plot([To1x,To2x],x=0..1,Period);
```

هواپیما خطای حس در لحظه‌ی خیز

هالیدی، رزنیک و واکر
مترجم: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر



در شکل، یک هواپیمای جت توسط سازوکار پرتابه‌ای واقع بر عرشه‌ی یک ناو هواپیمابر رو به جلو پرتاب شده، و به کمک موتورهای پرقدرتش خیز برداشته است. بر اثر شتاب بالایی که هواپیما به آن می‌رسد، می‌تواند پس از طی مسافت کوتاهی روی عرشه، به شتاب خیز برسد. البته همین شتاب بالا باعث خطای حسی خلبان می‌شود و او را وامی‌دارد که در لحظه‌ی ترک عرشه، نوک هواپیما را رو به پائین بگیرد. گرچه خلبان‌ها برای نادیده انگاشتن این احساس دروغین آموزش دیده‌اند، با این حال هرازگاهی یک هواپیما مستقیماً به داخل اقیانوس سقوط می‌کند. نقش فیزیک در این خطای حسی خطرناک چیست؟ در ادامه به این پرسش پاسخ می‌دهیم.

عملکرد حواس پنجگانه‌ی شما به ترتیب به راهنماهای بصری و دستگاه دهلیزی[1] واقع در گوش میانی بستگی دارد. این دستگاه شامل یاخته‌های مویین ریزی در یک شاره است. وقتی شما سرتان را بالا می‌گیرید، این یاخته‌ها به طور عمودی در امتداد نیروی گرانشی $\vec{F}_g$ وارد به شما، هم‌خط می‌شوند و دستگاه با ارسال علامتی، به مغزتان اطلاع می‌دهد که سرتان رو به بالاست. وقتی سرتان را تحت زاویه‌ی ϕ به عقب برمی‌گردانید، یاخته‌ها منحرف می‌شوند و دستگاه با ارسال علامتی، به مغزتان اطلاع می‌دهد که سرتان را برگردانده‌اید. همچنین، وقتی شما بر اثر نیروی افقی $\vec{F}_{app}$ شتابدار می‌شوید، این یاخته‌ها منحرف می‌شوند. در این حالت علامتی که از دستگاه به مغزتان ارسال می‌شود، به اشتباه، خبر از انحراف رو به عقب سرتان در امتداد خطی می‌دهد که از راستای جمع برداری $\vec{F}_{sum} = \vec{F}_g + \vec{F}_{app}$ می‌گذرد (شکل ۱ ـ الف). با این حال، این علامت اشتباه به دلیل راهنماهایی بصری که حاکی از کج نشدن سر است، مثل وقتی که در اتومبیل شتابدار می‌شوید، نادیده انگاشته می‌شود.

خلبانی که شب هنگام در امتداد عرشه‌ی یک ناو هواپیمابر پرتاب می‌شود، تقریباً از هیچ راهنمای بصری برخوردار نیست و از این رو، احتمال فریب خوردنش بر اثر این وهم که هواپیما رو به بالا عرشه را ترک می‌کند، بسیار زیاد است.

اگر خلبان آموزش‌های ویژه را ندیده باشد، می‌کوشد برای مستقیم کردن هواپیما، نوک آن را رو به پائین بگیرد و بدین ترتیب است که هواپیما به داخل اقیانوس سقوط می‌کند.

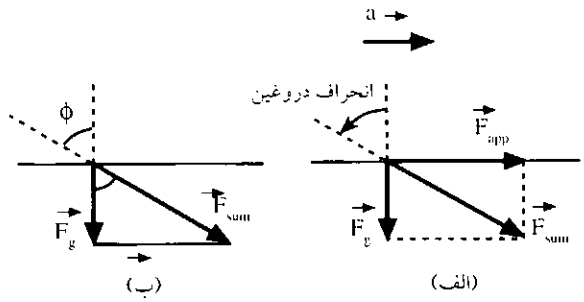
به عنوان یک مثال عددی، فرض کنید خلبانی با شروع از حالت سکون، پس از طی مسافت ۹۰ m با شتاب ثابت افقی به تندی خیز ۸۵ m/s برسد. زاویه‌ی ϕ کج شدگی دروغینی که خلبان حس می‌کند، چه‌قدر است؟

برای حل مسأله باید بتوانیم زاویه‌ی کج شدگی ϕ خطی را معلوم کنیم که از راستای بردار $\vec{F}_{sum}$ که جمع برداری نیروی گرانشی قائم $\vec{F}_g$ وارد بر خلبان و نیروی افقی $\vec{F}_{app}$ وارد از عقب صندلی به اوست، می‌گذرد. اولین ایده‌ی کلیدی این است که ϕ را از ترکیب مجدد بردارهای نیرو مطابق شکل ۱ ـ ب به دست آوریم. به این منظور می‌توانیم بنویسیم:

$$\tan\phi = \frac{F_{app}}{F_g}$$

و یا:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{F_{app}}{F_g}\right) \qquad (1)$$



شکل ۱ : الف) نیروی $\vec{F}_{app}$ که رو به سمت راست دارد، در حین خیز به خلبان وارد شده است. سر خلبان یک انحراف رو به عقب را در امتداد خط چین حس می‌کند.

ب) جمع برداری $\vec{F}_{sum} = (\vec{F}_g + \vec{F}_{app})$ تحت زاویه‌ی ϕ نسبت قائم است.

دومین ایده‌ی کلیدی این است که می‌توانیم از قانون دوم نیوتون برای ربط دادن بزرگی نیروی وارد به خلبان، یعنی F_{app}، با شتاب a_x او استفاده کنیم: $F_{app} = ma_x$ که در آن، m جرم خلبان است.

سومین ایده‌ی کلیدی این است که با توجه به ثابت بودن شتاب، از معادله‌ی $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$ استفاده کنیم که در آن: $v_0 = 0$، $v = 85\ m/s$ و $x - x_0 = 90\ m$ است، داریم:

$$(85\ m/s)^2 = 2\,a_x\,(90\ m)$$

که از آن a_x به دست می‌آید:

$$a_x = 40/1\ m/s^2$$

آن‌گاه، با استفاده از قانون دوم نیوتون، $F_{app} = m(40/1\ m/s^2)$ می‌شود. با استفاده از این نتیجه و این‌که $F_g = m(9/8\ m/s^2)$ است در معادله‌ی (۱)، خواهیم داشت:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{m(40/1)}{m(9/8)}\right) = 76^\circ$$

بنابراین، همین‌که هواپیما در امتداد عرشه شتاب گرفت، خلبان انحراف به عقب دروغینی را تحت زاویه‌ی ۷۶ حس می‌کند که به معنی سمت‌گیری رو به بالای نوک هواپیما با زاویه‌ی ۷۶ است. این احساس دروغین ممکن است خلبان را وادارد که نوک هواپیما را درست پس از خیز، به اندازه‌ی ۷۶ رو به پائین بگیرد.

زیرنویس

1. vestibular system

منبع

Fundamentals of Physics, 7th Edition (2005), Halliday, Resnick and Walker, John wilely & Sons.

مرور

نگاهی دوباره به مفهوم کار

آر. جی جوردن
مترجم: احمد توحیدی

اغلب دانش‌آموزان با رهیافت اغلب کتاب‌های درسی مقدماتی فیزیک دربارهٔ کار و انرژی مشکل دارند. مثلاً، یک مشکل آنها مربوط به این پرسش است

«برای بلند کردن کتابی به جرم m از کف اتاق تا روی میزی که در ارتفاع n از آن قرار دارد، چه مقدار کار باید انجام داد؟»

بدون شک، کار انجام شده در برابر با mgh است. امّا معمولاً برای دانش‌آموزان کنجکاو پرسش‌های زیر مطرح می‌شود:

«برای آغاز حرکت مسلماً کتاب باید شتاب داشته باشد. در این حال آیا نباید نیرویی بزرگ‌تر از mg به کار برد؟»

من می‌توانم و به آنها می گویم که این نکته صحیح است، امّا برای «کندکردن» حرکت کتاب در آخر مسیر نیز باید نیرویی کمتر از mg به کار برد. امّا برای بعضی از دانش‌آموزان این پاسخ قانع کننده نیست. تقریباً همهٔ کتاب‌های درسی این مسئله را بر حسب انرژی پتانسیلِ گرانشی حل کرده‌اند. امّا این موضوع به حل مشکل کمک چندانی نمی‌کند. زیرا معمولاً در کتاب‌ها فصل انرژی پتانسیل پس از فصل کار قرار دارد، و من در این که به دانش‌آموزان بگویم برای حل مشکلشان صبر کنند! تردید دارم. بحث‌های طولانی امّا مفید در کلاس مرا متقاعد کرد که در این مورد باید رهیافت دیگری را انتخاب کنم. به عنوان یک معلم همهٔ ما با رابطهٔ کار و انرژی آشنا هستیم، امّا بعضی از مفاهیم برای دانش‌آموزان کاملاً روشن نیست به ویژه برای آن گروه از دروسی که بدون مبنای ریاضی تدریس می‌شوند. امیدوارم پیشنهادهایی را که در این مقاله ارائه کرده‌ام برای آن گروه از معلمانی که مانند من نسبت به این مفاهیم احساس دغدغهٔ خاطرِ یکسانی دارند مفید واقع شود.

بنابراین، در این مقاله دو راه‌حل متفاوت ارائه شده است که هر معلمی می‌تواند برای تعیین مقدار کار انجام شده در بلند کردن کتاب به عنوان بخشی از مبحث کارپیش از آشنایی با انرژی پتانسیل به کار برد. راه‌حل اول بر پایهٔ حسابان (انتگرال و دیفرانسیل) و دیگری بر مبنای بدون حسابان است. امّا در هر دو مورد مستقیماً از تعریف کار استفاده شده است.

