



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

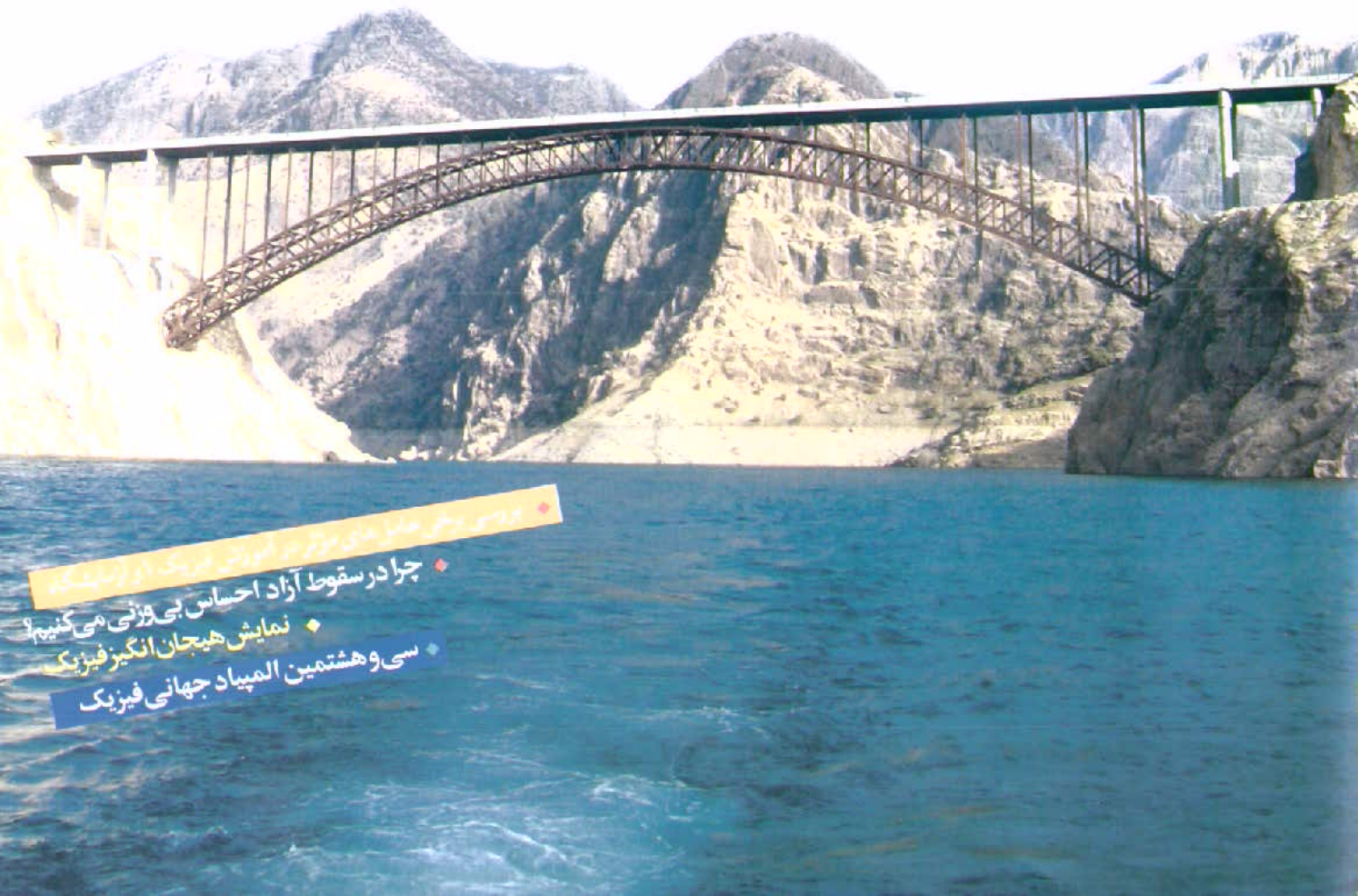
# رشد آموزش فیزیک ۸۲

آموزشی، تحلیلی، اطلاع‌رسانی

دوره‌ی بیست و سوم، شماره‌ی ۲، بهار ۱۳۸۷، بها: ۳۵۰۰۰ ریال

www.roshdmag.ir

ISSN 1606 - 917X



♦ بررسی و بحث علمی‌های مؤثر بر آموزش فیزیک در آزمایشگاه  
♦ چرا در سقوط آزاد احساس بی‌وزنی می‌کنیم؟  
♦ نمایش هیجان‌انگیز فیزیک  
♦ سی‌وهشتمین المپیاد جهانی فیزیک





بادبادک های رنگارنگ در مالزی متداولند. این بادبادک ساز از رنگ هایی استفاده می کند که نظیر طول موج های مختلف طیف الکترومغناطیسی در ناحیه ی مرئی هستند.



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

دوره ی بیستم و سوم ، شماره ی ۳، بهار ۱۳۸۷

www.roshdmag.ir

ISSN : 1606-917X

شمارگان: ۱۳۰۰۰ نسخه

چاپ: شرکت افست (سهامی عام)

تلفن امور مشترکین: ۸۸۲۹۱۸۶

تلفن دفتر مجله: ۸۸۲۹۱۱۶-۹ داخلی: ۷۷۱

نشانی دفتر مجله: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۶۵۸۵

صندوق پستی امور مشترکان: ۱۵۸۷۵-۲۳۳۱

پیام گیر نشریات رشد: ۸۸۲۹۱۲۲-۸۸۲۹۱۲۲

مدیر مسئول: ۱۰۲

دفتر مجله: ۱۱۳

امور مشترکین: ۱۱۴

# رشد آموزش

## فصلنامه علمی

آموزشی، تحلیلی، اطلاع رسانی



مدیر مسئول: علیرضا حاجیان زاده

سردبیر: دکتر منیژه رهبر

مدیر داخلی: احمد احمدی

ویراستار: منیژه رهبر

طراح گرافیک: پروانه هادی پور رحیم آبادی

هیات تحریریه: احمد احمدی، روح الله خلیلی بروجنی

منیژه رهبر، سید جعفر مهر داد

تصویر روی جلد!

پل قوسی فلزی را نشان می دهد که بر روی دریاچه ی سد کارون ۳ در مسیر اصفهان-بروجن-اهواز و به دست مهندسان ایرانی طراحی و ساخته شده است.

مجله رشد آموزش فیزیک، نوشته ها و حاصل تحقیقات پژوهشگران و متخصصان تعلیم و تربیت، پروژه آموزگاران، دبیران و مدرسان را، در صورتی که در نشریات عمومی درج نشده و مرتبط با موضوع مجله باشند، می پذیرد.  
که مطالب باید یک خط در میان و در یک روی کاغذ نوشته و در صورت امکان تایپ شود.  
که شکل قرار گرفتن جدولها، نمودارها و تصاویر ضمیمه باید در حاشیه ی مطلب نیز مشخص شود.  
که تیر مقاله باید روان و از نظر دستور زبان فارسی درست باشد و در انتخاب واژه های علمی و فنی دقت لازم مبذول گردد.  
که مقاله های ترجمه شده باید تا حد امکان از معادل های فارسی واژه ها و متن اصلی نیز ضمیمه مقاله باشد.  
که در متباهی ارسال باید تا حد امکان از معادل های فارسی واژه ها و اصطلاحات استفاده شود.  
که در نویسندگانه و منابع باید کامل و شامل نام اثر، نام نویسنده، نام مترجم، محل نشر، سال انتشار و شماره صفحه ی مورد استفاده باشد.  
مجله در رد، قبول، ویرایش و تلخیص مقاله های رسیده مختار است.  
که آرای مندرج در مقاله ها، ضرورتاً تبیین نظر دفتر انتشارات کمک آموزشی نیست و مسؤولیت پاسخگویی به پرسشهای خوانندگان، با خود نویسنده یا مترجم است.  
که مجله از بازگرداندن مطالبی که برای چاپ مناسب تشخیص داده نمی شود، معذور است.

۲	هنر آموزش واقعی	سردبیر
۳	بررسی برخی عامل های مؤثر در آموزش فیزیک و آزمایشگاه	مهشید آشنا
۷	بررسی مفهوم پتانسیل الکتریکی و انرژی پتانسیل الکتریکی	ناهید جعفری می آبادی و ...
۱۰	چرا در سقوط آزاد احساس بی وزنی می کنیم؟	پیروز مهدبی
۱۳	نمایش هیجان انگیز فیزیک	یرل واکر
۲۲	ایران در المپیادهای علمی	منصور ملک عباسی
۲۴	جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۰۷ ...	علی اصغر محبی
۲۷	مقاومت الکتریکی و روش های ساخت و ...	
۳۲	مرزهای فیزیک	
۳۶	نمایش سرعت صوت با استفاده از منحنی های لیسازو	ریچارد ای برگ و دیترا آر بریل
۳۹	زمین نوترینوها ابزاری جدید برای مطالعه و ترکیب و ...	مجید کوهستانیان و مینا خشایار
۴۵	فیزیک ابزاری مفید برای یادگیری زبان انگلیسی	جی. فیدالگو و جی. رومن گالاستگو
۴۹	آموزش تشکیل تصویر در عدسی	پل گلرک
۵۴	سی و هشتمین المپیاد جهانی فیزیک	



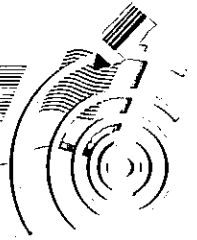
# هنر آموزش واقعی

منیژه رهبر

بازدهمین کنفرانس آموزش فیزیک ایران با شرکت دبیران علاقه‌مند از سراسر ایران و دانشجویان رشته‌ی آموزش فیزیک از سیزدهم لغایت پانزدهم آذر در شهر همدان برگزار شد. این گردهمایی‌ها که با هدف آشنایی با روش‌های نوین آموزشی و تعامل دست‌اندرکاران آموزش فیزیک برگزار می‌شود، تاکنون پیامدهای مثبتی در جهت اعتلای آموزش فیزیک در ایران داشته است. نکته‌ی مثبت و جالب توجه در مورد گردهمایی امسال این بود که تمام فعالیت‌های آن دقیقاً به آموزش فیزیک اختصاص داشت که نشان می‌دهد خوشبختانه دست‌اندرکاران این نوع فعالیت‌ها متوجه شده‌اند که هدف آموزش فیزیک یاد گرفتن فرمول‌ها، نمره آوردن در امتحانات، و موفقیت در آزمون‌های ورودی دانشگاه‌ها نیست، بلکه هنر ظریفی است که باید مورد توجه قرار گیرد و در جهت رشد و اعتلای آن اهتمام لازم به عمل آید.

در حال حاضر بسیاری از کشورهای در حال توسعه متوجه شده‌اند که مهم‌ترین عامل توسعه‌ی سریع، توجه به آموزش واقعی است. بنابراین، در تدوین برنامه‌های درسی خود بر حل مسأله، کاربرد اصول، مهارت‌های تحلیلی، و خلاقیت تأکید فراوان می‌کنند. این نوع فعالیت‌ها به شاگردان امکان می‌دهد آموخته‌های خود را به مسائلی مرتبط سازند که در زندگی روزمره با آن‌ها روبه‌رو می‌شوند. همین‌طور، اهمیت این کار ناشی از آن است که هر فرد مدت‌ها پس از آن که جزئیات یک موضوع درسی را از یاد برده است آن‌ها را حفظ می‌کند و مورد استفاده قرار می‌دهد. دست‌اندرکاران آموزشی، این مهارت‌ها را مجموعه‌ای از ویژگی‌های لازم برای تداوم یادگیری و کنار آمدن با جهانی در نظر می‌گیرند که به سرعت تغییر می‌کند. برخی از مراکز تدوین برنامه‌های درسی گمان می‌کنند که این نوع فرایندهای ذهنی، آموزش را هیجان‌انگیز و همواره تازه و سرگرم‌کننده می‌سازند.

در روش‌های نوین آموزشی، مطالب درسی را به روش کنجکاوی در سرشت علوم، ریاضیات، علوم اجتماعی، و هنرها تدریس می‌کنند. در این روش تنها به محتوای سنتی درس توجه نمی‌شود، بلکه آن‌ها را به عنوان روش تفکری در نظر می‌گیرند که اهمیت آن به هیچ وجه از محتوای مطالب کمتر نیست. در این نوع آموزش، مشاهده، تأمل درباره‌ی مشاهده‌ها، آزمایش کردن، و بهره‌گیری از داده‌های دست‌اول روزمره در فرایند یاددهی-یادگیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، شاگردان پس از طی این دوره‌های آموزشی مهارت کافی برای برخورد با دنیای جدید و بهره‌برداری بهینه از امکانات موجود در آن را به دست می‌آورند. این افراد نه تنها توانایی علمی لازم برای تعامل درست با جهان اطراف را به دست می‌آورند، بلکه در برخورد صحیح با سایر مردم و همکاری با آن‌ها می‌توانند زندگی را برای خود و دیگران راحت، دل‌پذیر، و شوق‌انگیز سازند.



# بررسی برخی عوامل های مؤثر در آموزش فیزیک ۱ و آزمایشگاه

مهشید آشنا

دبیر فیزیک شهرستان استهبان

است. برای جبران این کاستی ها شاید بهتر باشد مسئولان نگاهی دوباره به برخی آیین نامه های نظام آموزشی داشته باشند و همان طور که به کمیت آموزش توجه دارند کیفیت آموزش را نیز توسعه دهند. زیرا دانش آموزان امروز آینده سازان فردای جامعه هستند.

بررسی نتایج امتحان پایانی

امتحان پایانی فیزیک ۱ و آزمایشگاه در خرداد ۱۳۸۶ به صورت هماهنگ کشوری برگزار شد. با بررسی نمره های دانش آموزان ۴۶ کلاس در سال اول متوسطه مشاهده کردم که میانگین کلاسی نمره پایانی خرداد در ۲۳ کلاس کمتر از ۱۰ است. و این موضوع انگیزه ای شد تا در مورد برخی دلایل افت تحصیلی دانش آموزان در درس فیزیک یک نظر خود را بنویسم.

نتایج بررسی های انجام شده به قرار زیر است:

مقدمه

امروزه نخیه پروری و پرورش استعداد های ملی جهت شرکت در المپادها و رقابت های جهانی شعار بسیاری از مدیران، و مایه مباهات است که المپاد جهانی فیزیک امسال در ایران برگزار شد؛ مسلماً دانش آموزان المپادی از سرمایه های کشورمان هستند.

اما در ایران دانش آموزان متوسط و ضعیف نیز وجود دارند و رسالت اصلی آموزش و پرورش، پرورش و شکوفایی همه ی استعداد های نهفته است. هر سال تعداد زیادی از دانش آموزان سال اول متوسطه مردود می شوند. و تعدادی از آن ها نیز جهت ادامه تحصیل مجبورند وارد مدارس بزرگسال شوند و به دلیل عدم توانایی فراگیری برخی دروس سال اول متوسطه (از جمله فیزیک) مجبورند دوره سه ساله دبیرستان را در بیشتر از سه سال بگذرانند. میزان آمار مردودی ها نشان دهنده هدر رفتن سرمایه های انسانی کشور

تعداد دانش آموزان مورد بررسی	درصد قبولی سالانه فیزیک ۱ در خرداد	میانگین نمره پایانی فیزیک ۱ در خرداد		
۵۷۴ نفر	۶۶٫۸۹ درصد	۱۰٫۱۵	مدارس عادی	دخترانه
۱۶۴ نفر	۱۰۰ درصد	۱۷٫۲۸	مدارس خاص	
۳۶۵ نفر	۴۸٫۰۵ درصد	۶٫۷۲	مدارس عادی	پسرانه
-	-	-	مدارس خاص	
۱۵ نفر	۸۶٫۶۶ درصد	۱۳٫۹۶	دخترانه	* مدارس بزرگسال
۵۶ نفر	۱۱٫۱۱ درصد	۳٫۷۲	پسرانه	شیوه نیم سالی واحدی

\* در مدارس بزرگسال امتحانات هماهنگ برگزار نمی شود.