مسئله با کاربرد حسابان تقریباً به سادگی حل می‌شود. آن را در فضای یک بعدی بررسی و فرض می‌کنیم هنگام انجام کار شتاب لحظه‌ای a_y باشد. a_y تابع زمان t است. بنابراین در هر لحظه برآیند نیروهای وارد بر کتاب برابر است با:

$$F = m(g + a_y) \qquad (1)$$

مقدار کار نموی انجام شده نیز برابر است با

$$dw = F.dy = m(g + a_y)dy$$

بنابراین، کل کار انجام شده در بلند کردن کتاب به ارتفاع h برابر است با

$$W = \int_0^h m(g + a_y)dy = mgh + m\int_0^h a_y dy \qquad (2)$$

اما انتگرال طرف راست صفر است. زیرا

$$\int_0^h a_y dy = \int_0^h \frac{dv}{dt}dy = \int_{v_0}^{v_f} \frac{dy}{dt}dv = \int_{v_0}^{v_f} v dv \qquad (3)$$

v_0 سرعت اولیه و v_f سرعت نهایی کتاب هردو صفر هستند (معلمان متوجه می‌شوند که معادله‌های (۲) و (۳) از برابر قرار دادن مقدار کار با تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل به راحتی به دست می‌آیند، اما توجه کنید که در اینجا لازم نیست هیچ‌کدام از این عبارت‌ها را تعریف کنیم) بنابراین، کار انجام شده برابر است با

$$W = mgh \qquad (4)$$

رابطه (۴) مستقل از شتاب حرکت است. در کلاس‌هایی که فیزیک بدون توجه به حسابان را تدریس می‌کنم باید از رهیافت متفاوتی استفاده کنیم. به عنوان مثال، فرض کنید موردی را در نظر بگیریم که در مکان y_1 در حالی که $0 < y < y_1$ است شتاب کتاب برابر با a_1 و برای $y_1 < y < h$ شتاب کتاب برابر با a_2 باشد. در $y = y_1$ سرعت کتاب برابر با v_1 است. چون سرعت‌های اولیه و نهایی هر دو صفر هستند، داریم

$$v_1^2 = 0 + 2a_1y_1 \quad , \quad 0 = v_1^2 + 2a_2(h - y)$$

$$a_1 = \frac{v_1^2}{2y_1} \quad , \quad a_2 = -\frac{v_1^2}{2(h - y_1)}$$

بنابراین، کل کار انجام شده در بلند کردن کتاب و قرار دادن آن روی میز برابر است با

$$W = m(g + a_1)y_1 + m(y + a_2)(h - y_1) \qquad (5)$$

اگر در رابطهٔ (۵) مقادیر به دست آمده برای a_1 و a_2 را قرار دهیم خواهیم داشت

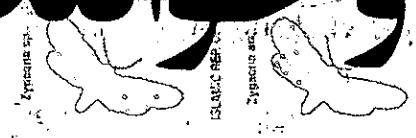
$$W = mgh$$

اگرچه این مثال ممکن است اثباتی به حساب نیاید اما دانش‌آموزان را قانع می‌کند، که کار انجام شده تنها به جرم کتاب و ارتفاع میز بستگی دارد و به‌طور کلی به چگونگی انجام کار بستگی ندارد. البته، در اینجا هر کس می‌تواند راه حل دیگر غیر از این راه‌حل‌ها پیشنهاد کند. مثلاً در موردی که شتاب وابسته به زمان است می‌توان از روش نموداری برای تعیین کار استفاده کرد. این روش شامل جمع کردن مستطیل‌های کوچک است که به آسانی می‌توان از لحاظ عددی آن را انجام داد.

مرجع

The Physics teacher, Vol. 40. December 2002

ما و خوانندگان



◆ زرند کرمان، آقای عباس دهش

لطفاً مقاله‌هایی در زمینه‌ی مباحث آموزشی فیزیک برای «مجله‌ی رشد آموزش فیزیک» بفرستید.

◆ ایلام، آقای حشمت کاکا

مقاله‌ی «انرژی هسته‌ای و...» برای نشریه‌هایی که بدون توجه به آموزش فیزیک، به ذکر اطلاعات عمومی و روزنامه‌ای می‌پردازند، مناسب‌تر است. «آزمایشی ساده درباره‌ی بازتاب کلی نور»، به صورت‌های گوناگون در کتاب‌های فیزیک فارسی با عنوان «چشمه‌ی نور» یا «فواره‌ی رنگین»، و در شماره‌ی ۵۹ «مجله‌ی رشد آموزش فیزیک» با شرح کافی چاپ و منتشر شده است.

◆ آقای مجید سیف‌اللهی

با اطلاع بسیار محدود و ابتدایی نمی‌توانیم درباره‌ی نظریه‌ی نسبیت سخن بگوییم. قرار دادن شتاب a به جای سرعت v در یک رابطه‌ی فیزیکی، خطایی آشکار است.

◆ آقای مازیار غلامی، فارغ‌التحصیل دوره‌ی کارشناسی فیزیک (گیلان)

لطفاً ترجمه‌ی مقاله‌ی "Physics Education. 35(4)" مربوط به کاربرد قانون گاوس را، با رونوشت متن اصلی برای چاپ در مجله بفرستید. محاسبه‌ی میدان الکتریکی در کتاب‌های درسی فارسی به صورت‌های گوناگون شرح داده شده است.

◆ دبیر گرامی، جناب آقای محمد زاری صحرا

با تشکر از نامه‌ی جنابعالی، به استحضار می‌رساند که نظر شما کاملاً صحیح است و البته اشتراک گستره‌های طول موج تنها به پرتوهای γ و x محدود نیست. گستره‌ی طول‌موج‌های پرتوهای x با گستره‌ی طول‌موج پرتوهای فرابنفش نیز اشتراک دارد. همچنین، گستره‌ی طول‌موج‌های میکروموج با فروسرخ اشتراک دارد. بنابراین، طیف‌های الکترومغناطیسی براساس ماهیت تولید آن‌ها تقسیم‌بندی شده‌اند.

◆ سرکار خانم شهرزاد حاتم‌پور

لطفاً در ساعت‌های اداری با دفتر مجله تماس بگیرید.

پندارهای نادرست

درباره‌ی مهبانگ

چارلز لاین مریور ـ تاماراد یویس
مترجم: سلیمان فرهادیان

اگر مفهوم انبساط عالم شما را سردر گم کرده است، باید بدانید که در این مورد تنها نیستید. حتی اخترشناسان نیز غالباً شناخت درستی از آن ندارند.

شاید مفهوم انبساط عالم مهم‌ترین واقعیتی باشد که تاکنون در مورد منشأ خود کشف کرده‌ایم. اگر عالم منبسط نمی‌شد، شما دیگر نمی‌توانستید این مقاله را بخوانید، زیرا نژاد بشر وجود نداشت. اجسام مولکولی سرد، چون شکل‌های حیات و سیاره‌های «زمین مانند» نمی‌توانستند به وجود آیند، مگر آن‌که عالم از یک مهبانگ داغ به وجود آید، و سپس منبسط و خنک شود. تشکیل تمام ساختارهای موجود در عالم، از کهکشان‌ها، ستاره‌ها و سیاره‌ها، تا مقاله‌های رشد آموزش فیزیک، همگی به انبساط بستگی دارند.

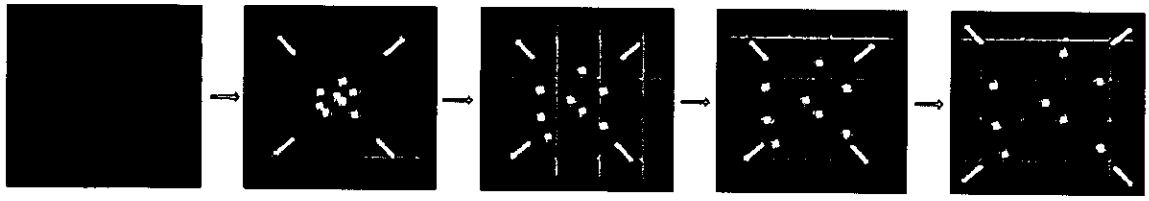
چهل سال پیش، دانشمندان از کشف شواهد قطعی برای انبساط عالم از یک حالت اولیه‌ی داغ و چگال خبر دادند. آن‌ها پس‌تاب خنکی را که از مهبانگ باقیمانده بود، یعنی تابش زمینه‌ی ریزموج کیهانی را یافته بودند. پس از این کشف، انبساط و سرد شدن عالم به مضمون وحدت‌بخش کیهان‌شناسی تبدیل شد؛ همان‌گونه که تکامل داروینی وحدت‌بخش زیست‌شناسی است.

مفهوم انبساط عالم، مانند تکامل داروین، زمینه‌ای را فراهم می‌آورد که در آن، ساختارهای ساده‌ای به وجود می‌آیند و در طول زمان گسترش می‌یابند و به ساختارهای پیچیده تبدیل می‌شوند. زیست‌شناسی و کیهان‌شناسی نوین بدون تکامل و انبساط معنی چندانی ندارند.

انبساط عالم از جنبه‌ی دیگری نیز به تکامل داروینی شباهت شگفت‌انگیزی دارد: اغلب دانشمندان فکر می‌کنند که مفهوم آن‌را درک کرده‌اند، اما عده‌ی کمی در مورد معنای واقعی آن اتفاق نظر دارند. زیست‌شناسان، یک قرن و نیم پس از چاپ کتاب **درباره‌ی منشأ انواع**، هنوز هم در مورد سازوکارها و معنی تلویحی داروینیسم (گرچه نه در مورد واقعیت داشتن آن) بحث و جدل می‌کنند، در حالی‌که افراد بسیاری هنوز هم در بی‌خبری پیش از دوره‌ی داروین به سر می‌برند. همین طور، به رغم گذشت ۷۵ سال از ابتدای کشف انبساط عالم، هنوز هم برداشت‌های نادرست بسیاری در این مورد وجود دارد. جیمز پیبلس[1] از دانشگاه پرینستون که یکی از کیهان‌شناسی برجسته و در زمره‌ی کسانی است که به تفسیر تابش زمینه‌ی ریزموج کیهانی مشغولند، در سال ۱۹۹۳ نوشت: «به نظر من گستره و

* انفجار بزرگ چگونه انفجاری بود؟

نادرست: انفجار بزرگ همانند بمبی بود که در مکانی مشخص، از فضایی که پیش از آن تهی بود، منفجر شد.
در این دیدگاه وقتی که ماده در مکان مشخص منفجر شد، جهان به وجود آمد. فشار در مرکز بیشترین مقدار و در خلاء اطراف آن کمترین مقدار را داشت، این اختلاف فشار مواد را به اطراف پراکنده ساخت.



غنای این تصویر (مدل مهبانگ داغ) هنوز آن‌طور که باید، شناخته نشده است... حتی بین کسانی که سهم بسیار مهمی در ارائه‌ی این مفهوم‌ها داشته‌اند.»

فیزیکدانان مشهور، مؤلفان کتاب‌های درسی اخترشناسی و نیز عامه فهم‌سازان بزرگ علم سخنان نادرست، گمراه‌کننده و یا برداشت‌های اشتباهی در مورد انبساط عالم داشته‌اند. چون انبساط مبنای مدل مهبانگ است، این پندارهای نادرست شکل می‌گیرند. مفهوم انبساط به صورت فریبنده‌ای ساده است، اما معنی دقیق این‌که عالم منبسط می‌شود، چیست؟ درون چه چیزی منبسط می‌شود؟ آیا زمین هم منبسط می‌شود؟ آنچه به این آشفتگی می‌افزاید آن است که شتاب می‌گیرد؛ فرایندی که در واقع پیامدهای گیج‌کننده‌ای دارد.

انبساط چیست؟

هرگاه جسم شناخته شده‌ای چون قوزک پا، امپراتوری روم یا یک بمب منبسط شود، در فضای اطراف خود بزرگ‌تر می‌شود. قوزک پا، امپراتوری‌ها و بمب‌ها مرکزها و مرزهایی دارند. ورای این مرزها جایی هست که بتوان در آن گسترش یافت.

به نظر نمی‌رسد که عالم مرکز، مرز یا ماورایی داشته باشد، پس چگونه می‌تواند منبسط شود؟ یک تشبیه خوب آن است که فرض کنید، مورچه‌ای هستید که در سطح یک بادکنک در حال باد شدن زندگی می‌کند. دنیای شما دو بعدی است؛ چپ و راست و جلو و عقب تنها جهت‌هایی هستند که می‌شناسید و هیچ ایده‌ای درباره‌ی «بالا» و «پائین» ندارید. روزی در می‌یابید، مسافتی که برای تغذیه‌ی شته‌های خود باید طی کنید، از مسافت معمول بیش‌تر شده است و بیش‌تر می‌شود. یک روز پنج دقیقه، روز بعد شش دقیقه و روز دیگر هفت دقیقه طول می‌کشد. زمان رسیدن به دیگر مکان‌های آشنا نیز بیش‌تر طول می‌کشد. مطمئن هستید که سرعت حرکت شما کم نشده است و شته‌ها نیز به طور کاتوره‌ای در هم می‌لولند و از شما دور نمی‌شوند.

نکته‌ی مهم این است: فاصله‌ی مورچه تا شته‌ها افزایش می‌یابد، اگرچه خود شته‌ها از مورچه دور نمی‌شوند. شته‌ها در جای خود ثابت ایستاده‌اند و نسبت به سطح پلاستیکی بادکنک ساکن هستند؛ با این همه فاصله‌ی مورچه تا شته‌ها و فاصله‌ی بین خود شته‌ها افزایش می‌یابد.

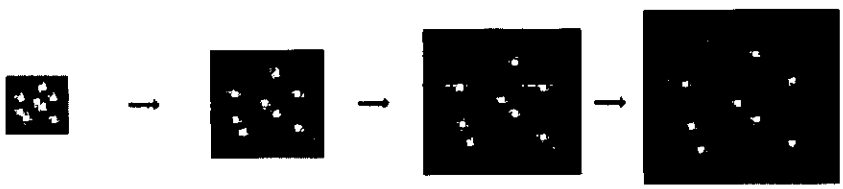
شما با توجه به این حقایق به این نتیجه می‌رسید که سطح زیرپایتان منبسط می‌شود. این نتیجه بسیار عجیب است، زیرا شما پیش از این در دنیای خود گشته‌اید و هیچ مرز یا «ماورایی» برای آن نیافته‌اید که جهان بتواند در آن گسترش یابد.

انبساط عالم ما به باد شدن بادکنک شباهت بسیار دارد. فاصله‌ی ما تا کهکشان‌های دور دست در حال افزایش است. اخترشناسان در محاوره‌ها می‌گویند، کهکشان‌های دور دست در حال «عقب‌نشینی» یا «دور شدن از ما» هستند، اما کهکشان‌ها با حرکت در فضا از ما دور نمی‌شوند. آن‌ها قطعه‌های یک بمب مهبانگ نیستند، بلکه این فضای بین کهکشان‌ها و ماست که منبسط می‌شود. تک‌تک کهکشان‌های موجود در خوشه‌ها به صورت کاتوره‌ای حرکت می‌کنند، اما خوشه‌های کهکشانی اصولاً در حال سکون هستند. عبارت «در حال سکون» را می‌توان به دقت تعریف کرد. تابش زمینه‌ی ریزموج، عالم را پر کرده است و یک چارچوب مرجع کلی را همانند سطح لاستیکی بادکنک به

* انفجار بزرگ چگونه انفجاری بود؟

درست: انفجار بزرگ در حقیقت انفجار خود فضا بود.

خود فضایی که در آن ساکنیم انبساط پیدا می‌کند. در این انفجار مرکزی وجود ندارد، انفجار در همه جا روی داد. چگالی و فشار در همه‌جا یکسان بود، بنابراین اختلاف فشاری وجود نداشت تا موجب انفجار به شیوه معمول شود.



وجود می‌آورد که می‌توان حرکت‌ها را نسبت به آن سنجید.

تشبیه بادکنک را نباید بیش از این گسترش داد. از دید ما که خارج از بادکنک هستیم، انبساط لاستیک خمیده‌ی دو بعدی فقط به این دلیل ممکن است که این سطح در فضای سه بعدی قرار دارد. در فضای سه بعدی، بادکنک دارای یک مرکز است و هنگام بادشدن، سطح آن در فضای اطراف منبسط می‌شود. شاید کسی نتیجه گیری کند که انبساط فضای سه بعدی نیازمند وجود بعد چهارم است. اما در نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین که مبنای کیهان‌شناسی نوین است، فضا پویاست و می‌تواند منبسط، منقبض یا خمیده شود، بدون آن‌که در فضای با ابعاد بالاتر قرار گرفته باشد.

از این لحاظ، عالم خود کفاست. نه به مرکزی نیاز دارد که از آن دور شود، و نه فضایی خالی در ماورای خود دارد (هرجا که باشد)، تا در آن منبسط شود. در واقع، وقتی منبسط می‌شود، اطراف را پر نمی‌کند. بعضی نظریه‌های جدیدتر، مانند نظریه‌ی ریسمان، وجود ابعاد اضافی را مسلم فرض می‌کنند، اما فضای سه بعدی ما برای گسترش به ابعاد بیش‌تر نیاز ندارند.

راه‌بندان همه جایی کیهانی

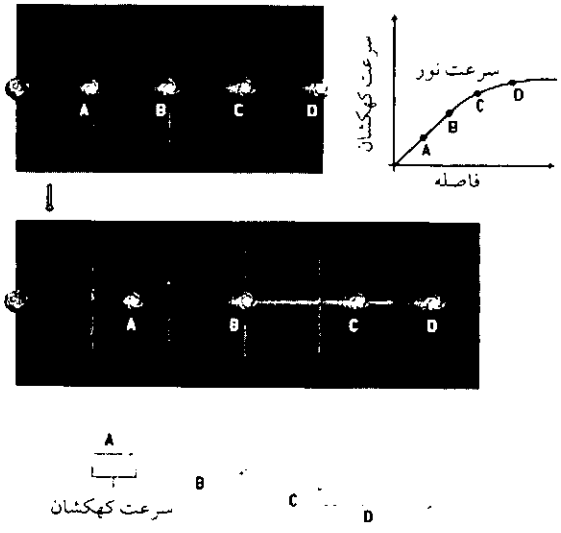
در عالم ما، مانند سطح بادکنک، هرچیز از چیزهایی دیگر دور می‌شود، بنابراین مهبانگ انفجاری در فضا نبود، بلکه بیش‌تر به انفجار خود فضا شباهت داشت. این رویداد در مکان مشخصی روی نداد که از آن‌جا به خلأ فرضی از پیش موجودی گسترش یابد، بلکه یک‌باره و در همه‌جا روی داد.

اگر در زمان عقب برویم، هر منطقه‌ی معین عالم منقبض می‌شود و تمام کهکشان‌های موجود در آن به هم نزدیک و نزدیک‌تر می‌شوند تا سرانجام در یک راه‌بندان کیهانی ـ یا همان مهبانگ ـ با هم برخورد کنند. تشبیه راه‌بندان ممکن است تراکم موضعی خودروها را به خاطر آورد که می‌توان با گوش کردن به گزارش رادیو از آن اجتناب کرد. اما مهبانگ راه‌بندانی اجتناب‌ناپذیر بود. این مورد شبیه آن بود که سطح زمین و بزرگراه‌های آن منقبض شوند، اما خودروها به همان اندازه‌ی قبلی باقی بمانند. سرانجام، خودروها در تمام جاده‌ها سپر به سپر با هم برخورد می‌کنند. در این نوع راه‌بندان‌ها، هیچ برنامه‌ی رادیویی نمی‌تواند کمکی به شما بکند. تراکم خودروها همه جایی است.

به همین ترتیب، مهبانگ در همه جا روی داده است: در اتاقی که شما این مقاله را می‌خوانید، یا در نقطه‌ای درست سمت چپ آلفای قنطوروس، یا هر جای دیگر. این، مانند انفجار بمبی نبود که در نقطه‌ی مشخص روی دهد تا بتوان آن نقطه را به عنوان مرکز انفجار شناخت. در تشبیه بادکنک هم، هیچ نقطه‌ی به‌خصوصی در سطح بادکنک به عنوان مرکز انبساط وجود ندارد. این تراکم در مهبانگ عالم هرقدر هم که بزرگ باشد، وجود دارد. متناهی یا نامتناهی بودن اندازه‌ی آن نیز اهمیت ندارد.