چون همه دانش آموزان سال اول متوسطه قدرت حل مسأله ندارند؛ یکی استعداد ریاضی، دیگری استعداد هنری یا ادبی و یا کارهای عملی دارد. و دانش آموزی که به دلیل عدم توانایی و استعداد در درس فیزیک ۱ و آزمایشگاه نمره مطلوبی نمی گیرد، ممکن است در یک درس دیگر نمره خوبی بگیرد. چرا این دانش آموز باید مجبور باشد درس فیزیک ۱ و آزمایشگاه را بگیرد بدون این که در ارتقای پیش علمی او تأثیر مثبتی داشته باشد؟ دانش آموزی که در درس فیزیک ۱ نمره قبولی نگیرد می تواند با استفاده از ماده ۷۴ و تبصره ۱ و ۲ آیین نامه آموزشی در سال اول متوسطه قبول شود و این پرسش مطرح می شود که گذراندن درس فیزیک ۱ برای این گونه دانش آموزان غیر از ایجاد احساس بیزاری از فیزیک، هدر رفتن وقت، کاهش قدرت اعتماد به نفس، به هدر دادن هزینه سرانه دانش آموزی، ایجاد مانع در جهت اهداف آموزشی دبیر فیزیک و دیگر مشکلات روحی و روانی چه پيامدی داشته است؟

بررسی آمار و میانگین نمرات مدارس بزرگسال نیز نشان می دهد که این دانش آموزان در آن مدارس نیز با درس فیزیک ۱ مشکل دارند.

### پیشنهادهایی برای حل مشکل

۱- آیا بهتر نیست فیزیک ۱ از حالت درس های عمومی خارج شود و جزء دروس انتخابی یا اختیاری (البته به شرط تغییر تعریف درس های اختیاری) قرار گیرد و فقط دانش آموزانی که مایل به انتخاب رشته تجربی یا ریاضی فیزیک در سال دوم متوسطه هستند مجبور به گذراندن آن شوند؟

۲- در درس های سال اول متوسطه فیزیک ۱ و آزمایشگاه ۵/۲ واحد درسی است و به صورت سه ساعت در هفته ارائه می شود که طبق تجربه بیشتر دبیران برای تدریس فیزیک یک کفایت نمی کند. اگر فرض را بر این بگذاریم که به هیچ دلیل و مناسبتی حتی یک دقیقه از کلاس فیزیک تعطیل نشود و به دانش آموزان استراحت ندهیم (که در عمل این گونه نیست) و با توجه به این که اجرای آزمون رفتار ورودی از مهارت های ضمن تدریس است، دبیر در هر جلسه فقط ۲۰ دقیقه از وقت کلاس را صرف ارزشیابی و بررسی



با وجودی که بیش از ۷ نمره آزمون پایانی خرداد را از حیطه شناختی و در سطح دانش می توان ارزیابی کرد، نتیجه های به دست آمده چندان مطلوب نیست. عامل هایی که سبب ایجاد افت کیفی و کمی دانش آموزان در درس فیزیک ۱ می شود را می توان در موارد زیر مورد بررسی قرار داد:

۱- در ماده ۱۷ آیین نامه آموزشی مدارس متوسطه، دروس عمومی دروسی هستند که آموختن آن ها برای ارتقای پیش علمی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و سیاسی دانش آموزان دوره متوسطه ضرورت دارد. آن دسته از دروس عمومی که در تمام شاخه های متوسطه (نظری- فنی و حرفه ای) با محتوای یکسان ارائه می گردد دروس مشترک نامیده می شود. در نظام آموزشی فعلی همه ی دانش آموزانی که به سال اول متوسطه راه می یابند دروس عمومی مشترک را می گذرانند و فیزیک ۱ و آزمایشگاه یکی از آن هاست. واقعیت این است که فیزیک علمی است که مطالب آن فراتر از حیطه شناختی دانش است و توانایی فراگیری و استعداد دانش آموزان در این درس یکسان نیست. ولی متأسفانه در آیین نامه آموزشی در مورد دروس عمومی مشترک به این موضوع توجه کافی نشده است.

تعداد صفحه های کتاب	تعداد هفته تدریس	کل زمان کلاس فیزیک ۱ بر	زمان ارزشیابی فیزیک ۱	زمان اختصاص یافته به هر صفحه
فیزیک ۱ و آزمایشگاه	در یک سال	حسب دقیقه در سال (۸۶-۸۵)	بر حسب دقیقه در سال	کتاب بر حسب دقیقه در سال ۸۶-۸۶
۱۶۴	۲۷	۳۵۱۰	۷۸۰	۱۶/۶۴



تمرین‌ها و رفع اشکال درسی دانش‌آموزان کند. دبیر فیزیک برای تدریس ۲۷۳۰ دقیقه در یک سال زمان در اختیار دارد و به هر صفحه کتاب ۱۶/۶۴ دقیقه زمان اختصاص می‌یابد که برای برخی صفحه‌های کتاب فیزیک ۱ زمان مناسبی است. ولی آیا هر صفحه تمرین‌های آخر فصل را نیز می‌توان در این مدت به طور دقیق و مفهومی بررسی کرد؟ آیا در صفحاتی که آزمایش کنید، پاسخ دهید و فعالیت وجود دارد این زمان برای تدریس و بررسی فعالیت‌ها و آزمایش‌ها و تمرین‌ها مناسب است؟ آیا دبیر نباید در پایان هر فصل ارزشیابی تکوینی از دانش‌آموزان به عمل آورد؟ آیا در مورد صفحاتی که شامل مسأله و فرمول است حل یک مسأله در ۶۴/۱۶ دقیقه برای یادگیری دانش‌آموز کفایت می‌کند؟ واقعاً چگونه می‌توان مسائل انرژی الکتریکی، توان مصرفی، بهای برق مصرفی، رسم تصویرها در آینه‌ها و عدسی، مسیر نور در منشورها و... را همراه با بقیه مطالب موجود در این صفحه‌ها در زمان تعیین شده به گونه‌ای تدریس کرد که دانش‌آموز هم مفاهیم را بفهمد و هم قدرت حل مسأله را پیدا کند؟ توجه به این نکته نیز ضروری است که تکرار لازمه یادگیری است. پس لازم است که در برخی موارد دبیر مطالب کتاب را در حین تدریس تکرار کند، تا امر یادگیری محقق شود ولی به نظر می‌رسد که برنامه‌ریزان کتاب فیزیک ۱ فراموش کرده‌اند که همه دانش‌آموزان- خصوصاً در مدارس عادی از نظر توانایی یادگیری یکسان نیستند که با یک بار شنیدن مطالب را یاد بگیرند.

طبق ماده ۳۲ و تبصره ۱ ضوابط آموزشی-پرورشی مدارس شبانه‌روزی علاوه بر برنامه‌های مصوب هفتگی به ازای هر کلاس تا سقف ۶ ساعت در هر هفته متناسب با نیازهای آموزشی و پرورشی دانش‌آموزان، کلاس‌های فوق برنامه اجرا می‌شود. وجود این تبصره می‌تواند مشکل کمبود وقت در تدریس فیزیک یک را در مدارس خاص حل کند، ولی در مدارس دولتی به استناد ماده ۲ آیین‌نامه نحوه ارائه خدمات آموزشی و پرورشی فوق برنامه هزینه این خدمات باید از محل کمک‌های مردمی و وجوه حاصل از ارائه خدمات فوق برنامه تأمین شود. و در برخی مدارس بعد از تثبیت برنامه هفتگی دانش‌آموزان یا در اواسط سال مدیران به فکر کلاس‌های فوق برنامه می‌افتند که به دلیل مسائلی چون عدم توانایی پرداخت هزینه کلاس‌های فوق برنامه از طرف والدین دانش‌آموزان، عدم تنظیم برنامه کلاسی دبیر فیزیک با مدرسه یا دانش‌آموزان، این کار انجام نمی‌گیرد و فیزیک یک به صورت همان سه ساعت در هفته (یعنی ۴۵ × ۳ دقیقه) ارائه می‌شود.

۳- در ماده (۲-۴-۱۷) آیین‌نامه آموزشی به منظور جبران ضعف درسی دانش‌آموزان و کاهش افت تحصیلی، درس‌های جبرانی تعریف شده‌اند که به صورت یک واحد درسی و دو ساعت در هفته است. به کمک این ماده مدیران می‌توانند درس فیزیک ۱ جبرانی یا تکمیلی در برنامه درسی دانش‌آموزان سال اول بگذارند. ولی در بسیاری مدارس، ریاضی جبرانی، عربی یا زبان به عنوان واحدهای جبرانی ارائه می‌شود و فیزیک یک جبرانی ارائه نمی‌شود. مثلاً طی ۸ سال سابقه‌ی تدریس من تاکنون فیزیک ۱ جبرانی در هیچ یک از مدارس شهر و حومه ارائه نشده است.

البته با بررسی آماری نحوه پیشرفت دانش‌آموزان در سال اول در درس پایه استنباط می‌شود که اکثر دانش‌آموزان مدارس عادی در این درس مشکل دارند و اگر به جای ریاضی جبرانی، فیزیک ۱ جبرانی ارائه شود، مشکل فیزیک ۱ حل می‌شود ولی مشکل ریاضی ۱ به وجود می‌آید.

اکنون که در سال اول همه دروس پایه به عنوان دروس عمومی مشترک است، آیا بهتر نبود برنامه‌ریزان آموزشی لاقبل واحدهای دروس جبرانی یا تکمیلی را بیشتر از یک واحد در نظر می‌گرفتند تا مدیران بتوانند دروس جبرانی بیشتری به دانش‌آموزان سال اول ارائه دهند، و در مدارس عادی دولتی، آموزش دروس پایه (از جمله فیزیک) از رشد کیفی بهتری برخوردار شود؟

۴- فیزیک از جمله علوم تجربی است و آن را به دوروش می‌توان آموزش داد ۱- مشاهده عملی (انجام آزمایش) ۲- تفکر انتزاعی (تجزیه و تحلیل ریاضی). اگر آموزش به نحوی باشد که مفاهیم انتزاعی به مفاهیم واقعی و ساده‌تر تبدیل شوند امکان یادگیری با معنی برای دانش‌آموزان فراهم می‌آورد و توان پژوهش آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. ولی متأسفانه در حال حاضر به دلیل کمبود وسایل آزمایشگاهی مدارس، محدودیت وقت در تدریس فیزیک ۱، شلوغی کلاس‌ها و عدم کارایی متصدیان آزمایشگاه، کلاس‌های آزمایشگاه معمولاً بعد از پایان کامل یک یا دو فصل کتاب برگزار می‌شود که در یادگیری دانش‌آموزان چندان تأثیر مثبتی ندارد. همین‌طور به دلیل شلوغی برخی کلاس‌ها در آزمایشگاه فقط تعداد محدودی از دانش‌آموزان به آزمایش‌ها دقت و توجه کافی دارند و بقیه آزمایشگاه را فرصتی برای فرار از امتحان، شنیدن کلمات نامفهوم و فضای خشک کلاس می‌پندارند. البته در کلاس‌های با جمعیت بیشتر از ۳۰ نفر فیزیک ۱ و آزمایشگاه باید ۴ ساعت در هفته ارائه شود تا مشکل شلوغی کلاس‌های آزمایشگاه حل شود. ولی این مسأله در بسیاری از مدارس عادی اجرا نمی‌شود.

اگر کیفیت و کمیت امکانات آزمایشگاه مدارس تقویت شود، از شلوغی کلاس کاسته شود، و در مورد موضوعاتی از کتاب که به آزمایشگاه مربوط است کلاس فیزیک در آزمایشگاه برگزار شود، دبیر فیزیک می‌تواند در ضمن تدریس آزمایش‌ها را با مشارکت دانش‌آموزان انجام دهد، و بعد از پایان آزمایش به بحث و استدلال منطقی با دانش‌آموزان بپردازد. می‌توان در پایان کلاس‌های آزمایشگاه از دانش‌آموزان ارزشیابی به عمل آورد و یا گزارش کار خواست. بدین ترتیب فعالیت‌های آزمایشگاهی تجربه‌های یادگیری دست‌اولی را برای دانش‌آموزان به وجود می‌آورند و نگرش دانش‌آموزان را نسبت به دبیر و کلاس فیزیک مثبت می‌سازد و به فرآیند ساخت دانش نیز کمک می‌کند.

لازم به ذکر است که در گذشته ستاد تجهیزات مدارس مسئول تأمین وسایل آزمایشگاهی مدارس بودند. ولی امروزه بخشی از هزینه سرانه مدرسه باید صرف تهیه وسایل آزمایشگاهی شود که متأسفانه به دلیل عدم وجود نظارت و هماهنگی‌های لازم در بسیاری از مدارس عادی آزمایشگاه‌ها از داشتن وسایل با کیفیت مناسب محرومند و حتی یک آینه مقعر سالم در آن‌جا پیدا نمی‌شود.

نکته دیگر نحوه ارزشیابی از مطالب آزمایشگاه است. معمولاً اکثر دانش‌آموزان اگر احساس کنند از مطلبی پرسشی در امتحان مطرح نمی‌شود به آن مطلب هیچ توجه و اهمیتی نشان نمی‌دهند. در حال حاضر در امتحانات نهایی سال سوم و امتحانات هماهنگ استانی و کشوری حداکثر یک پرسش از آزمایشگاه مطرح می‌شود و در بقیه امتحانات داخلی، معمولاً پرسش‌های آزمایشگاه به فراموشی سپرده می‌شوند.

اگر مانند درس زبان انگلیسی بارم امتحان‌های فیزیک از ۲۰ نمره بیشتر شود و بخشی از پرسش‌ها فقط مختص آزمایشگاه باشد مسلماً به فعالیت‌های آزمایشگاهی در کنار تدریس توجه بیشتری خواهد شد.

۵- استفاده از روش‌های سنتی در امر تدریس، به دلیل عامل‌هایی چون کمبود وقت تدریس، عدم آشنایی دبیران با روش‌های فعال تدریس، مخالفت اولیا و مدیران مدارس با روش‌های جدید تدریس، مانع روی آوردن دبیران به روش‌های فعال تدریس می‌گردد که در میزان فراگیری دانش‌آموزان تأثیر گذار است.

۶- علاوه بر موارد گفته شده، تفکیک مدارس به عادی و خاص (نمونه، شبانه‌روزی، فرهنگیان، شاهد و...) سبب شده است که اکثر دانش‌آموزان با ضریب هوشی کمتر به مدارس عادی راه یابند. این موضوع علاوه بر این که در ایجاد علاقه و انگیزه دانش‌آموزان نسبت به درس خواندن و رقابت بین آن‌ها تأثیر گذار است سبب

می‌شود که در برخی کلاس‌های سال اول متوسطه، دانش‌آموزان اگر بخواهند به کمک یکدیگر اشکال‌های درسی فیزیک را حل کنند، دانش‌آموز مناسبی را پیدا نکنند. وقتی دانش‌آموز به تنهایی قدرت درک و فهم و فراگیری مطالب را نداشته باشد، از نظر مالی امکان استفاده از دبیر خصوصی، یا کلاس‌های فوق برنامه مدارس را نداشته باشد، دانش‌آموز مناسبی را که در فراگیری فیزیک به او کمک کند پیدا نکند، چگونه می‌تواند در یادگیری فیزیک موفق شود و با نمره مناسبی در درس فیزیک قبول شود؟

همین‌طور چون همواره به اندازه درک و فهم افراد باید با آن‌ها سخن گفت، مسلماً روش تدریس در مدارس عادی و خاص فرق می‌کند. در مدارس عادی، به دلیل محدودیت وقت در امر تدریس و متفاوت بودن قدرت یادگیری و استعداد و فرهنگ دانش‌آموزان در مناطق مختلف، در بعضی موارد دبیر مجبور است بعضی از مطالب کتاب را در حد سطحی به دانش‌آموزان آموزش دهد و از وارد شدن به مفاهیم عمیق و مسائل کاربردی اجتناب کند. از طرفی چون اکثر امتحانات پایانی سال اول و دوم متوسطه به صورت داخلی و غیرهماهنگ برگزار می‌شود، دبیران نیز مجبورند جهت جلوگیری از افزایش افت درصد قبولی کلاس، پرسش‌های امتحانی داخلی خود را در حد حیطه دانش و درک و فهم دانش‌آموزان کلاس خود مطرح کنند، و اگر در امتحانات هماهنگ کشوری یا استانی، پرسش‌های مفهومی یا کاربردی و یا غیر از پرسش‌های تکرار شده در کلاس مطرح شود، شاهد افت میانگین کلاسی نمره‌های دانش‌آموزان خواهیم بود.

### نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزان آموزشی نباید دانش‌آموزان مستعد و مدارس خاص را که امکان استفاده از کلاس‌های فوق برنامه و امکانات آزمایشگاهی مناسب دارند اساس تدوین برنامه‌ها و مصوبات آموزشی قرار دهند بلکه باید به فکر دانش‌آموزان ضعیف‌تر و مناطق محروم نیز باشند. چرا که رسالت اصلی آموزش و پرورش، رشد همه استعدادها و تربیت انسان‌های باایمان و فرهیخته است و به قول معروف، دهقانی که زمین کشاورزی را بذرپاشی می‌کند باید تمام تلاشش این باشد که همه‌ی بذرهای جوانه بزنند و گرنه بذرهایی که خود پویا و فعالند مراقبت ویژه‌ای را طلب نمی‌کنند.

مراجع:

۱. رشد آموزش فیزیک دوره‌ی ۲۱، شماره‌ی ۳، بهار ۱۳۸۵.
۲. آیین‌نامه اجرایی آموزشگاه‌های شبانه‌روزی، مؤلفان: ایرج حسن شاعلی و هاشم قاسمی ناشر: مؤسسه فرهنگی هنری و انتشاراتی میرزای شیرازی، نوبت چاپ: اول پائیز ۱۳۸۴.
۳. مجموعه مصوبات شورای عالی آموزش و پرورش، دبیرخانه شورای عالی آموزش و پرورش، انتشارات مدرسه.



# بررسی مفهوم پتانسیل الکتریکی و انرژی پتانسیل الکتریکی

## به کمک مدل هیدروستاتیکی

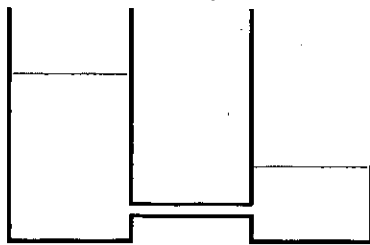
ناهد جعفری می‌آبادی<sup>۱</sup>، فاطمه احمدی<sup>۲</sup> و  
جلال بامدادی<sup>۲</sup>  
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آموزش فیزیک  
دانشگاه شهید رجایی  
۲. دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

### چکیده

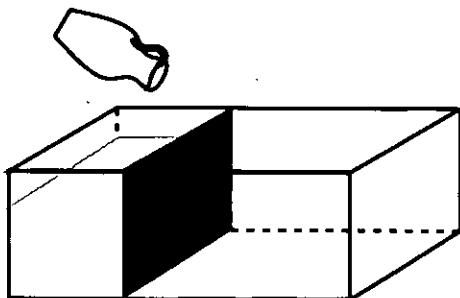
در این مقاله با استفاده از یک مدل هیدروستاتیکی ساده طرز کار ایستگاهی الکتریکی، با توجه به شباهت بین پارامترهای دو دستگاه، شرح داده می‌شود. چون مدل هیدروستاتیکی ارائه شده برای دانش‌آموزان کاملاً شناخته شده و قابل درک است به کمک این مدل می‌توان برخی مفاهیم مورد استفاده در الکتریسیته، از قبیل انرژی پتانسیل الکتریکی، پتانسیل الکتریکی، ظرفیت، بار الکتریکی و یا فرمول‌هایی که این متغیرها را به هم ربط می‌دهند را به دست آورد و به طور عمیق و صحیح آن‌ها را به دانش‌آموزان تفهیم کرد. همان‌طور که می‌دانید اختلاف فشار مایع بین دو ظرف به هم پیوسته سبب جاری شدن مایع بین دو ظرف می‌گردد (شکل ۱). یا اگر در ظرف دارای دیواره متحرک مقداری آب بریزیم و با حرکت دادن این دیواره حجم ظرف را کم یا زیاد کنیم ارتفاع آب در داخل آن زیاد و کم می‌شود (شکل ۲).

می‌خواهیم با کمک مدل‌های هیدروستاتیکی بالا و شباهت این مدل‌ها با یک دستگاه الکتریکی رابطه‌های  $U_e = \frac{1}{p} Qv$  و  $Q = CV$  را به دست آوریم.

ابتدا الکتروسکوپ خنثی و بدون باری را در نظر بگیرید. این حالت هم‌ارز ظرف خالی از آب در دستگاه هیدروستاتیکی است (شکل ۳ الف).



شکل ۱



شکل ۲

پارامترهای الکتریکی	پارامترهای مایع
بار الکتریکی Q	M جرم مایع
پتانسیل الکتریکی $v$	H ارتفاع مایع
C ظرفیت الکتریکی	V حجم ظرف

داد. مثلاً ظرفیت دستگاه را ثابت در نظر گرفت و رابطه‌ی بین بار و پتانسیل را مورد بررسی قرار داد.

بنابراین با توجه به این توضیح‌ها می‌توان شباهت‌های پارامترهای الکتریکی و هیدروستاتیکی را در جدول زیر خلاصه کرد. از شبیه‌سازی بالا می‌توان برای فهمیدن رابطه‌های بین انرژی، بار و اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز استفاده کرد.

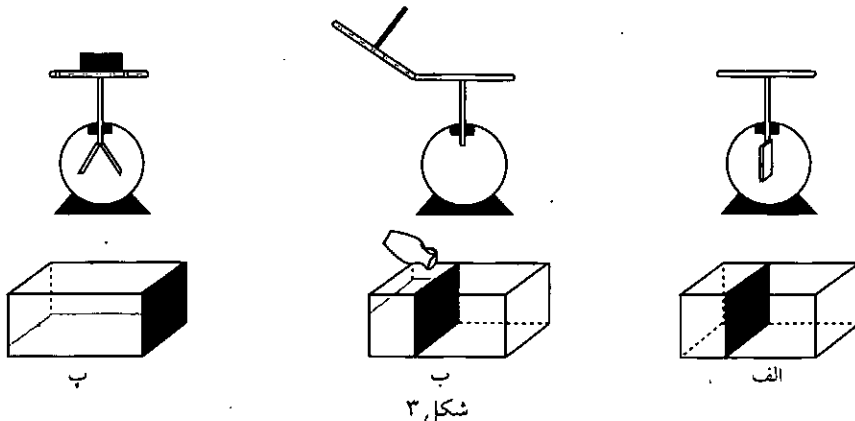
انرژی پتانسیل گرانشی مایع به جرم  $m$  در ظرف استوانه‌ای شکل که ارتفاع آن  $h$  باشد برابر با  $u_g = mgh/2$  است (مرکز جرم مایع در ارتفاع  $h/2$  قرار دارد). بنابراین مطابق این رابطه انرژی پتانسیل الکتریکی عبارت است از  $u_e = qv/2$ . این رابطه کمک می‌کند تا انرژی پتانسیل الکتریکی را به صورت کمی تعریف کنیم که مقدار آن می‌تواند با تغییر انرژی الکتریکی دستگاه از طریق انتقال بار تغییر کند. اکنون با آزمایشی نشان می‌دهیم که اختلاف پتانسیل الکتریکی باعث حرکت الکترون‌ها در یک جسم رسانا می‌شود. این اختلاف پتانسیل می‌تواند ناشی از یکسان نبودن اندازه‌ی پتانسیل‌ها باشد یا بر اثر نوع پتانسیل (پتانسیل در اطراف بار مثبت دارای مقادیر مثبت و در اطراف بار منفی دارای مقادیر منفی است).

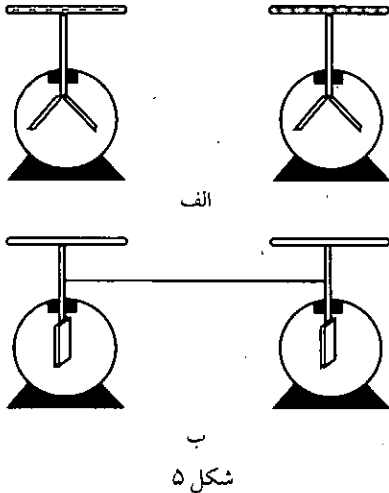
ابتدا دو الکتروسکوپ را به طور یکسان باردار می‌کنیم (شکل ۴ الف). دو الکتروسکوپ را دور از هم قرار می‌دهیم و روی کلاهک یکی از آن‌ها تکه سنگ مرمری می‌گذاریم (شکل ۴ ب). حال الکتروسکوپ‌ها را بدون این که بار آن‌ها تغییر کند دارای پتانسیل‌های الکتریکی متفاوتی هستند (زاویه بین صفحه‌های آن‌ها با هم فرق می‌کند). اگر آن‌ها را با سیمی به هم متصل کنیم می‌بینیم

حال به کمک الکتروسکوپ‌ها و وان دوگراف (دستگاه مولد الکتریسیته ساکن) به آن مقداری بار بدهید مانند وقتی که داخل ظرف آب می‌ریزید. وجود بارها در الکتروسکوپ باعث باز شدن صفحات آن از یکدیگر می‌شود، به عبارتی الکتروسکوپ دارای انرژی پتانسیل الکتریکی می‌شود و هر چقدر بار بیشتری در آن ریخته شود صفحه‌ها بیشتر از هم باز می‌شوند و پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد (هر چقدر صفحه‌های الکتروسکوپ از هم بیشتر باز شوند پتانسیل الکتریکی آن بیشتر می‌شود و کم شدن زاویه‌ی بین صفحه‌ها به این معنی است که پتانسیل الکتریکی الکتروسکوپ کمتر است) [۲]. این حالت شبیه موردی است که هر چقدر آب بیشتری داخل ظرف بریزیم ارتفاع آب بالاتر می‌رود و آب دارای انرژی پتانسیل گرانشی بیشتری می‌شود (شکل ۳ ب).

بدون تغییر مقدار بار الکتروسکوپ یک تکه سنگ مرمر روی کلاهک الکتروسکوپ قرار دهید. مشاهده می‌شود که زاویه‌ی بین صفحه‌ها کاهش می‌یابد و دو ورقه به هم نزدیک می‌شود و به عبارتی پتانسیل الکتریکی دستگاه کاهش می‌یابد. چون کل بار الکتروسکوپ تغییر نکرده است، وضعیت جدید دستگاه را می‌توان با مفهوم فیزیکی ظرفیت توصیف کرد: یعنی ظرفیت الکتروسکوپ در وضعیت جدید افزایش یافته و بارهای الکتریکی در نقطه‌های بیشتری پخش شده‌اند، در نتیجه تجمع بار در صفحه‌ها کمتر شده است. بر اثر تجمع بار الکتریکی نیروی دافعه بین بارها کاهش یافته و باعث شده که صفحه‌ها به هم نزدیک‌تر شوند [۱]. به همین ترتیب در مدل هیدروستاتیکی نیز با افزایش گنجایش ظرف، سطح آب در ظرف پایین می‌آید و می‌توان آب بیشتری داخل آن ریخت (شکل ۳ پ).

با این شبیه‌سازی می‌توان رابطه‌ای بین بار، پتانسیل و ظرفیت الکتریکی مطرح کرد:  $Q = CV$ . از مطالب بالا می‌توان دریافت که اگر بار الکتروسکوپ ثابت باشد و تغییر نکند هر چقدر ظرفیت دستگاه افزایش یابد پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد و برعکس. متغیرهای موجود در این رابطه را می‌توان به طور آزمایشی تغییر





شکل ۵

و این مسئله را می‌توانید به راحتی آزمایش کنید. اگر یکی از الکتروسکوپ‌ها دارای بار مثبت و دیگری دارای بار منفی باشد (به طوری که صفحه‌ها به یک اندازه از هم دور شده باشند) زمانی که آن‌ها به هم متصل می‌شوند صفحه‌ها می‌افتند که نشان می‌دهد (شکل ۵) نوع پتانسیل الکتریکی اولیه آن‌ها با هم فرق داشته است (اما پتانسیل‌ها از نظر اندازه یکسان بوده‌اند).

### توضیح مختصر آموزشی

در این مقاله در تدریس مفاهیم پتانسیل الکتریکی و ظرفیت الکتریکی دستگاه از شیوه مدل‌سازی استفاده شده است. همان‌طور که می‌دانید روش مدل‌سازی، روشی است که به وسیله‌ی آن می‌توان از آنچه که دانش‌آموز می‌داند و برای او کاملاً شناخته شده است برای آنچه که هنوز برایش ناشناخته مانده استفاده کرد تا آن‌ها نیز برای او کاملاً مشخص و شناخته شده شود [۳]. در این روش هرچه شباهت‌های بین مدل و مبحث مورد تدریس منطقی‌تر و صحیح‌تر باشد به فهم بهتر و عمیق‌تر دانش‌آموز از مطلب می‌انجامد. در به کار بردن این شیوه‌ی تدریس (مدل‌سازی)، مدل ارائه شده باید برای دانش‌آموز کاملاً شناخته شده باشد تا خود او بتواند شباهت‌های گفته شده و ارتباط بین کمیت‌های مطرح شده را به خوبی درک کند.

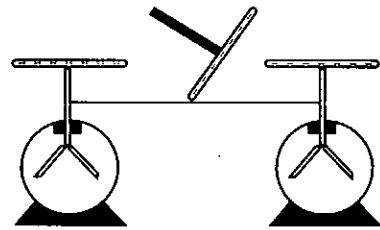
مدل‌سازی در واقع ابزاری است در جهت کمک به آموزش سریع‌تر و بهتر مطالب تدریس شده که برای دانش‌آموزان جذاب است و خسته‌کننده نیست.

مراجع:

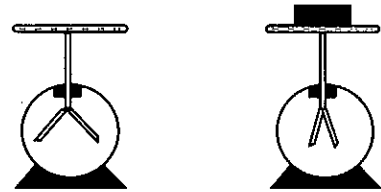
1. The Physics Teacher Vol. 42 march 2007

۲. دوره‌ی درسی فیزیک جلد ۲ الکتریسیته و مغناطیس تألیف: گ. س. لندسبرگ. ترجمه‌ی: دکتر ناصر مقبلی، مهرانگیز طالب‌زاده.
۳. مجله رشد آموزش فیزیک شماره ۶۰ زمستان ۱۳۸۰ گزارش اولین سمینار بین‌المللی ارتقاء تفکر منطقی در فیزیک.

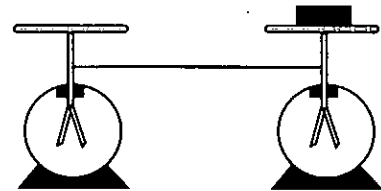
که به حالت تعادل می‌رسند و صفحه‌های هر دو به یک اندازه از هم دور می‌شوند [۱] یعنی پتانسیل الکتریکی هر دو الکتروسکوپ یکی شده است (شکل ۴پ). اختلاف پتانسیل باعث حرکت الکترون‌ها از یک کلاهک به کلاهک دیگر می‌شود. مانند دو ظرف به هم پیوسته‌ی شکل ۱ که اختلاف فشار باعث جاری شدن مایع از ظرف سمت چپ به ظرف سمت راست می‌شود تا این که سطح مایع در دو ظرف یکسان شود. اکنون الکتروسکوپی که روی کلاهک آن سنگ مرمر قرار گرفته است بار بیشتری نسبت به دیگری دارد. این را می‌توان با دور کردن قطعه سنگ و توجه به زاویه‌ی بین صفحه‌ها که در این حالت بیشتر از هم باز می‌شوند نشان داد (شکل ۴ت). در پایان باید به این نکته اشاره کرد که میزان دور شدن صفحه‌های الکتروسکوپ از یکدیگر نشان‌دهنده‌ی نوع بار الکتروسکوپ نیست



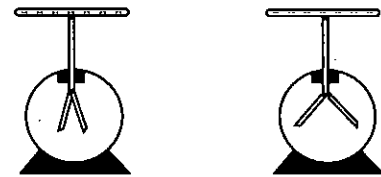
الف



ب



پ



ت

شکل ۴



# چرا در سقوط آزاد احساس بی وزنی می کنیم؟

پیروز مهدبی\*

ترجمه: اکرم جمشیدی نیا

مشاهده‌های بسیار جالب در حین انجام آزمایش، کیتینگر گفته است که پس از بیرون پریدن از اتاقک احساس می‌کرد که در فضا معلق است و اصلاً حرکت نمی‌کند. اما وقتی چرخید و به بالای سرش نگاه کرد، بالون را دید که به سرعت از او دور می‌شود و تنها پس از این بود که دریافت که در حال سقوط بوده است.