کیهان‌شناسان گاهی می‌گویند که عالم به اندازه‌ی یک گریپ فروت بوده است، اما منظور آنان، بخشی از عالم است که اکنون می‌بینیم. یعنی عالم قابل مشاهده برای ما به اندازه‌ی گریپ فروت بوده است. ناظرانی که در کهکشان امراةالمسلسله و ورای آن زندگی می‌کنند، عالم قابل مشاهده‌ی خود را دارند که با عالم قابل مشاهده‌ی ما تفاوت دارد؛ هرچند که با آن همپوشان

* آیا کهکشان‌ها می‌توانند با سرعتی سریع‌تر از نور دور شوند؟



نادرست: البته که نه. نظریه‌ی نسبت خاص انیشتین چنین چیزی را مجاز نمی‌داند.

بخشی از فضا را که دارای چندین کهکشان است در نظر بگیرید. کهکشان‌ها از ما دور می‌شوند و هرچه که دورتر باشند، سرعت دور شدن آن‌ها نیز بیشتر است (به پیکان توجه کنید) اگر سرعت نور حد نهایی سرعت است، سرعت کهکشان‌ها در نهایت باید به مقدار ثابتی برسد (به نمودار دقت کنید.)

می‌شود. ساکنان امراةالمسلسله می‌توانند کهکشان‌هایی را ببینند که ما نمی‌توانیم، دلیلش هم فقط این است که به آن کهکشان‌ها نزدیک‌ترند. این نکته در مورد ما هم صادق است. عالم قابل مشاهده برای آن‌ها هم به اندازه‌ی یک گریپ فروت بوده است. بنابراین می‌توان تصور کرد که جهان نخستین، مانند توده‌ای از گریپ فروت‌های همپوشان بوده است که تا بی‌نهایت در همه‌ی جهت‌ها گسترش یافته بودند. در نتیجه، این فکر که مهبانگ «کوچک» بود، گمراه کننده است. تمامیت فضا می‌تواند نامتناهی باشد، اگر فضای نامتناهی را به هر میزان منقبض کنید، آنچه باقی می‌ماند باز هم نامتناهی است.

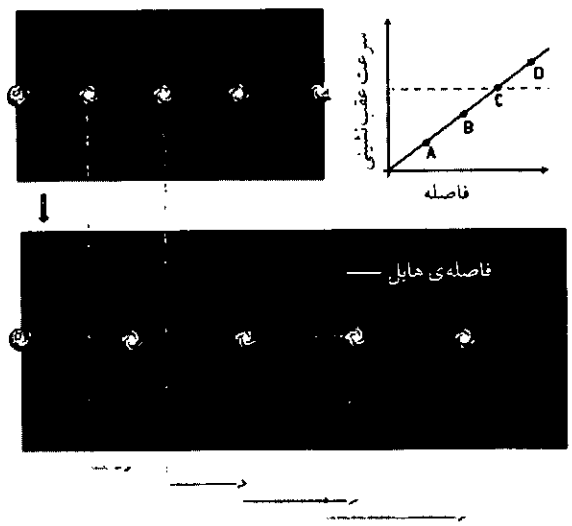
عقب‌نشینی سریع‌تر از نور

در پیدایش گروه دیگری از برداشت‌های نادرست، توصیف کمّی انبساط دخالت دارد. آهنگ افزایش فاصله‌ی بین کهکشان‌ها از طرحی کلی پیروی می‌کند که **ادوین هابل**[۲] منجم آمریکایی در سال ۱۹۲۹ آن‌را کشف کرد. سرعت عقب‌نشینی یک کهکشان نسبت به ما (V) با فاصله‌ی آن کهکشان از ما (d) یا نسبت مستقیم دارد؛ یا: $V=Hd$ ثابت تناسب H که ثابت هابل نام دارد، چگونگی انبساط فضا را ـ نه فقط فضای اطراف ما بلکه اطراف هر ناظر دیگری در عالم را ـ به طور کمّی بیان می‌کند.

بعضی‌ها از این واقعیت که بعضی کهکشان‌ها از قانون هابل پیروی نمی‌کنند، سردرگم می‌شوند. در حقیقت، امراةالمسلسله که نزدیک‌ترین همسایه‌ی کهکشانی ماست، به‌جای دور شدن، به ما نزدیک‌تر می‌شود. این استثناها از آن‌جا ناشی می‌شود که قانون هابل بیانگر رفتار میانگین کهکشان‌هاست. کهکشان‌ها می‌توانند، مثل کهکشان راه‌شیری و امراةالمسلسله، هنگامی که به دور هم می‌چرخید و به یکدیگر کشش گرانشی وارد می‌کنند، حرکت‌های موضعی مختصری داشته باشند. کهکشان‌های دور دست هم سرعت‌های موضعی دارند، اما با توجه به سرعت زیاد عقب‌نشینی (V) ناشی از مقدار زیاد d، این سرعت‌های کاتوره‌ای از دید ما پنهان می‌مانند. بنابراین قانون هابل برای این کهکشان‌ها با دقت قابل توجهی صادق است.

توجه کنید که طبق قانون هابل، عالم با یک سرعت منبسط نمی‌شود. بعضی کهکشان‌ها با سرعت هزار کیلومتر در ساعت، بعضی دیگر (آن‌هایی که فاصله‌شان دو برابر است)، با سرعت دو هزار کیلومتر در ساعت از ما دور می‌شوند و به همین ترتیب. در واقع، قانون هابل پیش‌بینی می‌کند که کهکشان‌های فراتر از یک فاصله‌ی مشخص که به فاصله‌ی هابل معروف است، سریع‌تر از نور عقب‌نشینی می‌کنند. برای مقدار اندازه‌گیری شده‌ی ثابت هابل، این فاصله حدود ۱۴ بیلیون سال نوری است.

* آیا کهکشان‌ها می‌توانند با سرعتی سریع‌تر از نور دور شوند؟



درست: مطمئناً می‌توانند. نظریه نسبیت خاص در مورد سرعت عقب‌نشینی کاربرد ندارد.

در فضای در حال انبساط، همیشه با افزایش فاصله سرعت عقب‌نشینی زیاد می‌شود. در این فاصله مشخصی که آن‌را با عنوان فاصله هابل می‌شناسیم، مقدار سرعت از سرعت نور بیش‌تر می‌شود. این امر نقض نسبیت محسوب نمی‌شود، زیرا سرعت عقب‌نشینی از حرکت در فضا ایجاد نمی‌شود، بلکه از انبساط فضا ناشی می‌شود.

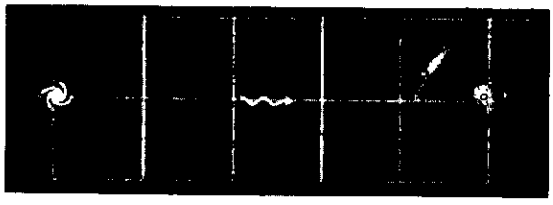
آیا پیش‌بینی وجود کهکشان‌هایی که با سرعتی بیش‌تر از سرعت نور از ما دور می‌شوند، به معنی غلط بودن قانون هابل است؟ مگر نظریه‌ی نسبیت خاص انیشتین نمی‌گوید که هیچ چیز نمی‌تواند سرعتی بیش از سرعت نور داشته باشد؟ این پرسش، نسل‌هایی از دانشجویان را سردرگم کرده است. پاسخ این است که نظریه‌ی نسبیت خاص فقط در مورد سرعت‌های «عادی» ـ یعنی حرکت در فضا ـ به کار می‌رود. سرعت در قانون هابل، سرعت عقب‌نشینی ناشی از انبساط فضاست و نه حرکت در فضا. این اثر به نسبیت عام مربوط می‌شود و با محدودیت‌های نسبیت خاص مواجه نیست. سرعت عقب‌نشینی بزرگ‌تر از سرعت نور، نسبیت خاص را نقض نمی‌کند. پس هنوز هم صحت دارد که هیچ چیز نمی‌تواند از یک باریکه‌ی نور سبقت بگیرد.

کش‌آمدن و خنک‌شدن

رصدهای اولیه که نشان دادند عالم در حال انبساط است، بین سال‌های ۱۹۱۰ و ۱۹۳۰ انجام شد. همان‌طور که اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند، اتم‌ها نور را با طول موج خاصی جذب یا گسیل می‌کنند. نور کهکشان‌های دور دست نیز دارای همین طرح‌هاست، با این تفاوت که طرح‌ها به طول موج‌های بلندتر منتقل شده‌اند. منجمان در این حالت می‌گویند که نور کهکشان‌ها «انتقال به سرخ» پیدا کرده است. توضیح سر راست این موضوع چنین است که با انبساط فضا، امواج نور کشیده‌تر می‌شوند. اگر طی سفر امواج، اندازه‌ی عالم دو برابر شود، طول موج آن‌ها، دو برابر و انرژی‌شان نصف می‌شود.

این فرایند را می‌توان برحسب دما تعریف کرد. فوتون‌هایی که از یک جسم گسیل می‌شوند، در مجموع دمای مشخصی دارند، یعنی توزیع مشخصی از انرژی، میزان گرم‌بودن آن جسم را نشان می‌دهد. هنگامی که فوتون‌ها در فضای در حال انبساط حرکت می‌کنند، انرژی از دست می‌دهند و دمایشان کاهش می‌یابد. بدین ترتیب، عالم هنگام انبساط سردتر می‌شود؛ درست مثل هوای موجود در مخزن غواصی که هنگام آزادشدن و انبساط، سرد می‌شود. برای مثال، تابش زمینه اکنون دارای دمایی حدود سه کلوین است، در حالی که فرایند آزادکننده‌ی این تابش در دمای حدود سه هزار کلوین روی داده است. از زمان گسیل این تابش‌ها، اندازه‌ی عالم هزار برابر بزرگ‌تر شده است، به همین دلیل، دمای فوتون‌ها به همین نسبت کاهش یافته است. منجمان با رصد گاز در کهکشان‌های دور دست، دمای تابش در گذشته‌های دور را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرده‌اند. این اندازه‌گیری‌ها تأئید

* آیا می‌توانیم کهکشان‌هایی را که با سرعتی سریع‌تر از نور دور می‌شوند، مشاهده کنیم؟



نادرست : البته که نه. نور این کهکشان‌ها هیچ‌گاه به ما نمی‌رسد.
کهکشانی که دورتر از فاصله هابل (کوه) باشد، سریع‌تر از نور از ما دور می‌شود. این کهکشان یک فوتون (خط شکسته زرد رنگ) گسیل می‌کند. از آن‌جایی که فضا انبساط می‌یابد، فوتون به زحمت پیش می‌رود، درست مثل کسی که می‌خواهد خلاف جهت آب شنا کند؛ فوتون هیچ‌گاه به ما نمی‌رسد.

می‌کنند که عالم با گذشت زمان خنک می‌شود.

برداشت نادرست در مورد ارتباط بین انتقال به سرخ و سرعت، بسیار است. انتقال به سرخی که بر اثر انبساط به وجود می‌آید، اغلب با انتقال به سرخ دوپلری شناخته شده‌تر، اشتباه گرفته می‌شود. اثر دوپلر معمولی باعث می‌شود که در صورت دور شدن منبع صوت، مثل هنگامی که یک آمبولانس آژیرکشان از ما دور می‌شود، طول موج امواج صوتی بلندتر شوند. همین اصل در مورد امواج نور نیز به کار می‌رود. یعنی هنگامی که چشمه‌ی نور در فضا حرکت می‌کند و از ما دور می‌شود، طول موج نور بلندتر می‌شود.

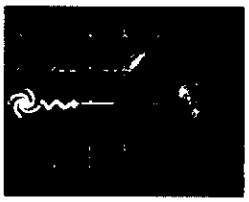
این پدیده شبه چیزی است که در مورد نور کهکشان‌های دور دست روی می‌دهد، اما با آن یکسان نیست. انتقال به سرخ کیهان‌شناختی، انتقال به سرخ دوپلری معمولی نیست. منجمان در بسیاری موارد، انتقال به سرخ کیهان‌شناختی را چنین می‌نامند و با این کار دانشجویان را به شدت سردرگم می‌کنند. انتقال به سرخ دوپلری و انتقال به سرخ کیهان‌شناختی با دو رابطه‌ی متفاوت بیان می‌شوند. اثر دوپلر ناشی از نسبیت خاص است و انبساط فضا را در نظر نمی‌گیرد، در حالی که انتقال به سرخ کیهان‌شناسی از نسبیت عام حاصل می‌شود که انبساط فضا را در نظر می‌گیرد. این فرمول‌ها برای کهکشان‌های نزدیک تقریباً یکسانند، اما برای کهکشان‌های دور دست تفاوت پیدا می‌کنند.

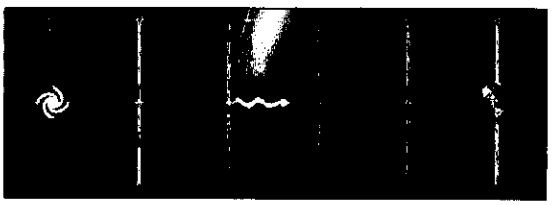
طبق رابطه‌ی دوپلر، با نزدیک شدن سرعت اجسام به سرعت نور، انتقال به سرخ آن‌ها به بی‌نهایت میل می‌کند. در این حالت، طول موجشان به قدری بزرگ می‌شود که دیگر دیده نمی‌شوند. اگر این نکته در مورد کهکشان‌ها صحیح باشد، بیش‌تر اجسام قابل مشاهده در دور دست باید با سرعت نزدیک به سرعت نور عقب‌نشینی کنند. اما فرمول انتقال به سرخ کیهان‌شناختی به نتیجه‌گیری متفاوتی می‌انجامد. در مدل استاندارد کیهان‌شناسی فعلی، کهکشان‌های با انتقال به سرخ حدود ۱/۵، یعنی کهکشان‌هایی که طول موج نورشان ۱۵۰ درصد بلندتر از مقدار مربع آزمایشگاهی است، با سرعت نور در حال عقب‌نشینی هستند. اخترشناسان حدود هزار کهکشان را رصد کرده‌اند که انتقال به سرخشان بزرگ‌تر از ۱/۵ است؛ یعنی هزار جسم را رصد کرده‌اند که با سرعت بیش از سرعت نور از ما دور می‌شوند. به همین ترتیب، ما نیز نسبت به آن کهکشان‌ها با سرعتی بیش‌تر از نور در حال عقب‌نشینی هستیم. تابش زمینه‌ی ریزموج کیهانی از این هم سریع‌تر حرکت می‌کند و انتقال به سرخ آن حدود ۱۰۰۰ است. وقتی پلاسمای داغ عالم اولیه، تابشی را گسیل کرده اکنون مشاهده می‌کنیم، با سرعتی تقریباً ۵۰ برابر سرعت نور از مکان ما دور می‌شد.

دویدن برای در جاماندن

ایده‌ی دیدن کهکشان‌هایی که با سرعت بیش‌تر از نور در حرکتند، ممکن است اسرارآمیز به نظر برسد، اما این ایده با تغییر

* آیا می توانیم کهکشان هایی را که با سرعتی سریع تر از نور دور می شوند، مشاهده کنیم؟





درست: قطعاً می توانیم، زیرا سرعت انبساط با گذشت زمان تغییر می کند.

فوتون در ابتدا نمی تواند به سمت ما حرکت کند. اما فاصله هابل ثابت نیست. بلکه در حال بزرگ شدن است و می تواند آن قدر بزرگ شود که فوتون را در برگیرد. هنگامی که این عمل روی داد، فوتون به سمت ما حرکت می کند و در نهایت به ما می رسد.

آهنگ انبساط امکانپذیر شده است. باریکه ی نوری را در نظر بگیرید که فراتر از فاصله ی ۱۴ بیلیون سال نوری هابل قرار دارد و به طرف ما در حرکت است. این باریکه نسبت به فضای موضعی خود با سرعت نور به طرف ما در حرکت است، اما فضای موضعی اش سریع تر از نور از ما دور می شود. اگرچه باریکه ی نور با بیش ترین سرعت ممکن به طرف ما حرکت می کند، اما این سرعت نمی تواند کشیدگی فضا را جبران کند. این موضوع تا حدودی شبیه پسر بچه ای است که در خلاف جهت و حرکت پیاده روی متحرک می رود. فوتون های فراتر از فاصله ی هابل شبیه به آلیس و ملکه ی سرخپوش هستند که با بیش ترین سرعت ممکن می دوند، فقط برای آن که در جای خود ساکن بمانند.

می توان نتیجه گرفت که نور فراتر از فاصله ی هابل هیچ گاه به ما نخواهد رسید و چشمه ی آن نور برای همیشه غیرقابل آشکارسازی باقی می ماند. اما فاصله ی هابل ثابت نیست، زیرا ثابت هابل که فاصله ی هابل تابع آن است، با گذشت زمان تغییر می کند. به ویژه، این ثابت متناسب است با آهنگ افزایش فاصله ی بین دو کهکشان، تقسیم بر همین فاصله. در این رابطه، از هر دو کهکشان دلخواهی می توان استفاده کرد. در مدل هایی از عالم که با داده های رصدی سازگارند، مخرج کسر سریع تر از صورت کسر افزایش می یابد، بنابراین ثابت هابل کاهش می یابد و بدین ترتیب فاصله ی هابل بزرگ تر می شود. هنگامی که فاصله ی هابل زیاد شود، نوری که در ابتدا کاملاً خارج از فاصله ی هابل قرار داشته و از ما دور می شده است، می تواند وارد فاصله ی هابل شود. از این پس، فوتون ها در منطقه ای از فضا قرار می گیرند که کندتر از سرعت نور عقب نشینی می کند و می توانند به ما نزدیک شوند؛ گرچه کهکشان هایی که این فوتون ها از آن جا گسیل می شوند، ممکن است با سرعتی بیش از سرعت نور به عقب نشینی ادامه دهند. بنابراین می توانیم نور کهکشان هایی را که همیشه سریع تر از نور عقب نشینی می کردند و از این پس نیز سریع تر از نور عقب نشینی خواهند کرد، مشاهده کنیم. به عبارت دیگر، فاصله ی هابل ثابت نیست و بیانگر لبه ی عالم قابل مشاهده نخواهد بود.

چه چیزی مرز عالم قابل مشاهده را مشخص می کند؟ در این مورد نیز سردرگمی وجود دارد. اگر فضا منبسط نمی شد، دورترین جسمی را که هم اکنون می توانستیم مشاهده کنیم، در فاصله ۱۴ بیلیون سال نوری از ما قرار داشت؛ یعنی همان فاصله ای که نور می توانست از زمان وقوع مهبانگ، یعنی ۱۴ بیلیون سال پیش، طی کند. اما چون عالم در حال انبساط است، فضایی که فوتون پشت سر گذاشته است، پس از گذشتن فوتون، همچنان به انبساط خود ادامه می دهد. در نتیجه، فاصله ی فعلی تا دورترین جسمی که می توانیم ببینیم. ۴۶ بیلیون سال نوری، یعنی تقریباً سه برابر بیش تر است.