در ارتفاع ۱۰۲٫۸۰۰ فوت (۳۱٫۳۳۲m)، که در آن کیتینگر سقوط آزاد خود را شروع کرده بود، فشار هوا تنها ۰٫۱۵/۰ اتمسفر است و در واقع فشاری وجود ندارد. به علاوه، بدیهی است که در این ارتفاع شتاب ناشی از گرانشی برابر با  $g = 9.77 \text{ m/s}^2$  است. به این ترتیب، در غیاب مقاومت هوا در آغاز سقوط آزاد، شتاب کیتینگر در حال سقوط به پایین، تقریباً برابر شتاب گرانشی بود، در حالی که نیروی گرانشی نزدیک به وزنش بر او وارد می‌شد. پس چرا در آغاز سقوط شتاب یا نیروی گرانشی را احساس نکرد؟ شاتل فضایی و ایستگاه بین‌المللی فضایی هر دو در مداراری در ارتفاع متوسط  $350 \text{ km}$  به دور زمین حرکت می‌کنند. بارها تصاویر فضانوردان معلق درون شاتل فضایی یا ایستگاه فضایی را در حال بی‌وزنی دیده‌ایم. در حالی که، در ارتفاع  $350 \text{ km}$ ، شتاب ناشی از گرانشی مقداری حدود  $0.899 \text{ g}$  یا  $8.81 \text{ m/s}^2$  دارد. به علاوه، فضانوردان در شاتل فضایی یا ایستگاه فضایی پیوسته با این آهنگ (که شتاب مرکز گراست) به طرف زمین شتاب می‌گیرند و هنوز

با استفاده از یک مدل خیلی ساده توضیح می‌دهیم چرا در سقوط آزاد وزن خود یا شتاب ناشی از گرانش را احساس نمی‌کنیم، در حالی که در یک دستگاه شتابدار نه تنها شتاب و نیروی وارد بر خود را احساس می‌کنیم بلکه بزرگ بودن این مقادیر می‌توانند مخرب باشند.

در ۱۶ اوت ۱۹۶۰، به عنوان قسمتی از برنامه‌ای که به «طرح اکسلسیور»<sup>۱</sup> معروف است، خلبان جوزف کیتینگر<sup>۲</sup> از نیروی هوایی ایالات متحده آزمایشی را در فیزیک جو انجام داد که هنوز هم کاری ماجراجویانه و خطرناک محسوب می‌شود. هدف این آزمایش بررسی شرایطی بود که به خلبانان هواپیماهای نظامی اجازه می‌داد که به طور ایمن از ارتفاع‌های فراتر از  $30,000$  متر با چتر نجات فرود آیند. برای انجام این آزمایش، کیتینگر سوار بر اتاقک روبرازی شد که به بالن عظیم حاوی هلیوم متصل شده بود. این آزمایش از نقطه‌ای واقع در شرق ترینتی سایت<sup>۳</sup> در نیومکزیکو آغاز شد که در آن نخستین بمب اتمی آزمایش شده بود. این بالن در ساعت ۵:۲۹ صبح با آهنگ ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ فوت بر دقیقه صعود کرد و در مدت یک و نیم ساعت صعود به ارتفاع ۱۰۲٫۸۰۰ فوت رسید. کمی پس از ۷ صبح، کیتینگر از اتاقک بیرون پرید و به مدت چهار و نیم دقیقه سقوط آزاد تاریخی خود را آغاز کرد. از

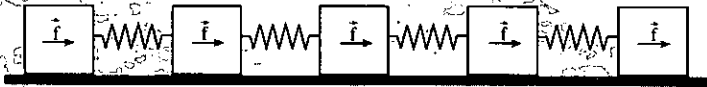
دارای در حدود ۹۰ درصد وزن خود هستند.

به منظور آموزش دادن فضانوردان برای روبه رو شدن با این شرایط، همین طور برای هدایت تحقیقات بنیادی، ناسا از یک KC-۱۳۵A استفاده می کند که یک هواپیمای باری بوئینگ ۷۰۷ اصلاح شده است و «Vomit Comet» نامیده می شود. هواپیما در مسیری سهمی پرواز می کند، ابتدا دماغه بالا می آید و سپس پایین می رود و حوالی بالای مسیرش شرایط بی وزنی ظاهری را تولید می کند. این شرایط در حوالی ارتفاع حدود ۹۶۰۰ متر انجام می گیرد و به مدت ۲۰ تا ۲۵ ثانیه طول می کشد. در این ارتفاع، فضانوردان در حال آموزش هنوز دارای ۹۹/۷ درصد وزن خود هستند و با آهنگ  $g = 0.01/49$  به طرف زمین شتاب می گیرند. با این همه، احساس بی وزنی می کنند. در واقع، در این ارتفاع، به غلط می گویند که «گرانی صفر» یا « $g = 0$ » است. به طور قطع، بسیاری از ما «بی وزنی» در سقوط آزاد از هنگام پریدن روی یک تشک فرفری ژیمناستیک یا پرش از یک سکوی شیرجه با ارتفاع به حد کافی زیاد تجربه کرده ایم. بدون تشک در این شرایط بی وزن نیستیم، اما چرا احساس بی وزنی می کنیم؟ از طرف دیگر، اگر در هواپیمایی که زوی ثابت شتاب می گیرد یا

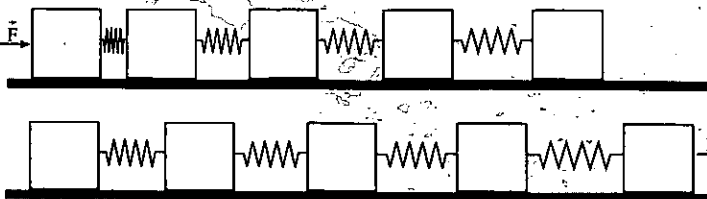
در یک اتومبیل در حال شتاب گرفتن باشیم، شتاب و نیروهای را که صندلی مان به پشت ما وارد می کند احساس می کنیم. هر چند که آن ها به طور قابل ملاحظه ای کوچک تر از شتاب ناشی از گرانی هستند. همین طور، وقتی یک شتاب مرکز گرا (مانند یک دستگاه مرکز گریز یا یک چرخ فلک) را تجربه می کنیم، دوباره شتاب ها و نیروهای که عامل آن ها هستند را احساس می کنیم. تفاوت بین این نیروها و شتاب ها با آن هایی که ناشی از گرانی هستند چیست؟ برای پاسخ به این پرسش ها، مدل یک بعدی شامل  $N$  قطعه ی یکسان و هر یک به جرم  $m$  را در نظر بگیرید که با  $N-1$  فنر بدون جرم مطابق شکل ۱ به هم وصل شده اند. این دستگاه به حال سکون روی میز بدون اصطکاک قرار دارد، و به طرف راست شتاب می گیرد و در نتیجه شتاب هر جرم  $a$  است. یک راه برای به وجود آوردن این شتاب اعمال نیروی  $f$  با اندازه ی  $f = ma$  روی هر قطعه از این مجموعه جرم ها مطابق شکل ۲ است. راه دوم برای شتاب دار کردن دستگاه، اعمال نیروی  $F = Nf$  بر طرف چپ مجموعه یا طرف راست مجموعه مطابق شکل ۳ است، به طوری که درون مجموعه منتشر شود و قطعه ها شتاب بگیرند. در هر دو روش، هر قطعه با آهنگ  $a$  شتاب می گیرد. با این همه، تفاوت



شکل ۱. زنجیره ای متشکل از  $N$  قطعه ی یکسان که با  $N-1$  فنر روی یک سطح بدون اصطکاک به هم متصل شده اند.



شکل ۲. دستگاه توسط نیروهای برابر  $f$  که روی هر قطعه اعمال شده است، شتاب می گیرد. هر قطعه به گونه ای شتاب می گیرد که هیچ گونه تغییر شکلی در فنرها تولید نمی کند.



شکل ۳. دستگاه توسط یک نیروی  $F = Nf$  شتاب گرفته است که همان شتاب  $a$  را در هر یک از قطعات در شکل ۲ به وجود می آورد. در این حالت فنرها در مدت شتاب دستگاه تغییر شکل می دهند.



عمده‌ای بین این دو روش وجود دارد. در روش اول، همه‌ی فنرها بدون حرکت می‌مانند و هیچ کدام از قطعه‌های دستگاه از قطعه‌ی مجاورش نیرویی احساس نمی‌کند. در روش دوم، می‌توان گفت، درحالی‌که دستگاه در حال شتاب گرفتن است فنرها با بیشترین تغییر شکل در یک انتهای مجموعه و کم‌ترین تغییر شکل در انتهای دیگر دستگاه فشرده یا کشیده می‌شوند (شکل ۳). در نتیجه، هنگام شتاب گرفتن دستگاه، هر قطعه نیرویی از قطعه‌ی مجاورش دریافت می‌کند. به بیان دیگر، هر قطعه را قطعه‌ی مجاورش «متراکم می‌کند» یا «می‌کشد».

هنگامی یک نیرو را احساس می‌کنیم که در نتیجه‌ی آن قسمتی از بدن ما در مقایسه با قسمت‌های دیگر متراکم یا کشیده شود. به بیان دیگر، تنها هنگامی یک نیرو را احساس می‌کنیم که اثری مشابه وضعیت توصیف‌شده در شکل ۳ داشته باشد. به طور کلی این سرشت نیروهای تماسی است. به این ترتیب، اگر نیرویی قسمت‌هایی از بدن ما را کشیده یا متراکم نکند، آن را احساس نمی‌کنیم. مطابق وضعیت توصیف‌شده در شکل ۲، میدان گرانشی بر روی هر قسمت و تمام اجزای بدن ما نیرو وارد می‌کند. در نتیجه نیروی گرانشی را احساس نمی‌کنیم. نیروهایی که در نتیجه‌ی میدان‌ها به وجود می‌آیند معمولاً چنین ماهیتی دارند. هر چند حالت‌های استثنایی نیز وجود دارد که بعداً به آن خواهیم پرداخت. در حین سقوط آزاد کیتینگر، میدان گرانشی زمین مستقیماً نیرویی را روی و تمام اجزای بدن او وارد می‌کند، و سبب می‌شد همه‌ی این اجزا شتاب  $g$  بگیرند. چون هیچ تغییر شکلی در بافت‌های بدن وی در هنگام شتاب گرفتن به وجود نمی‌آمد و بادی نیز نمی‌وزید، قوه‌ی تشخیص کیتینگر مختل شده بود و او احساس می‌کرد که در فضا معلق است، گرچه او با شتاب تقریباً برابر با شتاب گرانشی زمین به طرف پایین شتاب می‌گرفت.

در یک سانتریفوز انسانی یا یک وسیله نقلیه شتابدار، از یک طرف مسافر با نیرویی - مانند آنچه در شکل ۳- الف گفته شد - شتاب می‌گیرد، این نیرو در سراسر بدن شخص منتشر و باعث می‌شود قسمتی از بدن او به قسمت دیگر فشار وارد کند. بدین ترتیب، مسافر احساس می‌کند نیروی اعضای مختلف بدن او را «می‌فشارد».

همین استدلال نشان می‌دهد چرا ما وزن خودمان را احساس نمی‌کنیم. وقتی روی زمین ایستاده، نشسته یا دراز کشیده‌ایم چیزی که به عنوان وزن خود احساس کنیم همان نیروی قائم بالاسویی است که زمین به ما وارد می‌کند. این نیرو تراکم اندکی را در بدن ما، بیشتر در قسمت‌هایی که در تماس با زمین هستند به وجود می‌آورد؛ در نتیجه آن را احساس می‌کنیم. هنگامی که در یک آسانسور هستیم که به طرف بالا یا پایین شتاب می‌گیرد، به ترتیب احساس می‌کنیم کمی سنگین‌تر یا کمی سبک‌تر شده‌ایم، درحالی‌که وزن ما تغییر نکرده است؛ و اگر کابل پاره شود، برای لحظاتی نه‌چندان طولانی، احساس بی‌وزنی می‌کنیم!

در پایان، می‌بینیم راه‌های مختلفی وجود دارد که جسم یا شخص می‌تواند شتاب بگیرد. اگر سازوکار شتاب دادن باعث تغییر شکل بافت‌های بدن شود، نیروها و شتاب احساس می‌شوند، در غیر این صورت ما نیروها و شتاب را احساس نمی‌کنیم. هر چند بیشتر نیروهایی که ناشی از میدان‌های نیرو هستند باعث تغییر شکل در بدن ما نمی‌شوند، اما گاهی این تغییر را ایجاد می‌کنند و آن‌ها را احساس می‌کنیم. به عنوان مثال، اگر در یک میدان الکتریکی بایستیم، موهای ما سیخ می‌شود و احساسی را در پوست مان تجربه می‌کنیم. گرچه این نیروها را میدان الکتریکی تولید کرده است، آن‌ها ما را، به ویژه در بافت‌های نزدیک پوست و مو، قطبیده می‌کنند. در نتیجه قسمت‌های مختلف بدن ما دارای بارهای الکتریکی متفاوت می‌شوند و با آهنگ‌های مختلف شتاب می‌گیرند، بدین ترتیب باعث یک تغییر شکل جزئی در بافت‌های نزدیک پوست می‌شوند.

زیرنویس:

\* University of Wisconsin-Parkside, Kenosha, WI

1. Excelsior
2. Joseph Kitingar
3. Trinity site

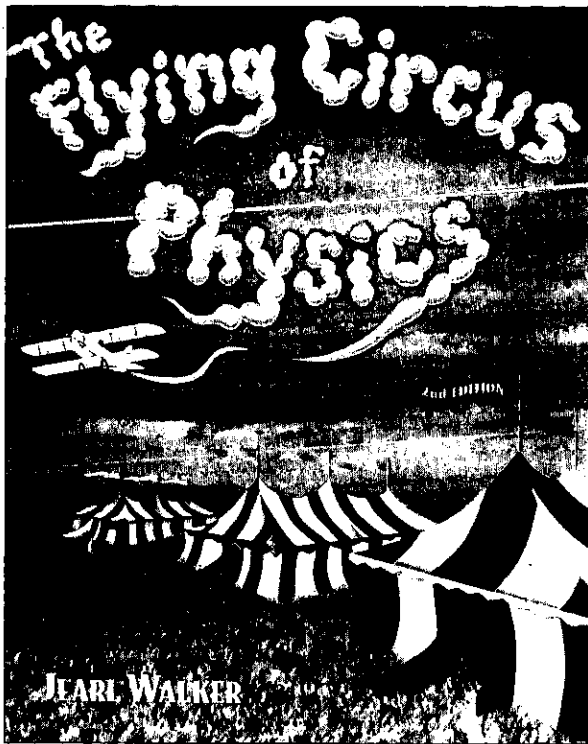
منبع:

# نمایش هیجان‌انگیز فیزیک

یرل واکر

ترجمه: محمدرضا خوش بین خوش نظر

بخش اول



فیزیک، جالب‌ترین موضوع جهان است، زیرا به طرزکار جهان می‌پردازد ولی در اغلب کتاب‌های درسی سنتی، ارتباط معناداری با جهان واقعی دیده نمی‌شود و در آن‌ها سرگرمی وجود ندارد.

از این شماره به بعد قصد داریم مطالب کتابی با عنوان «نمایش هیجان‌انگیز فیزیک» تألیف یرل واکر را که به کاربردهای فیزیک در زندگی روزمره می‌پردازد در اختیار خوانندگان قرار دهیم.

## سر خوردن بین قطره‌های افتان

زیر باران بدویم یا راه برویم

وقتی بدون چتر در روزی بارانی از خیابانی می‌گذرید باید بدوید یا راه بروید؟ دویدن بدون شک به معنی آن است که زمان کمتری را زیر باران می‌گذرانید، ولی به معنی آن هم هست که شاید قطره‌های باران بیشتری به شما برخورد کند. آیا اگر باد، قطره‌های باران را به شما نزدیک یا از شما دور کند، پاسخ تغییر می‌کند؟

اگر در زیر باران رانندگی کنید، با چه سرعتی باید برانید تا مقدار آبی را که به شیشه‌ی جلوی اتومبیل می‌خورد کمینه شود و بدین ترتیب بتوانید جلوی خودتان را ببینید؟

پاسخ: اگر باران مستقیماً فرو بیارد یا اگر باد آن را به طرف شما براند، باید تا جایی که ممکن است تند بدوید. گرچه به طرف قطره‌های باران می‌دوید، ولی چون زمانی کمتر از وقتی که کند حرکت می‌کنید را زیر باران می‌گذرانید، کمتر خیس می‌شوید. برای کاهش مقدار قطره‌هایی که در حین دویدن به شما می‌خورد، باید با خم شدن رو به جلو در هنگام دویدن، سطح مقطع قائم خود را کمینه کنید. برای حرکت تندتر در حالی که خم شده‌اید، می‌توانید همان‌طور که یک پژوهشگر پیشنهاد کرده است، سوار بر اسکیت برد از زیر باران عبور کنید،

ولی این بدون شک باعث جلب توجه می‌شود و علاوه بر آن ضبط و ربط اسکیت برد دشوارتر از حمل چتر است.

اگر باد از پشت به شما بوزد، بهترین کار این است که با سرعتی برابر با سرعت افقی قطره‌های باران بدوید. در این صورت، بالای سر و شانه‌هایتان خیس می‌شود، ولی قطره‌های باران سطح جلویی و پشت شما را خیس نمی‌کند. اما این راه‌برد در مورد جسمی که در باران حرکت می‌کند و دارای سطح مقطع افقی بسیار بزرگ‌تر از شماست به کار نمی‌آید. زیرا، حتی اگر سرعت آن برابر سرعت افقی قطره‌های باران باشد، مقدار قابل توجهی آب روی سطح بالایی آن جمع می‌شود. چنین جسمی، برای این که خیس شدنش

کمینه شود، باید تا جایی که ممکن است تند حرکت کند.

اگر در زیر باران رانندگی می کنید، به جای کمینه کردن خیس شدن، نگران حفظ قابلیت دیدتان باشید. اگر قطره ها مستقیماً فرو بارند یا اگر به طرف شما بوزند، باید آهسته برانید. اگر باران در جهتی بوزد که رانندگی می کنید باید کاری کنید که سرعت اتومبیل دقیقاً برابر با سرعت افقی قطره ها شود، گرچه ممکن است این کار عملی نباشد.

### دسته های ترافیک و راه بندان

در ترافیک سنگین، برای حرکت آرام و بدون توقف در امتداد یک خیابان، توالی چراغ های راهنمایی تقاطع ها باید چگونه زمان بندی شود؟ آیا این زمان بندی باید در ساعت های اوج ترافیک تغییر کند؟ چرا این طرح گاهی اوقات جواب نمی دهد، مثلاً در یک روز برفی، که راه بندان می شود و ترافیک عملاً در جای خود منجمد می شود.

پاسخ: اتومبیل ها در گروه های موسوم به دسته ها حرکت می کنند. فرض کنید یک دسته پشت چراغ قرمز تقاطع ۱ متوقف شده اند. وقتی چراغ سبز شود، نخست سردسته ها (اتومبیل های جلویی) شتاب می گیرند و با سرعت معینی حرکت می کنند. پیش از آن که به تقاطع ۲ برسند، چراغ این تقاطع باید سبز شود تا آن ها به حرکت خود ادامه دهند. اگر فاصله ی بین تقاطع ها، شتاب سرگروه ها، و زمان حرکت با سرعت معینی معلوم باشد، می توان تعیین کرد که چراغ تقاطع ۲ کی باید سبز شود؟ حرکت اتومبیل های عقب تر دسته پس از سبز شدن چراغ با تأخیر صورت می گیرد، زیرا موج شروع به حرکت ۱ باید به آن ها برسد (رانندگان همزمان شروع به حرکت نمی کنند). این کار ممکن است چند ده ثانیه طول بکشد. اگر دنباله ی دسته بسیار دیر شروع به حرکت کند در چراغ قرمز بعدی تقاطع ۲ متوقف می شود. فرض کنید دسته ی بعدی که در خیابان حرکت می کند به همان بلندی یا بلندتر از دسته ی قبلی باشد. در این صورت تعداد اتومبیل هایی که پشت چراغ قرمز بعدی در تقاطع ۲ متوقف می شوند، افزایش می یابد.

در صورتی که دسته ها هم چنان بلند شوند، وضعیت بدتر می شود. خط اتومبیل هایی که در تقاطع ۲ متوقف شده اند ممکن است تا تقاطع ۱ امتداد پیدا کند و مانع از حرکت اتومبیل ها در آن تقاطع شود. در این صورت که راه بندان به وجود می آید. برای حل این مشکل، توالی چراغ های راهنمای تقاطع های ۱ و ۲ باید برعکس شود: یعنی اکنون چراغ تقاطع ۲ باید پیش از سبز شدن چراغ تقاطع ۱ سبز شود، تا اتومبیل هایی که در تقاطع ۲ متوقف

شده اند بتوانند پیش از رسیدن دسته ی بعدی از آن تقاطع بگذرند. این تغییر توالی را می توان به صورت دستی یا با یک رایانه انجام داد که تعداد اتومبیل های متوقف شده در تقاطع ۲ را دیدبانی می کند. دسته ها را می توان در ترافیک تونل (به ویژه اگر تغییر خط مسیر ممنوع باشد) و در جاده های روستایی با دو خط عبور هم یافت. در هر مورد، یک دسته هنگامی تشکیل می شود که اتومبیل های سریع تر با وسیله های نقلیه ی کندتر، مثل کامیون، مواجه شوند. در جاده های روستایی، اگر رانندگان موفق شوند از وسیله ی نقلیه ی کندروی جلویی سبقت بگیرند، دسته از بین می رود.

### موج های شوکی در آزادراه

چرا وقتی بار ترافیکی یک آزادراه یا بزرگراه افزایش می یابد، «امواج» متشکل از حرکت کند یا سریع رانندگان در این ترافیک منتشر می شود؟ بعضی اوقات این امواج در هنگامی تولید می شوند که یک تصادف یا اتومبیل از کار افتاده، یک خط مسیر را می بندد، و گاهی بر اثر تصادف های موهوم<sup>۱</sup> که در آن ها ترافیک به دلیل نسبتاً کم اهمیتی، مانند تغییر مسیر یک اتومبیل، کند می شود. این امواج در جهت حرکت اتومبیل ها منتشر می شوند یا در جهت مخالف آن؟ چرا یک موج می تواند مدتی پس از تصادف یا توقف یک اتومبیل باقی بماند؟

پاسخ: وقتی چگالی وسیله های نقلیه کاملاً کم است، اعمال یک راننده تأثیر اندکی بر راننده های دیگر می گذارد، به ویژه اگر عبور امکان پذیر باشد. وقتی چگالی وسیله های نقلیه تا اندازه ای بیشتر است، راننده ها با یکدیگر برهم کنش دارند، به این معنی که تا اندازه ای به دلیل ملاحظات ایمنی و همین طور به دلیل کاهش احتمال عبور کندتر حرکت می کنند. فرض کنید در چنین ترافیکی رانندگی می کنید. وقتی راننده ی جلویی شما سرعت اتومبیل خود را کم یا زیاد کند، شما نیز همان کار را پس از زمان واکنشی در حدود یک ثانیه انجام می دهید. راننده ی پشت سر شما نیز پس از زمان پاسخ یک ثانیه ی دیگری، همین کار را می کند، و الی آخر. این عمل افزایش سرعت، مانند یک موج، رو به عقب از خط مسیر اتومبیل ها می گذرد. این موج احتمالاً برای هر کسی که در کنار جاده باشد نامرئی است، زیرا تنظیم سرعت ها معمولاً ناچیز است.

اکنون فرض کنید که راننده ی جلویی شما ناگهان محکم ترمز کند. شما و راننده های پشت سرتان نیز باید محکم ترمز کنید، که برای هر ترمز به زمان پاسخ در حدود یک ثانیه نیاز است. این ترمز ناگهانی نیز مانند یک موج، رو به عقب از خط مسیر اتومبیل ها می گذرد، اما اکنون این موج برای ناظر کنار جاده مشخص است. این موج، یک موج شوکی است. بسته به تراکم اتومبیل ها قبل و

بعد از عبور موج، این موج می تواند در جهت حرکت اتومبیل ها (رو به پایین) یا در جهت مخالف آن ها (رو به بالا) حرکت کند، یا حتی می تواند ساکن باشد.

فرض کنید یک موج شوکی هنگامی تولید شود که یک اتومبیل در ترافیک نسبتاً سنگین خراب شود و ۱۵ دقیقه لازم باشد تا راننده، اتومبیل را به کنار جاده ببرد. در این صورت همین که اتومبیل ها به سرعت معمولی خود برسند، یک موج رهایی آروبه عقب از خط طولانی اتومبیل های منتظر می گذرد. ممکن است این موج رهایی بسیار پس از موج شوکی که هنوز رو به عقب از بین اتومبیل ها می گذرد، بتواند جبران مافات کند: فقط در این صورت است که جریان کامل حرکت اتومبیل ها به شرایط عادی باز می گردد.

### کمینه فاصله ی یک اتومبیل از اتومبیل دیگر

اگر اتومبیلی به دنبال اتومبیل دیگری حرکت کند، کمینه فاصله ی آن از اتومبیل جلویی باید چقدر باشد تا هنگامی که راننده ی جلویی ناگهان ترمز می کند، پیش از برخورد با آن متوقف شود؟ توصیه ی متداول آن است که فاصله ی آن ها به ازای هر ۱۶ کیلومتر بر ساعت به اندازه ی طول یک اتومبیل باشد. آیا این توصیه ی معقولی است؟

پاسخ: این توصیه ی معقولی نیست، زیرا مبتنی بر دو فرض ضعیف است. یکی این است که هر دو راننده در وضعیت اضطراری زمان های واکنش یکسانی دارند. اگر راننده ی عقبی پاسخی کندتر از راننده ی جلویی داشته باشد، به فاصله ی بیشتری نیاز است. فرض ظریف تر آن است که هر دو اتومبیل با آهنگ یکسانی کند می شوند. اگر اتومبیل ها کاملاً سر نخورند، این فرض احتمالاً بی اعتبار است. البته، وضعیت خطرناک هنگامی رخ می دهد که اتومبیل جلویی با سرعت بیشتر از اتومبیل عقبی کند شود.

فرض کنید فقط تفاوت مختصری در آهنگ کند شدن آن ها وجود داشته باشد. آیا قاعده ی ساده ای برای محاسبه ی کمترین فاصله ی لازم برای جلوگیری از تصادف وجود دارد؟ شگفت این که پاسخ منفی است، زیرا کمترین فاصله ی تابع مربع سرعت است و بنابراین محاسبه ی ذهنی آن برای وضعیتی خاص ساده نیست. پس، اگر با سرعت زیاد پشت اتومبیل دیگر حرکت می کنید، بهترین فاصله ی مجاز بسیار بیشتر از مقدار توصیه شده ی معمولی است.

### عبور از چراغ زرد

فرض کنید چراغ تقاطعی اندکی پیش از رسیدن شما به آن، زرد شود. آیا باید پیش از ورود به تقاطع توقف کنید یا با همان سرعت به حرکت خود ادامه دهید، یا شتاب بگیرید؟ تصمیم گیری

شما باید مبتنی بر تجربه ی حاصل از قضاوت درباره ی سرعستان، فاصله تا تقاطع، عرض تقاطع، و برآورد مدت چراغ زرد باشد. آیا ممکن است حتی در صورتی که از حد مجاز سرعت تجاوز نکنید، با هر یک از این انتخاب ها، قانون را نقض کنید؟

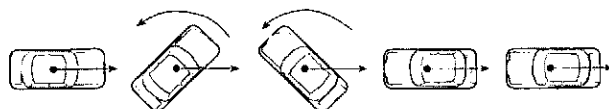
پاسخ: قانون محلی می تواند در این پاسخ تأثیرگذار باشد، زیرا در بعضی جاها در صورتی قانون نقض می شود که به هنگام قرمز شدن چراغ در تقاطع باشید، در حالی که در جاهای دیگر تا هنگامی که پیش از قرمز شدن چراغ وارد تقاطع شده باشید، قانون را نقض نمی کنید. در حالت اول، احتمالاً در حالتی هستید که هیچ امکان موفقیتی ندارید، زیرا برای عبور از این تقاطع شاید نتوانید به موقع ترمز کنید یا به حد کافی شتاب بگیرید (و هنوز از حد مجاز سرعت تجاوز نکنید). در چنین وضعیتی، گستره ی وسیعی از فاصله های تا تقاطع وجود دارد که در آن ها هر گونه راه بردی برای اجتناب از نقض قانون به شکست می انجامد. مسأله هنگامی بدتر می شود که مدت زمان چراغ زرد کوتاه، و حد مجاز سرعت کم باشد، اما در صورتی که چراغ ترافیک عمود بر مسیر شما با یک یا دو ثانیه تأخیر، پس از قرمز شدن چراغ مسیر شما سبز شود خطر تصادف کاهش می یابد.

### چرخش در هنگام محکم ترمز کردن

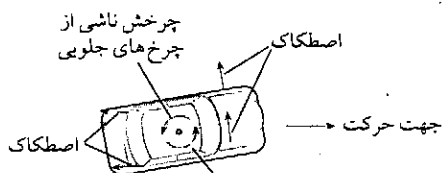
برخی انواع اتومبیل های بدون دستگاه ضد قفل ترمز، در هنگام محکم ترمز کردن می چرخند و حتی ممکن است جهت حرکت آن ها در جاده عوض شود (شکل ۱ الف). چه عاملی باعث این چرخش می شود، و چرا همه ی انواع اتومبیل ها نمی چرخند؟ اگر اتومبیل شما شروع به چرخیدن کند، بهترین راه برد برای به دست گرفتن کنترل حرکت چیست: آیا باید چرخ های جلو را در جهت سر خوردن اتومبیل بچرخانید یا در جهتی که می خواهید حرکت کنید؟

پاسخ: چرخش کامل در اتومبیل هایی متداول است که در آن ها موتور در جلوی اتومبیل است، زیرا در آن ها وزن روی چرخ های جلویی بیشتر از چرخ های عقبی است. این بدان معنی است که چرخ های عقبی احتمالاً قفل شدن و سر خوردن قبل از چرخ های جلویی را دارند، و در این مورد هر چرخش تصادفی، مثلاً ناشی از ناهمواری های جاده به سرورته شدن کامل می انجامد.

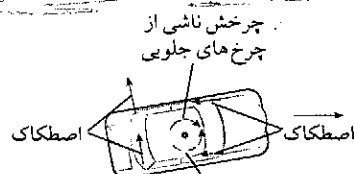
برای تجسم سرورته شدن، اصطکاک وارد بر چرخ ها را به هنگامی در نظر بگیرید که اتومبیل شروع به چرخیدن به طرف چپ مقصد مورد نظرش را می کند (شکل ۱-ب). به چرخ های عقبی، که در حال سر خوردن هستند، نیروهای اصطکاک مستقیماً رو به عقب وارد می شود. به چرخ های جلویی، که هنوز می غلتند،



شکل ۱. (الف) چرخش کامل اتومبیل ناشی از یک ترمز محکم، نیروهای اصطکاک وارد بر چرخ‌های (ب) اتومبیلی که موتور آن در جلو است و (پ) اتومبیلی که موتور آن در عقب است.



چرخش اولیه (ب)



چرخش اولیه (پ)

که فرض کنید که اتومبیل شما دستگاه ضد قفل ترمز ندارد. آیا باید با محکم ترمز کردن چرخ‌ها را قفل کنید، یا باید طوری ترمز کنید که حتی الامکان چرخ‌ها قفل نشوند؟ اگر اتومبیل شما دستخوش لغزش کامل شود، چرا این لغزش ناگهان متوقف می‌شود؟

پاسخ: در کتاب‌های درسی معمولاً برای گزینه‌ی دوم دلیل می‌آورند و به درستی متذکر می‌شوند که این اصطکاک وارد بر لاستیک‌های چرخ است که اتومبیل را متوقف می‌کند. وقتی چرخ‌ها می‌غلتند، اصطکاک می‌تواند با ترمزگیری مناسب تا مقدار بیشینه‌ای افزایش یابد. اگر محکم ترمز بگیرید، چرخ‌ها قفل می‌شوند و لاستیک‌ها سر می‌خورند. در این صورت اصطکاک کوچک‌تر می‌شود و با اصطکاک کمتر، فاصله‌ی توقف بیشتر می‌شود.

بهترین گزینه آن است که طوری ترمز کنیم که چرخ‌ها در آستانه‌ی لغزش قرار گیرند، و در کمترین فاصله متوقف شوید. درست؟ ولی ممکن است این کار واقعاً امکان‌پذیر نباشد، زیرا می‌تواند فاصله‌ی توقفی را بدهد که ۲۵٪ بلندتر از هنگامی باشد که چرخ‌ها قفل می‌شوند و کاملاً سر می‌خورند.