کشف اخیر مبنی بر این که سرعت انبساط کیهانی شتاب می گیرد، موضوع را جذاب تر هم کرده است. کیهان شناسان پیش

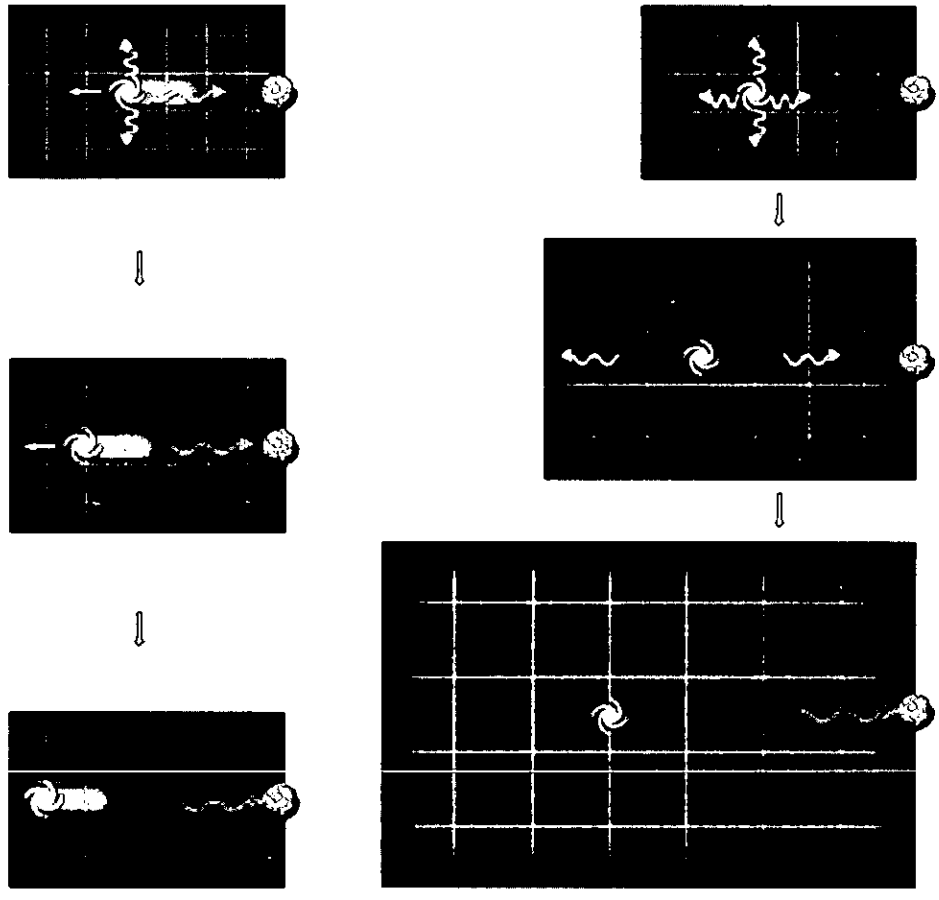
* چرا جابه‌جایی قرمز کیهانی وجود دارد؟

نادرست : زیرا کهکشان‌هایی که از یکدیگر دور می‌شوند در فضا حرکت می‌کنند و جابه‌جایی داپلر از خود نشان می‌دهند.

در اثر داپلر، دور شدن کهکشان از ناظر باعث می‌شود که موج‌های نور کشیده شوند و در نتیجه موج قرمزتر به نظر آید (شکل بالا). پس از آن طول موج نور طی سفر در فضا بدون تغییر باقی می‌ماند. (شکل وسط). ناظر نور را آشکارسازی می‌کند، جابه‌جایی قرمز آن را اندازه می‌گیرد و سرعت کهکشان را محاسبه می‌کند (شکل پائین).

درست : زیرا فضای در حال انبساط تمام موج‌های نور را هنگام حرکت کشیده‌تر می‌سازد.

کهکشان‌ها در فضا به کندی حرکت می‌کنند، در نتیجه طول موج‌هایی که گسیل می‌کنند در تمام جهت یکسان است (شکل بالا). طی حرکت طول موج بیش‌تر می‌شود زیرا فضا انبساط می‌یابد. در نتیجه نور به تدریج قرمزتر می‌شود (شکل وسط و پائین). مقدار جابه‌جایی قرمز با آن‌چه که از جابه‌جایی داپلر انتظار داریم، تفاوت دارد.



از این فکر می‌کردند که اگر در عالمی با شتاب منفی زندگی می‌کنیم تعداد هرچه بیش‌تری از کهکشان‌ها باید در معرض دید قرار گیرند. اما در عالمی که انبساط آن شتاب می‌گیرد، مرزی ما را در برگرفته است که رویدادهایی را که فراتر از این مرز رخ می‌دهد، هرگز نمی‌توانیم مشاهده کنیم. این مرز همان افق رویداد کیهانی است. اگر نور از کهکشان‌هایی که سریع‌تر از نور عقب‌نشینی می‌کنند به ما برسد، فاصله‌ی هابل باید افزایش یابد، اما در عالمی که شتاب می‌گیرد، افزایش فاصله متوقف می‌شود. رویدادهای دور دست ممکن است باریکه‌های نوری را طرف ما بفرستند که به دلیل شتاب انبساط، در فراتر از فاصله‌ی هابل به دام بیفتد.

بنابراین، عالمی که شتاب می‌گیرد از این نظر شبیه سیاهچاله است که افق رویداد دارد؛ یعنی مرزی که فراتر از آن را نمی‌توانیم

* اندازه‌ی جهان قابل رویت چقدر است؟

نادرست : عمر جهان ۱۴ میلیارد سال است، بنابراین شعاع بخش قابل رویت ۱۴ میلیارد سال نوری است.

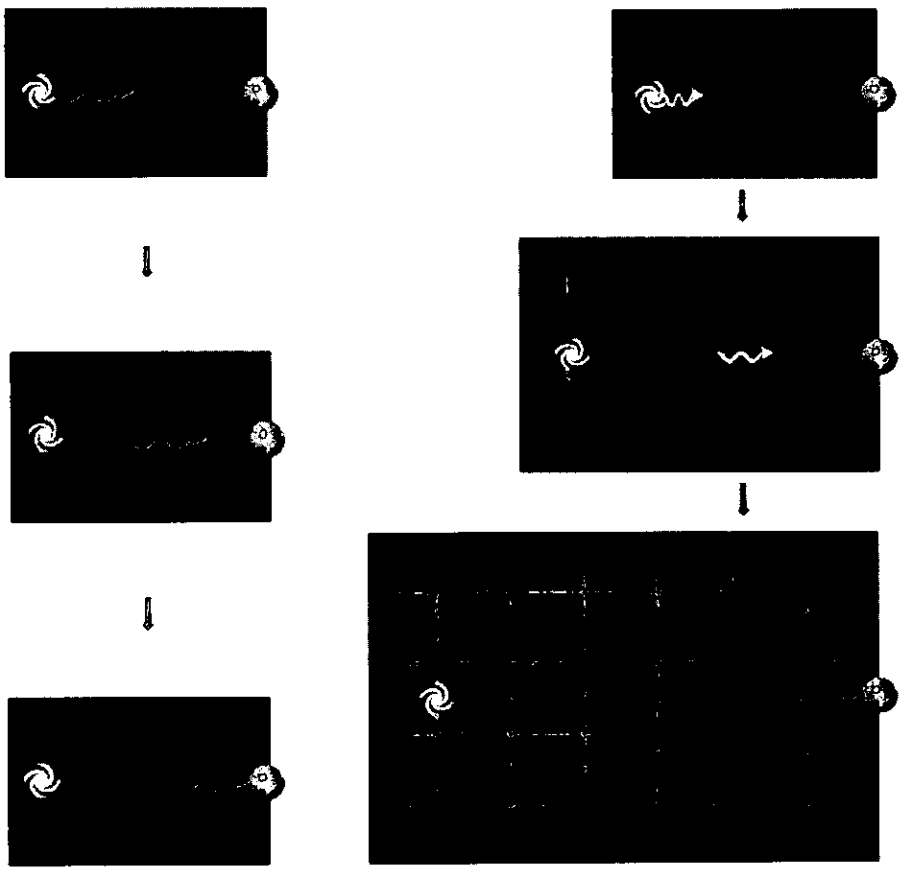
دورترین کهکشان قابل مشاهده را در نظر بگیرید. فوتونی که درست پس از انفجار بزرگ از این کهکشان گسیل شده است، هم اینک به ما می‌رسد. یک سال نوری فاصله‌ای است که فوتون در مدت یک‌سال طی می‌کند. بنابراین فوتون آن کهکشان ۱۴ میلیارد سال نوری را طی کرده است.

درست : از آن‌جایی که فضا در حال انبساط است، شعاع بخش قابل رویت جهان ما بیش از ۱۴ میلیارد سال نوری است.

همان‌طور که فوتون حرکت می‌کند، فضای حرکت آن فوتون نیز انبساط پیدا می‌کند. هنگامی که فوتون به ما می‌رسد، فاصله عملی آن کهکشان تقریباً سه برابر بزرگ‌تر از مقداری است که از محاسبه‌ی ساده مبتنی بر زمان حرکت به دست می‌آید.

۱۴ میلیارد سال نوری

۶۴ میلیارد سال نوری



۱۴ بیلیون سال نوری

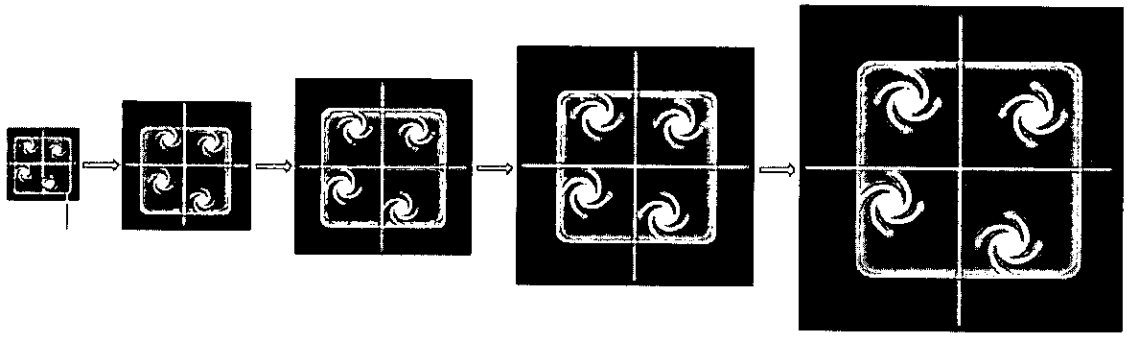
۴۶ بیلیون سال نوری

ببینیم. فاصله‌ی فعلی تا افق رویداد کیهانی ما ۱۶ بیلیون سال نوری است که در گستره‌ی قابل مشاهده‌ی ما قرار دارد. نوری که از کهکشان‌هایی گسیل می‌شود که اکنون در فراتر از افق رویداد قرار دارند، هیچ‌گاه نمی‌تواند به ما برسد؛ فاصله‌ای که هم‌اکنون برابر ۱۶ بیلیون سال است، به سرعت منبسط می‌شود. هنوز هم می‌توانیم رویدادهایی را مشاهده کنیم که در این کهکشان‌ها پیش از عبور از افق رویداد رخ داده‌اند، اما رویدادهای بعدی برای همیشه خارج از دیدگاه ما هستند.

آیا بروکلین در حال انبساط است؟

در فیلم آنی هال، شخصیتی که وودی آلن جوان نقش وی را اجرا می‌کند، به پزشک و مادرش می‌گوید که چرا نمی‌تواند

نادرست : بله . انبساط باعث می‌شود جهان و هرچه درون آن است بزرگ شود .
کهکشان‌های یک خوشه را در نظر بگیرید . از آن‌جایی که جهان بزرگ‌تر می‌شود ، کهکشان‌ها و کل خوشه بزرگ‌تر می‌شود . مرز خوشه (خط‌های زرد رنگ) به سمت بیرون حرکت می‌کنند .



تکالیفش را انجام دهد : «عالم در حال انبساط... عالم هم یعنی همه چی . اگه عالم همین جوری منبسط بشه ، آخرش یه روزی تکه تکه می شه و همه چیز تموم می شه ! »

اما مادرش بهتر می‌داند : «تو این جا ، تو بروکلین هستی ، بروکلین منبسط نمیشه ! »

مادرش حق دارد . بروکلین منبسط نمی‌شود . مردم اغلب فکر می‌کنند ، چون فضا در حال انبساط است ، همه‌چیز درون آن هم منبسط می‌شود . اما این درست نیست . انبساط به خودی خود ، یعنی انبساطی آزاد که شتاب نگیرد و کند نشود ، نیرویی تولید نمی‌کند . طول موج فوتون‌ها همراه با انبساط عالم زیادتر می‌شود ، زیرا فوتون‌ها برخلاف اتم‌ها و شهرها ، اجسام همدوسی نیستند که تعادل بین نیروها اندازه‌ی آن‌ها را تعیین کند . آهنگ متغیر انبساط نیروی جدیدی را به این آمیزه می‌افزاید ، اما حتی این نیروی جدید هم باعث انبساط یا انقباض اجسام نمی‌شود .

برای مثال ، اگر گرانش شدیدتر بود ، نخاع شما فشرده می‌شد تا جایی که الکترون‌های موجود در مهره‌های شما به تعادل جدیدی می‌رسیدند که در آن ، کمی نزدیک‌تر به هم قرار می‌گرفتند . شما فرد کوتاه قدتری می‌شدید ، اما این کوتاه شدن بیش از این ادامه پیدا نمی‌کرد . به همین ترتیب ، اگر در عالمی زندگی می‌کردیم که نیروی جاذبه‌ی گرانشی ، نیروی غالب بود ، همان‌گونه که کیهان‌شناسان تا چند سال پیش تصور می‌کردند ، شتاب انبساط منفی می‌شد و انقباض خفیفی را که بر اجسام موجود در آن اعمال می‌کرد باعث می‌شد که به اندازه‌ی تعادلی کوچک‌تری برسند . اگر چنین می‌شد ، انقباض دیگر ادامه پیدا نمی‌کرد .

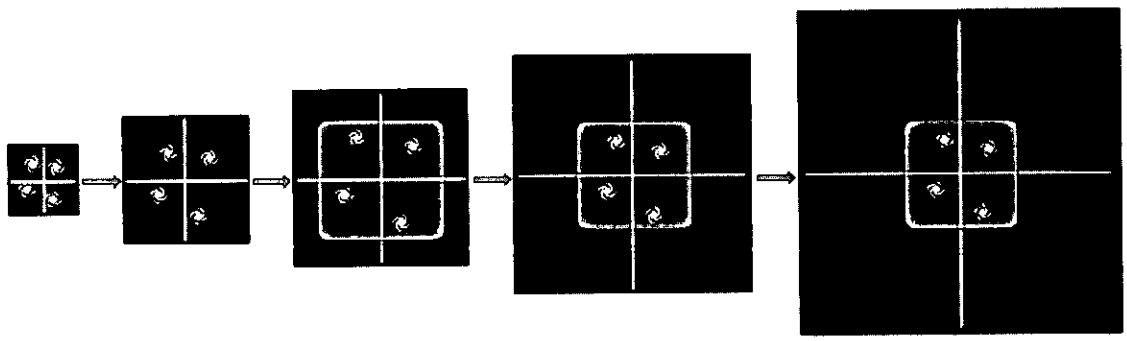
انبساط در عالم ما شتاب می‌گیرد و این فرایند ، نیروی خفیف رو به بیرونی را بر اجسام وارد می‌کند . در نتیجه ، اجسام مقید اندکی بزرگ‌تر از آن چیزی هستند که در عالم بدون شتاب ممکن بود ؛ زیرا نیروها در اندازه‌ی بزرگ‌تری به تعادل رسیده‌اند . در سطح زمین ، شتاب رو به بیرون از مرکز زمین ، کسر کوچکی (10^{-30}) از شتاب گرانش معمولی رو به درون است . اگر این شتاب ثابت باشد ، باعث انبساط زمین نمی‌شود . در عوض سیاره‌ی ما صرفاً در اندازه‌ی تعادلی پایدار ثابت می‌ماند که در این صورت بزرگ‌تر از مقداری است که در حالت دیگری می‌توانست به دست آورد .

به گمان بعضی کیهان‌شناسان ، اگر شتاب ثابت نباشد ، این استدلال تغییر می‌کند . اگر خود شتاب افزایش یابد ، سرانجام می‌تواند به قدری بزرگ شود که تمام ساختارها را از هم بدرد و به «انهدام بزرگ»[3] بینجامد . اما این انهدام صرفاً به

* آیا اجسام درون جهان نیز منبسط می‌شوند؟

خوشه کهکشان

درست: خیر. جهان بزرگ‌تر می‌شود، اما اجسام به هم پیوسته درون آن بزرگ نمی‌شوند. کهکشان‌های همسایه یکدیگر را می‌رانند اما در نهایت گرانش متقابل آن‌ها بر انبساط برتری می‌یابد و یک خوشه به وجود می‌آید. این خوشه به اندازه تعادلی خود می‌رسد و انبساط آن متوقف می‌شود.



دلیل انبساط یا شتاب روی نمی‌دهد، بلکه علت آن شتاب گیری شتابدار است.

مدل مهبانگ بر مبنای مشاهده‌ی انبساط زمینه‌ی ریزموج کیهانی، ترکیب شیمیایی عالم و توده‌شدن ماده تنظیم شده است. این مدل نیز ممکن است مثل تمام ایده‌های علمی، روزی کنار گذاشته شود، اما این مدل بهتر از هر مدل دیگری که تاکنون داشتیم، بر داده‌های موجود برازش می‌یابد. همان‌طور که اندازه‌گیریهای دقیق اخیر کیهان شناسان را قادر می‌سازد تا انبساط و شتاب را بهتر درک کنند، کیهان شناسان نیز می‌توانند بر مبنای این اندازه‌گیری‌ها پرسش‌های بنیادی‌تری را در مورد زمان‌های اولیه و مقیاس‌های بزرگ‌تر عالم مطرح کنند.

چه عاملی باعث انبساط شد؟ بسیاری کیهان شناسان آن را به فرایندی نسبت می‌دهند که به تورم معروف است. تورم نوعی انبساط شتابدار است. اما این فقط می‌تواند بخشی از پاسخ اصلی باشد، زیرا به نظر می‌رسد که عالم پیش از آغاز تورم نیز منبسط می‌شده است. در مورد بزرگ‌ترین مقیاس‌ها، فراتر از آنچه که می‌توانیم ببینیم، چه می‌توان گفت؟ آیا قسمت‌های متفاوت عالم به مقدارهای متفاوتی منبسط می‌شوند، به گونه‌ای که عالم ما فقط یک حباب تورمی در عالمی چندگانه است هیچ‌کس نمی‌داند. هرچند که پرسش‌های بسیاری بدون پاسخ باقی مانده‌اند، رصدهایی که هر روز بر دقتشان افزوده می‌شود، بیانگر آن است که عالم برای همیشه به انبساط خود ادامه می‌دهد. با این همه امیدواریم که سردرگمی در مورد انبساط کاهش یابد.

زیرنویس

1. James Peebless
2. Edwin Hubble
3. bigrip

منبع

Scientific American, March 2005.

* چارلز لاین ویور و تامارادیویس، اخترشناسان «رصدخانه‌ی مونت استروملو» واقع در نزدیکی کانبرای استرالیا هستند. آن‌ها در مورد گستره‌ی وسیعی از پرسش‌ها، از کیهان شناسی گرفته تا موضوع حیات در جهان پژوهش می‌کنند. لاین ویور، هنگامی که در ابتدای دهه‌ی ۱۹۹۰ در دانشگاه کالیفرنیای برکلی عضو گروه کاشف زمینه‌ی کیهانی بود، افت و خیزهایی را در تابش زمینه‌ی ریزموج کیهانی کشف کرد. وی نه تنها در رشته‌ی اخترفیزیک تحصیل کرده است، بلکه مطالعاتی که در مورد تاریخ و ادبیات انگلیسی دارد، بازیکن نیمه حرفه‌ای فوتبال است و پدر دوستاره‌ی جوان فوتبال به نام‌های کالین و دیردر. دیویس نیز سرگرم کار در مورد کاوشگر ابرنواختر اختر/شتاب است. این کاوشگر رصدخانه‌ای فضایی است که هم‌اکنون در مرحله‌ی طراحی قرار دارد. وی نماینده‌ی استرالیا در ورزش «Ultimate Frisbee» است و در دو دوره رقابت‌های جهانی این رشته شرکت کرده است.