این استدلال کتاب‌های درسی ممکن است در وضعیت اضطراری به دو دلیل عاقلانه نباشد. یکی این که به ندرت زمان کافی برای آزمایش کردن با ترمز را دارید. دلیل دیگر به گشتاورهایی مربوط می‌شوند که نیروهای اصطکاک بر چرخ‌ها وارد می‌کنند: این گشتاورها می‌خواهند با چرخاندن اتومبیل دور یک محور افقی که از مرکز جرم آن می‌گذرد، اتومبیل را رو به جلو پرتاب کنند (شکل ۲). این کوشش برای چرخاندن، بار روی چرخ‌های عقبی را کاهش و بار روی چرخ‌های جلویی را افزایش می‌دهد.

فرض کنید به قدری محکم ترمز کرده‌اید که اتومبیل در آستانه‌ی لغزش قرار دارد. چون تمام چرخ‌ها هنوز می‌چرخند و چون بار روی چرخ‌های عقبی کاهش یافته است، این چرخ‌های عقبی هستند که در آستانه‌ی لغزش قرار می‌گیرند (نه چرخ‌های جلویی با بار اضافی) و اصطکاک وارد بر چرخ‌های عقبی کوچک است. اگر ترمزهای جلو و عقب یکسان باشند، اصطکاک وارد بر چرخ‌های جلویی همان مقدار اندک است، و بنابراین اصطکاک کل وارد بر اتومبیل، کوچک و فاصله‌ی توقف اتومبیل، زیاد است.

حال فرض کنید که به حدی محکم ترمز می‌گیرید که همه‌ی چرخ‌ها قفل و دچار لغزش کامل می‌شوند. وقتی چرخ‌ها سر می‌خورند، اصطکاک وارد بر آن‌ها به باری بستگی دارد که روی آن‌ها قرار دارد. چون بار چرخ‌های جلویی افزایش یافته است،

نیروهای اصطکاک موازی محور جلو و اندکی متمایل به طرف چپ عقب وارد می‌شود. تمام این نیروها گشتاورهایی را به وجود می‌آورند که می‌خواهند اتومبیل را به دور مرکز جرم آن بچرخانند. [در این میان] گشتاورهای ناشی از اصطکاک وارد بر چرخ‌های جلویی غالب می‌شوند، زیرا می‌خواهند اتومبیل را در همان جهتی بچرخانند که قبلاً شروع به چرخش کرده است. بنابراین، چرخیدن تقویت و اتومبیل سرورته می‌شود.

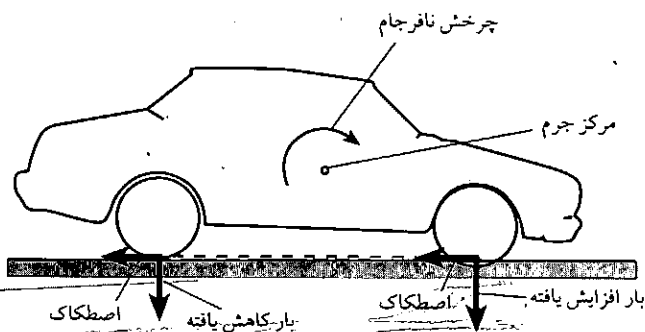
اگر موتور در عقب اتومبیل باشد، نقش نیروهای اصطکاک وارد بر چرخ‌های جلویی و عقبی عوض می‌شود، و گشتاورهای حاصل از چرخ‌های عقبی غلبه می‌کنند که با چرخش اولیه مخالف می‌کنند (شکل ۱-پ).

بنابر توصیه‌ی متداول، اگر اتومبیل شما شروع به چرخیدن کرد، باید چرخ‌های جلویی آن را در جهت مقصد مورد نظرتان بچرخانید. با این کار، گشتاوری را روی چرخ‌های جلویی در جهت مخالف جهت چرخش تولید می‌کنید، ولی اگر راننده‌ی ماهری نباشید ممکن است کنترل اتومبیل را در جهت مخالف از دست بدهید.

### سر خوردن یا سر نخوردن

فرض کنید در جاده‌ای رانندگی می‌کنید و ناگهان گوزنی در فاصله‌ای از جلوی اتومبیل شما به وسط جاده می‌پرد. و همین طور





شکل ۲. اتومبیل در حین ترمزگیری به جلو پرت می شود.

تکه های کوچکی از لاستیک می شود و لاستیک ها و جاده را گرم می کند. لاستیک می تواند ذوب شود و اگر جاده از مواد قیری باشد امکان ذوب آن هم وجود دارد. اگر هریک از این ذوب ها صورت گیرد، شاره ای تولید می شود که سطح جاده را لیز می کند و به کاهش بیشتر اصطکاک می انجامد.

ماده ی مذاب به سرعت دوباره سفت می شود، ولی خط ترمز شاید ماه ها باقی بماند: اغلب شیارهایی در امتداد این خط وجود دارد که ناشی از دنده های روی لاستیک یا سنگ ریزه هایی است که به جاده چسبیده اند. در سطوح بتونی، خط های ترمز که اصولاً متشکل از تکه های لاستیک ذوب شده یا جدا شده از چرخ هستند نادرتر و تقریباً نامرئی هستند.

وقتی اتومبیل بدون برخورد با چیزی سُر خورده و متوقف می شود، طول خط ترمز آن به مأمور رسیدگی کمک می کند تا سرعت اتومبیل را در هنگام شروع به سُر خوردن برآورد کند. ولی چون متغیرهای بسیار زیادی در آن دخیل هستند، این محاسبه فقط می تواند یک برآورد باشد. یکی از این متغیرها، جرم (یا وزن اتومبیل) است. اتومبیل سنگین برای توقف به فاصله ی اندکی طولانی تر از یک اتومبیل سبک تر نیاز دارد، که ناشی از لیزی بیشتری است که وزن سنگین تر تولید می کند. (در دادگاه های ترافیکی و بسیاری از کتاب های فیزیک معمولاً این اثر نادیده گرفته می شود.) طول خط ترمز به شرایط زمین جاده هم بستگی دارد. در جاده های شنی طول آن کوتاه تر و اگر بر اثر استفاده ی زیاد، صیقلی شده باشد طول آن بلندتر می شود. فاصله ی توقف به پهنای لاستیک چرخ بستگی ندارد، زیرا معمولاً نیروی اصطکاک وارد بر یک چرخ فقط بستگی به وزنی که تحمل می کند و جنس و ویژگی های پیوند لاستیک و سطح جاده بستگی دارد، و نه به پهنای لاستیک.

اگر جاده خشک باشد، شیارهای روی لاستیک اثر اندکی بر

اصطکاک وارد بر آن ها بزرگ است، حتی اگر اصطکاک وارد بر چرخ های عقبی کوچک باشد، این افزایش اصطکاک وارد بر چرخ های جلو به معنی آن است که اصطکاک کل وارد بر اتومبیل بزرگ تر از وضعیت قبلی است، و در نتیجه، فاصله ی توقف اتومبیل کوتاه تر می شود. با این همه، قفل شدن چرخ ها مطلوب نیست، زیرا این سُر خوردن باعث می شود که کنترل اتومبیل از دستتان خارج شود و به راحتی شروع به چرخیدن کنید (نگاه کنید به بخش قبل)، با اتومبیل های مجاور یا اتومبیل های مسیر مقابل برخورد کنید. توقف ناگهانی سُر خوردن ناشی از افزایش ناگهانی اصطکاک وارد بر لاستیک چرخ هاست. در هنگام سُر خوردن محل تماس چرخ ها و جاده با قیر و لاستیک مذاب لیز می شود (نگاه کنید به موضوع بعدی). اما وقتی اتومبیل کند می شود، ماده ی کمتری ذوب می شود و لیزی کمتری به وجود می آید که به افزایش ناگهانی اصطکاک می انجامد.

### سُر خوردن تا توقف

اگر چرخ های اتومبیلی در هنگام ترمز کردن اضطرابی قفل شوند، لاستیک چرخ ها روی کف خیابان سُر می خورند و خط های ترمز بر جای می گذارند. فرض کنید اتومبیلی در یک سرعت معین با سُر خوردن متوقف شود. آیا وزن اتومبیل در طول خط ترمز مؤثر است؟ شکل شیارها یا پهنای لاستیک های چرخ چطور؟ اگر لاستیک های چرخ صاف باشد، چه می شود؟ چرا متوقف کردن اتومبیل روی جاده ی اندکی خیس بسیار دشوارتر از وقتی است که آب سطح جاده را پوشانده باشد؟

پاسخ: در هنگام ترمز کردن اضطرابی، اصطکاک وارد از جاده بر لاستیک های چرخ، ابتدا تا مقدار بیشینه ای افزایش می یابد و سپس هنگامی که چرخ ها قفل شوند و لاستیک ها شروع به سُر خوردن کنند، کاهش می یابد. این سُر خوردن باعث کنده شدن

فاصله‌ی توقف دارند، ولی اگر جاده مرطوب باشد این موضوع می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد. اگر مقدار آب زیاد باشد، مثلاً در هنگام بارندگی شدید، ممکن است اتومبیل مثل یک قایق تندرو روی لایه‌ی نازکی از آب به پرواز درآید (یا پرواز آبی کند) که تقریباً اصطکاکی ندارد. یعنی، لاستیک با جاده در تماس نیست، زیرا آب نمی‌تواند از مسیر یا از زیر چرخ بیرون رود. این کار وقتی جاده کثیف باشد و باران تازه شروع به باریدن کرده باشد، بدتر هم می‌شود، چون آب و گرد و خاک مخلوط می‌شوند و ماده‌ی لغزنده‌ی بسیار لجزی را به وجود می‌آورند که شبیه خمیر کوزه‌گری است. بنابراین اصطکاک بین لاستیک و جاده به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد، که می‌تواند باعث تعجب بسیاری از رانندگان در یک ترمز اضطراری شود، زیرا فکر می‌کنند که با شروع بارندگی، جاده هنوز به حد کافی مرطوب نیست تا باعث به پرواز درآمدن اتومبیل روی آب شود. پس از این که باران، جاده را تمیز کرد و جاده خشک شد، اصطکاک بین لاستیک و جاده از قبل از بارندگی بیشتر می‌شود، زیرا آلودگی از بین رفته است. چرخ‌هایی که برای کمینه کردن پرواز روی آب طراحی شده‌اند، دارای شیارهایی هستند که آب را از زیر چرخ‌ها به یک طرف می‌رانند.

اگر آب به اندازه‌ای نباشد که اتومبیل روی آن به پرواز درآید، باز هم می‌تواند اصطکاک وارد بر لاستیک‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. لاستیک از آن رو به سطح جاده‌ی خشک می‌چسبد که وزنی که روی آن فشار می‌آورد کف لاستیک را به صورت لحظه‌ای بر سطح جاده می‌چسباند. این کار باعث می‌شود که لاستیک با سطحی ناهمگون درگیر شود و در چاله‌های کوچک، فرورفته و از برآمدگی‌های کوچک بالا رود. این برآزش کامل لاستیک و سطح ناهمگون جاده می‌تواند بیشتر اصطکاک لازم در هنگام توقف اضطراری را تأمین کند؛ ولی، وقتی سطح جاده مرطوب باشد، این چاله‌ها پر از آب می‌شوند. پس وقتی که لاستیک به طور لحظه‌ای بر جاده فشار می‌آورد، آب این چاله‌ها را به خود جذب و سطح جاده را نسبتاً هموار و برآمدگی‌ها را عملاً حذف می‌کند. بنابراین، لاستیک دیگر نمی‌تواند در این برآمدگی‌ها گیر کند.

اگر اتومبیل در هنگام توقف اضطراری شروع به چرخیدن کند، خط‌های ترمزی که بر روی جاده بر جا می‌گذارد خمیده خواهند بود. این چرخش در صورتی به وجود می‌آید که چرخ‌های عقب پیش از چرخ‌های جلو قفل شوند، یا می‌تواند ناشی از شیب جاده باشد. (اغلب برای عبور آب باران، وسط جاده بالاتر از دو طرف آن است.) اگر چرخ در حین چرخیدن همچنان بغلتد، از پهلو روی جاده کشیده می‌شود و یک خط خراشیدگی<sup>۲</sup> بر جای می‌گذارد که فاقد شیارهای مشخصه‌ی خط ترمز است. خط دیگری از خط هنگامی

به وجود می‌آید که جاده به اندازه‌ی کافی ناصاف باشد که باعث واجهیدن اتومبیل شود یا به هنگام ترمزگیری غیر یکنواخت به وجود می‌آید. گاف‌های کوتاه موجود در این خط‌ها معمولاً ناشی از واجهیدن اتومبیل است، در حالی که گاف‌های بلندتر می‌توانند نشانگر آن باشند که راننده به طور غیر یکنواخت ترمز را گرفته و ول کرده است.

## داستان کوتاه

### چند رکورد برای خط ترمز

رکورد طول خط ترمز روی یک جاده را در سال ۱۹۶۰ راننده‌ی یک اتومبیل جاگوار در جاده‌ی M۱ انگلستان به جا گذاشت که خط‌هایی به طول ۲۹۰ متر بودند. در دادگاه اظهار شد که در هنگام قفل شدن چرخ‌ها، سرعت از ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت (یا ۱۰۰ مایل بر ساعت) فراتر رفته بود. اگر فرض کنیم که ضریب اصطکاک بین لاستیک‌های چرخ و جاده ۰/۷ باشد، می‌توانیم سرعت اتومبیل را حدود ۲۲۵ کیلومتر بر ساعت (یا ۱۴۰ مایل بر ساعت) برآورد کنیم.

خط‌های ترمز با عظمت جاگوار پس از رکوردی که کریگ بریدلاو<sup>۳</sup> در اکتبر ۱۹۶۲ در بنویل سالت فلتز<sup>۴</sup> در یوتا بر جای گذاشت، رنگ باخت. در تلاش برای شکستن رکورد سرعت و عبور از «سد»<sup>۵</sup> ۵۰۰ مایل بر ساعت (۸۰۵ کیلومتر بر ساعت) بریدلاو اتومبیل مجهز به موتور موشکی خود، موسوم به اسپرت او امریکا<sup>۶</sup> را در یک مایل نخست در یک جهت و سپس در جهت مخالف راند، تا بتواند اثر باد را به طور میانگین حذف کند. وقتی او برای دومین بار از مسیر گذشت، سرعت او در حدود ۵۴۰ مایل بر ساعت بود.

او برای کم کردن سرعت از چتر نجاتی استفاده کرد، ولی ناگهان طناب آن تحت فشار از هم گسیخت؛ دومین چتر نیز دچار همین مشکل شد. سپس، با فشردن پدال ترمز تا ته، از آن‌ها استفاده کرد، ولی آن‌ها کاری بیش از به جا گذاشتن خط ترمزی به طول بیشتر از شش مایل انجام دادند. اتومبیل که با سرعتی در حدود ۵۰۰ مایل بر ساعت حرکت می‌کرد از فاصله‌ی باریک بین دو تیر تلفن، بدون برخورد گذشت. سرانجام وقتی متوقف شد که از خاکریزی بالا رفت و سپس با سرعت ۱۶۰ مایل بر ساعت در دریاچه‌ی آب نمکی به عمق ۵ متر سقوط کرد. چون بریدلاو با تسمه‌ای محکم به صندلی خود بسته شده بود، تقریباً در بخش غوطه‌ور شده‌ی اتومبیل غرق شد. با وجود این، رکورد سرعت جدیدی را بر جای گذاشت و سد ۵۰۰ مایل بر ساعت را با سرعت متوسط ۵۲۶ مایل بر ساعت شکست.

### دارکوب، قوچ، و ضربه‌ی مغزی

دارکوب برای یافتن حشراتی برای خوردن، به وجود آوردن

جایی برای ذخیره سازی غذا، یا جلب توجه جفت خود، منقارش را به تنه‌ی درخت می‌کوبد. در هنگام این برخورد، آهنگ کند شدن سر دارکوب حدود ۱۰۰۰g (۱۰۰۰ برابر شتاب گرانشی) است. این آهنگ کند شدن می‌تواند برای انسان کشنده باشد یا در بهترین حالت آسیب شدیدی را به مغز وارد و او را دچار ضربه‌ی مغزی کند. پس چرا دارکوب با کوبیدن منقار خود به درخت، از درخت فرو نمی‌افتد یا نمی‌میرد یا بی‌هوش نمی‌شود؟

قوج‌های نر برای تعیین قلمرو خود در فصل جفت‌گیری، با کوبیدن شدید شاخ‌ها و سرشان، به یکدیگر حمله می‌کنند. با این حال، آن‌ها بی‌هوش روی زمین نمی‌افتند (اگر آن‌ها بی‌هوش بر روی زمین ولو می‌شدند، گوسفند‌های ماده توجهی به آن‌ها نمی‌کردند). شاید برخی از انواع دایناسورهای شاخ‌دار (از قبیل تراپسراتاپ‌ها<sup>۱۱</sup>) برخوردهای مشابهی را داشته‌اند. چرا این برخوردها، صدمه‌ای به قوج‌ها نمی‌زند؟

پاسخ: توانایی دارکوب برای تحمل این شتاب منفی عظیم، هنگام کوبیدن به درخت، به خوبی فهمیده نشده است، ولی دو نوع استدلال وجود دارد. (۱) حرکت دارکوب تقریباً در امتداد خط راست است. برخی از پژوهشگران بر این باورند که ضربه‌ی مغزی هنگامی در انسان و حیوانات به وجود می‌آید که سر به سرعت دور گردن (و ساقه‌ی مغزی) بچرخد، ولی احتمال آن در حرکت مستقیم الخط کمتر است. (۲) مغز دارکوب چنان خوب به مجموعه چسبیده است که درست پس از برخورد، حرکت اضافی یا نوسان مغز ناچیز است و احتمال پاره شدن بافتی که مجموعه را به مغز متصل می‌کند، وجود ندارد.

قوج‌هایی که شاخشان را به هم می‌کوبند را سه عامل محافظت می‌کند. (۱) شاخ‌های آن‌ها طوری خم شده‌اند که مدت برخورد را طولانی می‌کند و در نتیجه نیروی وارد در برخورد را کاهش می‌دهد. (۲) استخوان‌های مجموعه (استخوان‌های مجموعه‌ای) نیز دور محل‌های اتصال خود (درزها)<sup>۱۱</sup> به طور فنر-گونه یا لولوار می‌چرخند تا ضربه‌ی ناگهانی وارد بر سر را جذب کنند. (۳) بیشتر انرژی برخورد جذب عضله‌های قوی گردن حیوانات می‌شود. گرچه این برخوردها بسیار شدید به نظر می‌رسند، عضله‌ها و شاخ‌های حیوانات طوری تکامل یافته‌اند که شکستن شاخ یا آسیب رسیدن به مغز نامتحمل است. احتمالاً تراپسراتاپ‌ها نیز دستگاه سینوسی عریضی داشتند که مغز را می‌پوشاند و می‌توانست به صورت یک ضربه گیر عمل کند.

## داستان کوتاه بازی‌ها

در ژوئیه‌ی ۱۹۷۷، در دریاچه‌ی ال میراژ درای<sup>۱۲</sup> کالیفرنیا،

کیتی اونیل<sup>۱۳</sup> دو رکورد را برای تحمل شتاب<sup>۱۴</sup> در یک مسیر ۴۴۰ یاردی بر جای گذاشت. با شروع از حالت سکون، او به بیشترین سرعت حد (سرعت در پایان مسیر) ثبت شده رسید و همین‌طور رکورد کوتاه‌ترین زمان سپری شده را برابر ۳/۷۲۵ ساعت گذاشت. سرعت او مقدار حیرت‌آور ۵۴/۳۹۲ مایل بر ساعت (حدود ۶۳۲ کیلومتر بر ساعت) بود. شتاب متوسط او در طول مسیر ۱/۴۷ متر بر مجذور ثانیه، ۸۱/۴ برابر شتاب گرانی، یا به اختصار ۴/۸۱g بود.

در دسامبر ۱۹۵۴، دکتر جان استپ<sup>۱۵</sup> سرهنگ نیروی هوایی در پایگاه نیروی هوایی هولومن<sup>۱۶</sup> واقع در نیومکزیکو به صندلی یک سورتمه‌ی موشکی بسته شد که ۹ موشک در پشت آن قرار داشت. وقتی موشک‌ها پرتاب شدند، استپ و سورتمه به مدت ۵ ثانیه در مسیری به پیش رانده شدند و سرعت آن‌ها به ۶۳۲ مایل بر ساعت، حدود ۱۰۱۸ کیلومتر بر ساعت، رسید. شتاب او در حین پیش رانش تقریباً ۵۶/۴ متر بر ثانیه، یا ۵/۷۶g بود. این اعداد واقعاً چشمگیرند، ولی آزمون واقعی سرهنگ استپ، توقف توسط ترمزهای آبی بود، که فقط ۴/۱ ثانیه طول می‌کشید. او با آهنگ ۲۰/۶g کُند می‌شد (شتاب منفی می‌گرفت).

در ماه مه ۱۹۵۸، در یک سورتمه‌ی موشکی مشابه در هولومن، الی ال. بیدینگ جونور<sup>۱۷</sup> به سرعتی در حدود ۷۲/۵ مایل بر ساعت یا ۱۱۷ کیلومتر بر ساعت رسید. این سرعت را نمی‌توان مقدار قابل توجه‌ای دانست، زیرا این در برخی بزرگراه‌ها متداول است، ولی اهمیت آن به زمان شتاب گرفتنش برمی‌گشت. این زمان ۰/۴ ثانیه بود یعنی کمتر از یک چشم برهم زدن بود. شتاب ۸۲/۶g بیدینگ رکورد و وضعیت کنترل شده‌ای است که تاکنون بر جای مانده.

در ژوئیه‌ی ۱۹۷۷، در نورث همپتون شایر<sup>۱۸</sup> انگلستان، اتومبیل مسابقه‌ای دیوید پورولی<sup>۱۹</sup> برخورد کرد و در حالی که فقط ۲۶ اینچ را پیموده بود، سرعتش از ۱۰۸ مایل بر ساعت به صفر کاهش یافت. (سرعت اتومبیل ۱۷۴ کیلومتر بر ساعت و فاصله  $\frac{2}{3}$  متر بود.) شتاب منفی او ظاهراً برابر مقدار مرکب ۱۷۹/۸g بود، ولی با این حال با وجود ۲۹ شکستگی، سه درفتگی و تحمل شش ایست قلبی، جان سالم به در برد.

## برخورد رودرو

در یک تونل یک طرفه ناگهان متوجه می‌شوید که اتومبیلی در مسیر غلط، به طرف شما حرکت می‌کند. برای کم کردن خطر تصادف قریب الوقوع، آیا باید سرعت اتومبیل خود را برابر آن کنید، تندتر از او حرکت کنید یا کندتر، یا توقف کنید؟

تماشاچی برای دیدن این تصادم بلیط خریدند. و پس از آن که موتورها روشن و دریچه‌های بخار آن‌ها باز شد، لوکوموتیوها به طرف دیگر شتاب گرفتند. وقتی به یکدیگر رسیدند، با سرعتی در حدود ۹۰ مایل بر ساعت حرکت می‌کردند، که معادل ۱۴۵ کیلومتر بر ساعت است.

بر اثر ترکش تکه پاره‌های آهن، چندین تماشاچی کشته و صدها نفر زخمی شدند. احتمالاً بقیه‌ی جمعیت به اندازه‌ی ارزش پول خود از نمایش لذت بردند. حضور در نزدیکی چنین برخوردی، که در آن انرژی جنبشی قطارها به انرژی جنبشی تکه پاره‌های آهن تبدیل می‌شود، مثل این است که در محل انفجار یک بمب معمولی باشیم.

### برخورد از عقب و آسیب تازیانه<sup>۲۱</sup>

در برخورد از عقب، اتومبیلی به پشت اتومبیل دیگر می‌کوبد. ده‌ها سال است که مهندسان و پژوهشگران پزشکی به دنبال آن بودند که توضیح دهند چرا گردن سرنشین اتومبیل جلویی در این نوع برخورد آسیب می‌بیند. تا این که در دهه‌ی ۷۰ میلادی، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این آسیب ناشی از آن است که وقتی اتومبیل به جلو پرت می‌شود، سر سرنشین آن مانند تازیانه‌ای بر فراز صندلی جلو رو به عقب حرکت می‌کند، و از این رو «آسیب تازیانه» نام گرفت. ظاهراً بر اثر حرکت سر، گردن به میزان زیادی کشیده می‌شود. با توجه به این یافته، ضربه‌گیرهای سر برای اتومبیل‌ها ساخته شد، با این حال آسیب‌های حاصل از برخورد از عقب به سر هم چنان رخ می‌دهد. واقعاً چه عاملی باعث این آسیب‌ها می‌شود؟

پاسخ: علت اصلی آسیب تازیانه این واقعیت است که شروع شتاب گرفتن سر سرنشین به جلو، بر اثر شتاب گرفتن تنه‌ی او به تأخیر می‌افتد. بنابراین، وقتی سر در نهایت شروع به حرکت به جلو می‌کند، تنه دارای سرعت روبه جلوی قابل توجهی است. این تفاوت در حرکت‌های رو به جلو، فشار شدیدی را برگردن وارد می‌سازد و به آن آسیب می‌رساند. حرکت تازیانه‌ای روبه عقب سر بعدها در برخورد به وقوع می‌پیوندد و در صورتی که هیچ ضربه‌گیری برای سر وجود نداشته باشد، می‌تواند این آسیب را افزایش دهد.

### پیچ‌های پیست مسابقه‌های اتومبیل رانی

اتومبیل‌های سریع مسابقه‌ای اغلب به واسطه‌ی طرز کار اتومبیل و راننده در سر پیچ‌ها، که سرعت از همه‌جا کمتر است، برنده می‌شوند. یک پیچ ۹۰ رادر مسیری تخت در یک مسابقه‌ی فرمول ۱ در نظر بگیرید. بدیهی است که بهترین روش برای دور

برخورد رودررو و خطرناک‌ترین نوع تصادف است. طرفه آن که، اطلاعات به دست آمده از برخوردهای رودررو نشان می‌دهند که خطر (یا احتمال) هلاکت راننده در صورتی کمتر می‌شود که اتومبیل دارای سرنشین دیگری باشد. چرا چنین است؟

پاسخ: بهترین توصیه، توقف و، در صورت امکان، دنده عقب رفتن است. شدت برخورد را می‌توان با در نظر گرفتن انرژی جنبشی کل یا تکانه‌ی کل اتومبیل‌ها پیش از برخورد را به دست آورد. اگر سرعت خود به طرف اتومبیل دیگر را کم نکنید، هر دو کمیت بزرگ و در نتیجه برخورد بسیار شدید می‌شود.

این وضعیت برخلاف فوتبال [آمریکایی] است، که در آن یک بازیکن وقتی به طرف بازیکن دیگری می‌دود سرعت خود را زیاد می‌کند. فرق این دو مورد آن است که بازیکن می‌خواهد برخورد بسیار شدید کند، و با قرار دادن مناسب بدن خود می‌تواند برخورد را به نواحی آسیب‌پذیر بازیکن مقابل خود منتقل کند و یا این که باعث شود بازیکن مقابل تعادل خود را از دست داده و به زمین بیفتد. اطلاعات به دست آمده از برخوردهای رودررو نشان می‌دهد که با افزودن یک سرنشین به اتومبیل، خطر هلاکت کاهش می‌یابد. این خطر وابسته به تغییر سرعت در هنگام برخورد است: تغییر بزرگ به معنی قرار گرفتن در معرض شتاب شدید ناشی از یک نیروی شدید است. مثلاً اگر جرم اتومبیل شما کم و جرم اتومبیل دیگر زیاد باشد، سرعت شما می‌تواند به اندازه‌ای تغییر کند که در نهایت اتومبیل شما چپه شود. جرم بیشتر اتومبیل که می‌تواند ناشی از یک مسافر یا حتی یک کیسه‌ی شن در صندوق عقب باشد تغییر سرعت و در نتیجه، خطر هلاکت را کاهش می‌دهد. یک نتیجه‌ی عددی بدین قرار است: فرض کنید اتومبیل شما و اتومبیل دیگر، یکسانند، و جرم شما برابر راننده‌ی اتومبیل دیگر است. در صورتی که مسافری ۸۰ کیلوگرمی در اتومبیل شما نشسته باشد، احتمال هلاکت تا حدود ۹٪ کاهش می‌یابد.

### داستان کوتاه

#### بازی با لوکوموتیوها

۱۵ سپتامبر ۱۸۹۶، واکو، تگزاس: ویلیام کراش<sup>۲۲</sup> از مسووری کانزاس، و خطوط راه‌آهن تگزاس، ایده‌ای برای نمایش داشت. کراش ترتیبی داد تا دو لوکوموتیو از کار افتاده در دو طرف خط آهنی به طول ۴ مایل در برابر هم قرار گیرند. یکی به رنگ قرمز و دیگری به رنگ سبز رنگ آمیزی شده بود. ایده آن بود که لوکوموتیوها با بالاترین سرعت به یکدیگر برخورد کنند. خوب، هیچ چیز به اندازه‌ی خشنونت طرفدار ندارد، و ۵۰۰۰۰

زدن به ویژگی های ضبط و ربط اتومبیل، مهارت و تجربه ی راننده، و شرایط مسیر بستگی دارد. با این همه، آیا راننده باید در حالت کلی در سر پیچ مسیر دایره ای را طی کند؟ این گزینه معمولاً تضمین می کند که زمان سپری شده در پیچ کمینه می شود، ولی چرا می تواند بهترین گزینه نباشد؟

چرا راننده هایی که تجربه ی رانندگی در مسییرهای تخت مسابقه های فرمول ۱ را دارند وقتی در مسابقه ای شرکت می کنند که به مسیرهای با پیچ شیب دار می رسند، دچار در دسر می شوند؟ به ویژه، چرا این رانندگان وقتی وارد پیچ های شیب دار می شوند، مستعد خارج شدن از آن هستند؟

پاسخ: یک راننده ی مبتدی در مسیر دایره ای دور می زند. یک راننده ی ماهر وقتی که دور می زند ترمز می کند، سپس در حالی که شتاب می گیرد ناگهان مسیر با خمیدگی کمتر را اختیار می کند. این شیوه ی دور زدن زمان بیشتری می برد ولی به راننده امکان می دهد که با سرعتی بیشتر از راننده ی مبتدی، وارد مسیر مستقیم شود. تأثیر این سرعت بیشتر در مسیر مستقیم، بیشتر از زمان از دست رفته در پیچ است.

این شیوه ی دور زدن، مزیت دیگری نیز دارد. اگر با سرعت زیاد از پیچ بگذریم، اندازه ی نیروهای اصطکاک و اردبر چرخ ها از حد مجاز تجاوز می کند و بالغزش اتومبیل، کنترل آن از دست می رود. برای حفظ اصطکاک، راننده ی ماهر ابتدا ترمز می کند و فقط پس آن پیچ تند را دور می زند. چون شیب بقیه ی مسیر تدریجی و ملایم است، راننده می تواند بدون تجاوز از حد اصطکاک شتاب بگیرد.

یک راننده ی ماهر فرمول ۱ حس شهودی لازم برای درک نیرو و حرکت در هنگام دور زدن در یک پیچ تخت را دارد. [ولی] این حس در یک پیچ شیب دار کاملاً متفاوت است، و راننده ی فرمول ۱ احتمالاً با دور زدن بخش تند شیب، زمان بسیار بیشتری را سپری می کند.

### مسیرهای مسابقه ی دو

چرا مسابقه در مسیر مستقیم معمولاً سریع تر از مسابقه در مسیری خمیده به همان طول است؟ وقتی مسیر مسابقه تخت و بیضوی باشد، چرا دوندۀ خط بیرونی به دوندۀ خط درونی امتیاز دارد، گرچه مسافت های هر دو مسیر یکسان است؟ چرا سرعت دویدن در چنین مسیری به شکل بیضوی بستگی دارد؟

پاسخ: با ورود به مسیر خمیده، دونده کند می شود؛ با خروج از این مسیر، دونده دوباره تا سرعت اولیه در مسیر مستقیم شتاب می گیرد. در هر چرخشی، نیروی مرکزگرایی به سوی مرکز دوران لازم است. در این جا، نیروی مرکزگرا را نیروی اصطکاک و اردبر

کفش های دونده تأمین می کند. در مدتی که این نیروی درون سو به کفش ها وارد می شود، بدن دونده به طرف خارج پیچ متمایل می شود، به طوری که گویی به بیرون پرت می شود. بنابراین، دونده برای حفظ تعادل، از سرعت خود می کاهد تا با کاهش نیروها و تمایل به داخل، تمایل به بیرون پیچ را جبران کند. هرچه پیچ تندتر باشد، دونده باید بیشتر کند و خم شود. بنابراین، معمولاً کسی که در خط بیرونی (که خمیدگی کمتری دارد) می دود به کسی که در خط داخلی (که خمیدگی بیشتری دارد) می دود، امتیاز دارد.