رفتار هیجانی مانعی اساسی در آموزش مهارت‌ها

جهانگیر ریاضی

مقدمه

واکنش‌ها و پاسخ‌های هیجانی به عنوان یک رفتار در کل جامعه و از جمله در محیط آموزشی، یکی از موانع اساسی در مسیر آموزش اصولی مهارت‌های لازم برای زندگی بهتر در جهان کنونی است. هر قدر رفتار هیجانی جایگاه وسیع‌تری در فرهنگ و رفتار کل جامعه داشته باشد، این مانع به‌صورتی اساسی‌تر خود را نشان می‌دهد و طبعاً راه برون رفت از آن، پیچیده‌تر و طولانی‌تر خواهد بود.

ویژگی‌های رفتار هیجانی

۱. نبود ثبات و تعادل در رفتار

رفتار هیجانی، رفتاری به‌شدت متغیر و دارای حالتی زودگذر است. بنابراین، در چنین رفتاری نمی‌توان نشانه‌های ثبات و عناصر قابل اعتماد را جست‌وجو کرد. با فراهم شدن شرایط لازم، فرد از خود رفتار هیجانی نشان می‌دهد و با از بین رفتن این شرایط، هیجان فروکش می‌کند. چنین رفتاری متأثر از متغیرهای گوناگون محیط است و برحسب شرایط، قالب‌هایی متفاوت به‌خود می‌گیرد. ویژگی مشترک تمام این قالب‌ها، نبود یک هویت مشخص و قابل اعتماد در رفتار فرد است. در محیط آموزشی، نبود ثبات در رفتار، به‌صورت پیگیر نبودن فرد در یک موضوع مشخص و از این شاخه به آن شاخه رفتن، نمایان می‌شود و فرد هیچ موضوعی را تا انتها و حصول نتیجه‌ی نهایی دنبال نخواهد کرد. نتیجه‌ی چنین امری در بهترین شرایط، «کارایی کم» است و این دستیابی به «کیفیت» را عملاً غیرممکن می‌سازد. زیرا کیفیت در فرایند هدفمند، متمرکز، مستمر و پیگیر امکان تحقق می‌یابد.

۲. زودباوری، پیش‌داوری و تعمیم غیراصولی

رفتار هیجانی، زمینه‌ساز نوعی سطحی‌نگری، زودباوری و سایر رفتارهای وابسته به آن است. درک سطحی از مسائل باعث می‌شود که فرد در محیط علمی و آموزشی به‌جای برخورد صبورانه و استفاده از روش علمی در تجزیه و تحلیل یک موضوع، به‌صورتی شتابزده از مشاهداتی محدود و ناکافی، دست به تعمیم و فرضیه‌سازی و حتی پیش‌بینی بزند. چنین فرضیه‌ها یا راه‌حل‌هایی پیشنهاد شده، غالباً در مرحله‌ی عمل با شکست مواجه خواهد شد. علاوه بر این، به همراه سطحی‌نگری، نوعی زودباوری و ساده‌اندیشی نیز ناظر بر رفتارهای هیجانی است؛ به‌گونه‌ای که در بسیاری موارد، فرایند پیچیده‌ی حل را به راه‌حل‌های غیراصولی تبدیل می‌کند. در واقع، فرد خیلی ساده و سطحی، مسأله را حل شده می‌پندارد و باور می‌کند که به راه‌حل اساسی دست یافته است؛ در حالی که نگرش و شیوه‌ی بررسی مسأله اصولاً اشتباه بوده است. رفتار هیجانی برای هر پرسش، پاسخ آماده‌ای ارائه می‌کند؛ پاسخی که اساساً مبتنی بر تجزیه و تحلیل علمی نیست.

۳ . تعامل فرد و جمع در رفتار هیجانی

فرد دارای رفتار هیجانی و شتابزده، به عنوان عضوی از یک گروه که هدفشان کار علمی و آموزشی است، می‌تواند بر روند کار گروه تأثیر منفی بگذارد. وظیفه‌ی مدیر گروه، شناخت صحیح این رفتار هیجانی و کنترل آن است. جمع دارای رفتار هیجانی نیز می‌تواند بر هر یک از افراد گروه، اثر نامطلوب داشته باشد. متأسفانه در جمع هایی که به اندازه‌ی کافی با اصول کار علمی آشنا نیستند، زمینه‌ی تأثیر منفی رفتار هیجانی فرد، بیش‌تر فراهم است.

۴ . رفتار هیجانی و رضایتمندی

برای دستیابی به رضایتمندی در هر محیط، از جمله محیط علمی و آموزشی، لازم است یک سلسله مؤلفه‌ها فراهم باشند. به این منظور لازم است فرد در محیط آرام، بدون شتابزدگی، فرصت و امکانات تجربه و اندیشیدن شخصی را در مورد یک پدیده‌ی معین داشته باشد. در چنین فرایندی، فرد ضمن به دست آوردن درک عمیق‌تر از مفاهیم، لذت تجربه و اندیشیدن شخصی را احساس، و خود را باور می‌کند و سرانجام به نوعی رضایتمندی دست می‌یابد. در محیط هیجانی و تنش‌زا، در فرایندهایی شتابزده، حصول چنین رضایتمندی امکانپذیر نیست. در محیط هیجانی، حتّی اگر رضایتی حاصل شود، زودگذر و کاملاً موقتی است؛ رضایتی با طول عمر اُفت‌وخیزهای هیجانی که خیلی سریع خود را نشان می‌دهد و به سرعت از بین می‌رود. تلاش اصولی در محیط علمی و آموزشی، فراهم کردن شرایط و زمینه‌های دستیابی به رضایتمندی ماندگارتر است. به این منظور باید دانش‌پژوهان را به کار مستمر، صبورانه، امید داشتن به نتایج درازمدت در پژوهش‌ها و... تشویق کرد.

۵ . رفتار هیجانی و آموزش مهارت‌ها

هدف اساسی آموزش نوین، دستیابی به مهارت‌های لازم برای بهتر زیستن در جهان امروز است؛ مهارت‌هایی که اگر پس از یک‌دوره‌ی نسبتاً طولانی آموزش حاصل نشوند، در واقع وقت و انرژی و بخش‌هایی مفید از زندگی انسان تلف شده است. این مهارت‌ها حاصل آموزش اصولی زمینه‌های گوناگون علوم است که در فرایندی برنامه‌ریزی شده، صبورانه و مستمر امکانپذیر است. محیط هیجانی، اساساً امکان دستیابی به مهارت‌ها را از بین می‌برد و در بهترین شرایط می‌تواند، «اُفت‌وخیزهای هیجانی» را جایگزین آموزش مهارت‌های بیش‌تری کند. در واقع، کمیت را جایگزین کیفیت می‌سازد. ممکن است برای لحظاتی دانش‌پژوهان ما، در شرایطی هیجانی دچار لذت لحظه‌ای شوند، ولی به دست آوردن این رضایتمندی لحظه‌ای، به قیمت از دست دادن فرصت‌های آموزش مهارت‌هایی تمام می‌شود که ضرورت اساسی زیستن در جهان امروز محسوب می‌شوند.

۶ . جایگاه مدیریت در هدایت اُفت‌وخیزهای هیجانی در جهت آموزش اصولی

رفتارهای هیجانی، شتابزدگی و سطحی‌نگری از جمله موانعی هستند که در مقابل آموزش‌های اصولی وجود دارند. وظیفه‌ی مدیر آگاه، شناخت این رفتارها و کنترل آن‌هاست. رفتار هیجانی واقعیتی است که نباید وجود آن را انکار و نفی کرد، بلکه باید با مدیریت صحیح و صبورانه کوشید، آموزش اصولی جایگزین آن شود. در صورتی که بتوان جنبه‌های مثبتی در واکنش‌های هیجانی یافت، باید از آن‌ها در جهت تقویت انگیزه‌ی رفتارهای بهتر استفاده کرد، و در عین حال، در مقابل جنبه‌های منفی و تخریبی هیجانات ایستادگی کرد. نباید از یاد برد، در جامعه‌ای که به رفتار هیجانی و احساساتی بیش‌تر خو گرفته است، نهادینه کردن آموزه‌های اصولی، کار چندان ساده‌ای نیست و قطعاً استمرار، حوصله و پشتکار زیادی نیاز دارد. ضمن آن‌که متغیرهای متفاوتی بر شدت و ضعف رفتارهای هیجانی و شتابزدگی تأثیر می‌گذارند. وضعیت جغرافیایی، فرهنگ و نوع مناسبات بین انسان‌ها می‌تواند بر این موضوع مؤثر باشد. ضمن داشتن ایده‌های کلی، برای مواجه شدن با رفتارهای هیجانی، شناخت شرایط خاص هر منطقه از نظر فرهنگی، می‌تواند در کنترل این رفتارها مؤثر باشد.

IN THE NAME OF GOD

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

Physics Education Journal

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

Vol.21 - No.72 - 2005

ISSN : 1606 - 917X

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

Science and Religion ◆ *by editor* 2
Five papers that shook the world ◆ *by M. Chalmers* 3
Lessons for physics teachers based on Einstein's wisdom ◆ *by Keith S. Taber* 7
Molecules, atoms and internal structure of atoms ◆ *by J.Breithupt* 9
Riemannian geometry and Einstein's general relativity ◆ *by S.Khosravian Arab* 17
Mind your language: metaphor Can be a double-edged sword ◆ *by Keith S. Taber*
What do you think? ◆ *by H.Olyaee* 28
How to build a time machine ◆ *by Poul Davis* 29
Blue skies and red sunsets ◆ 36
Chimney a device for cooling or heating? ◆ *by M.BakeMohamadi* 38
What happen when lightning strikes and airplane? ◆ *by J.McGill* 43
Simulation of Cutter pendulum ◆ *by A.Salimi* 47
Take off illusion ◆ *by Halliday Resnilck and Walker* 47
Work reworked ◆ *by R.G.Jordan* 49
What the readers ◆ 50
Misconceptions about the Big Bang ◆ *by C.H. Lineweaver and T.M. Davis* 52
Excited behaviour is a serious obstacle in teaching skills ◆ *by J.Riazi* 62

تصویر ستارگان در بالای تلسکوپ فروسرخ ناسا در موناکی هاوایی.

برگرفته از کتاب : Introduction to Astronomy. Ian Ridpath.1999