وقتی مسیر تخت و بیضوی باشد، دویدن در بخش های خمیده است که سرعت دویدن را تعیین می کند. به طور کلی، در مسیر بیضوی عریض مسابقه ای سریع تر مسیر بیضوی باریک امکان پذیر است، زیرا خمیدگی بخش های مسیر بیضوی عریض کمتر از دورهای تند مسیر بیضوی باریک است. بهترین هندسه ی مسیر (البته غیر از یک مسیر مستقیم) دایره است؛ زیرا خمیدگی آن از هم کمتر است.

زیرنویس:

#### \*The Flying Circus of Physics

1. start-up wave
2. Phantom accident
3. release wave
4. bonding Properties
5. hydroplane
6. scuff mark
7. Carig Breedlove
8. Bonneville salt Flats
9. Sprit of America
10. Triceratop
11. sutures
12. El Mirage Dry Lave
13. Kitty O'Neil
14. dragster
15. John Stapp
16. Hollman
17. Eli L. Bedding Jr
18. Northamptonshire
19. David Purley
20. William Crush
21. whiplash injury

منبع:

The Flying Circus of Physics, Jearl Walker, John Wiley & Sons, 2007, Pages 1-7.





تاریخ علم

# ایران در المپیادهای علمی

سرپرست (فیزیکدان) است.

زبان رسمی المپیاد، روسی و انگلیسی است. پرسش‌ها به زبان‌های کشورهای شرکت‌کننده نیز ترجمه می‌شود. پانزدهمین المپیاد به وسیله یک تیم زبده در کشور میزبان تصحیح می‌شود، و سپس برای بررسی و اظهار نظر در اختیار سرپرستان هر کشور قرار می‌گیرد.

## تاریخچه المپیاد فیزیک در ایران

در تیرماه ۱۳۶۷ سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش که متولی امور المپیاد ریاضی در ایران بود، تصمیم گرفت برای نخستین بار یک گروه سه نفره مشتمل بر آقایان دکتر مهدی گلشنی، استاد و رئیس دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه صنعتی شریف تهران را به همراه آقای اصغر لطفی و احمد شیرزاد از کارشناسان گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی را به عنوان ناظر به نوزدهمین دوره‌ی مسابقات بین‌المللی المپیاد فیزیک به کشور اتریش اعزام کند.

این گروه پس از شرکت در این مسابقات و بررسی شرایط و مسایل موجود، و جنبه‌های گوناگون موضوع، تصمیم گرفت که برای برانگیختن شوق بیشتر میان دانش‌آموزان رشته ریاضی-فیزیک و نیز برای آگاهی بیشتر از مسائل و مباحثی که امروزه در سطح جهان به عنوان فیزیک دوره‌ی متوسطه مورد توجه است، کشورمان نیز در این مسابقات شرکت کند.

از این رو در بیست و دوم مهرماه ۱۳۶۷ با شرکت ۳۵۰۰ دانش‌آموز واجد شرایط، مسابقه‌ای در کل کشور تحت عنوان اولین المپیاد فیزیک برگزار گردید، و ۲۳ نفر از برگزیدگان آن مسابقه، تحت آموزش نظری و عملی قرار گرفتند.

در سال ۱۳۶۸ (۱۹۸۹ میلادی) در مرحله دوم مسابقات، ۵ نفر منتخب تیم ایران برای نخستین بار به بیستین المپیاد بین‌المللی فیزیک که در کشور لهستان برگزار می‌شد، اعزام شدند. در این مسابقات که جمعاً ۳۰ کشور شرکت کرده بودند، تیم ایران به مقام بیستم دست یافت و با دو مدال برنز و یک دیپلم افتخار به میهن بازگشت، و این خود افتخار کوچکی نبود که در اولین شرکت به یک چنین نتیجه‌ای در مقایسه با دیگر کشورها دست یافتیم.



منصور ملک عباسی  
مسئول اجرایی سابق واحد المپیاد

## تاریخچه‌ی مسابقات بین‌المللی المپیاد فیزیک

در ۳۸ سال قبل نخستین مسابقه المپیاد فیزیک در سال ۱۹۶۹ میلادی مطابق با ۱۳۴۸ شمسی با شرکت تعداد انگشت شماری از کشورهای بلوک شرق و به ابتکار کشور لهستان در شهر ورشو پایتخت این کشور برگزار شد.

در نخستین سال‌های برگزاری، این مسابقات تعداد کمی از کشورها شرکت داشتند. ولی در سال ۱۳۶۱ شمسی (۱۹۸۲ میلادی) جمعاً هفده کشور، اعضای تیم خود را به سیزدهمین المپیاد جهانی فیزیک اعزام نمودند.

در تابستان ۱۳۶۷ (۱۹۸۸ میلادی) اتریش میزبان ۳۰ کشور از سراسر جهان بود. در این دوره از مسابقات ناظرانی از کشورهای ایران، اسپانیا و دانمارک حضور یافته بودند. معمولاً قبل از اعزام هر تیم، یک سال قبل ناظری از کشور داوطلب در این مسابقات شرکت می‌کنند. سال‌های بعد به ترتیب، لهستان، هلند، کوبا، فنلاند و آمریکا برگزارکننده‌ی المپیاد مذکور شدند. مسابقات طی دو روز با سه پرسش نظری و یک آزمون عملی (۲ پرسش در آزمایشگاه) برگزار می‌شود. هر تیم، متشکل از ۵ دانش‌آموز و یک

بیست و یکمین المپیاد جهانی در کشور هلند، بیست و دومین و بیست و سومین المپیاد جهانی فیزیک به ترتیب در کشورهای کوبا و فنلاند برگزار شد و تیم های ۵ نفره شرکت کننده ایرانی در این سه دوره به ترتیب به مقام های چهاردهم، دوازدهم، و بیست و سوم دست یافتند.

جا دارد در همین جا از زحمات همه کسانی که در آبیاری نهال نوپای المپیاد فیزیک زحمت کشیده اند یاد بکنیم، و دعای خیری برای آقایان دکتر لطفی کارشناس مسئول وقت گروه فیزیک دفتر تألیف، مرحوم عطروش، مرحوم موسوی، خانم دکتر منیره رهبر، دکتر سپهری راد و دکتر شیرزاد، دکتر بهمن آبادی، دکتر اجتهادی و... داشته باشیم.

## یک رویداد جالب

سال ۱۳۷۲، بیست و چهارمین المپیاد جهانی فیزیک در کشور آمریکا برگزار می شد. آمادگی تیم ملی المپیاد فیزیک ایران به حدی بود که برای دریافت ویزای آمریکا به کشور ایتالیا سفر کردند، ولی دولت آمریکا از اعطای ویزا به تیم ایران و سرپرستان خودداری کرد و عملاً از حضور این تیم در این دوره از مسابقات نمانعت به عمل آورد. تلاش های بسیاری از سوی مسئولان وزارت آموزش و پرورش، وزارت امور خارجه جمهوری اسلامی ایران، انجمن فیزیک ایران و دیگر محافل علمی کشور صورت گرفت.

در اوایل مردادماه ۱۳۷۲ از جانب کمیته برگزارکننده المپیاد فیزیک آمریکا که نمی خواستند موضوع های سیاسی بین دولت ها به محافل علمی راه یابد، با ارسال فاکسی به سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش ضمن پوزش از تیم و کمیته المپیاد فیزیک ایران، پرسش های بیست و چهارمین المپیاد فیزیک را در اختیار سرپرست تیم ایران قرار دادند. این کمیته خواستار برگزاری آزمون المپیاد فیزیک از دانش آموزان ایرانی در تهران گردید، و اعلام نمود پس از استخراج نتایج متناسب با کسب امتیازات هر فرد جایزه مربوطه را اهداء خواهد کرد.

این پیشنهاد با حضور مسئولان واحد المپیاد و مسئولان وزارت آموزش و پرورش مورد بررسی و پذیرش قرار گرفت. و در تاریخ ۶ شهریورماه سال ۱۳۷۲ پس از یک دوره آمادگی کوتاه مدت ۵ نفر از دانش آموزان تیم المپیاد فیزیک طی مدت ۵ ساعت به پرسش های این مسابقه پاسخ دادند. در مراسم برگزاری مسابقه آقایان دکتر محمدعلی تخته‌چی، وزیر وقت آموزش و پرورش، دکتر غلامعلی حداد عادل معاون پژوهشی وقت این وزارت خانه، دکتر رضا منصوری رئیس انجمن فیزیک ایران و منصور ملک عباسی

مسئول اجرایی واحد المپیاد در آن زمان حضور داشتند.

نتایج مسابقات، همراه با اوراق مربوطه به کشور آمریکا ارسال شد. پس از گذشت ۱۰ روز کمیته المپیاد فیزیک آمریکا نتایج بررسی شده نهایی المپیاد فیزیک ایران را به صورت زیر اعلام داشت:

آقایان علیرضا شهیدزاده مدال طلا، مهدی یحیی نژاد مدال برنز، علیرضا فوزه، رحیم باقری و ساریز صفاریان هر کدام یک دیپلم افتخار.

شایان ذکر است در رده بندی تیمی، تیم ایران مقام بیست و یکم را در بخش نظری در بین ۳۷ کشور شرکت کننده به دست آورد. کمیته المپیاد فیزیک ایران در همان سال نخست، شرایط شرکت دانش آموزان را در این المپیاد به شرح زیر اعلام نمود.

۱. تحصیل در سال سوم دبیرستان در رشته ریاضی - فیزیک  
۲. میانگین نمرات امتحان دروس ریاضی (جبر، مثلثات، هندسه، ریاضیات جدید) در ثلث اول و ثلث دوم و نیز معدل درسی فیزیک در ثلث اول و دوم و سال سوم کمتر از ۱۶ نباشد.

با توجه به نیاز دانش آموزان انتخاب شده و نیز اعضای تیم به آموزش های نظری و عملی، معمولاً هر ساله یک دوره آموزشی به صورت یک کلاس ۴۰ نفره در تابستان تشکیل می گردد و تعدادی از آزمایشگاه های مجهز دانشگاه های تهران نیز همکاری صمیمانه ای را با المپیاد فیزیک از خود نشان می دهند. جا دارد از کسانی که از اعزام نخستین گروه ناظر به نوزدهمین المپیاد فیزیک به اتریش با المپیاد فیزیک همکاری خود را آغاز نمودند، یاد خیری بکنیم، آقای دکتر محمد سپهری راد، استاد دانشگاه شهید بهشتی تهران.

۲. آقای دکتر حسن عزیزی، عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی تهران

۳. آقای دکتر احمد شیرزاد، استاد دانشگاه صنعتی شریف تهران

۴. آقای سیدمهدی شیوایی، دبیر دبیرستان های تهران  
۵. آقای غلامعلی محمودزاده، مسئول گروه فیزیک دفتر برنامه ریزی و تألیف کتب درسی.

۶. آقای بهمن آبادی، عضو کادر علمی و آزمایشگاهی دانشگاه صنعتی شریف.

سال گذشته تیم المپیاد فیزیک ایران در سی و هفتمین المپیاد بین المللی فیزیک در کشور سنگاپور شرکت کرد و در رشته نظری او عملی، دانش آموزان ایرانی با کسب ۱ مدال طلا و ۴ مدال نقره به مقام هشتم دست یافتند. این مسابقات برای تیم ایران نوزدهمین حضور بوده است.

# جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۰۷ کشف مغناطو مقاومت های غول آسا

مترجم: منیژه رهبر



پتر گرونبرگ



آلبر فرت

شدند. در سال ۱۹۹۷ اولین هد مبتنی بر GMR به بازار آمد و به زودی فناوری استاندارد شد. حتی جدیدترین روش هایی که اکنون به کار می روند بر مبنای توسعه های بیشتر GMR هستند.

یک دیسک سخت اطلاعات را در ست مانند موسیقی در نواحی بسیار کوچک میکروسکوپی ذخیره می کند که در جهت های مختلف مغناطیسی شده اند. این اطلاعات را هدی بازیابی می کند که دیسک را می روید و تغییرات مغناطیسی را ثبت می کند. هر چه این دیسک کوچک تر و فشرده تر باشد، تک تک نواحی مغناطیسی کوچک تر و ضعیف تر خواهند بود. یک هد خواندن داده های مبتنی بر اثر GMR می تواند تغییرات مغناطیسی بسیار کوچک را به اختلاف مقاومت های زیاد و در نتیجه تغییر جریان گسیل شده از هد خواندن داده ها تبدیل کند. این جریان سیگنال خروجی از هد خواندن داده هاست و شدت های مختلف آن نشانگر صفرها و یک ها هستند. اثر GMR به واسطه ی روش های جدیدی کشف شد که در سال های ۱۹۷۰ برای تولید لایه های بسیار نازک مواد مختلف به وجود آمدند. اگر بخواهیم از GMR استفاده کنیم، باید

جایزه نوبل فیزیک امسال به آلبر فرت<sup>۱</sup> از دانشگاه پاریس و پتر گرونبرگ از مؤسسه ای در یولیش آلمان به خاطر فناوری خواندن داده های موجود بر روی دیسک سخت رایانه ها داده شد. این فناوری امکان مینیاتوری کردن بسیار زیاد این دیسک را در سال های اخیر فراهم کرده است و برای خواندن داده های موجود بر روی دیسک های سخت مورد استفاده در لپ تاپ ها و برخی از دستگاه های ضبط صوت به هدهای بسیار حساس به کار می رود. در سال ۱۹۸۸، آلبر فرت فرانسوی و پتر گرونبرگ آلمانی مستقل از یکدیگر پدیده های فیزیکی جدید مغناطو مقاومت های غول آسا<sup>۲</sup> یا GMR را کشف کردند. در یک دستگاه GMR تغییرات مغناطیسی بسیار ضعیف اختلاف مقاومت الکتریکی زیادی را به وجود می آورد. دستگاهی از این نوع ابزار کاملی برای خواندن داده ها از روی دیسک های سخت است که در آن اطلاعاتی که به صورت مغناطیسی ثبت شده اند باید به جریان الکتریکی تبدیل شوند. پس از این کشف پژوهشگران و مهندسان مشغول انجام کارهای لازم برای استفاده از این اثر در هدهای خواندن اطلاعات

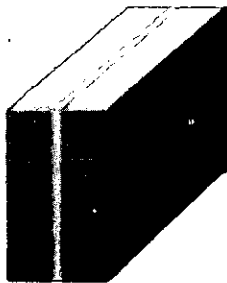
ساختارهایی فقط به ضخامت چند اتم را تولید کنیم. به این دلیل GMR را می توان یکی از اولین کاربردهای واقعی حوزه ی نویدبخش نانو فناوری به حساب آورد.

### پدیده ی مغناطو مقاومت

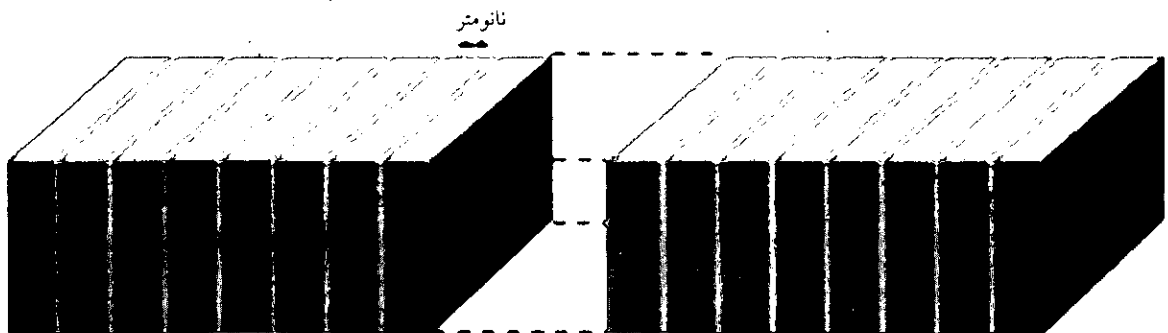
پدیده ی موسوم به مغناطو مقاومت (MR) تغییر مقاومت یک رسانا در هنگامی است که در میدان مغناطیسی خارجی قرار می گیرد. برای مواد فرو مغناطیسی مانند آهن، کبالت و نیکل این ویژگی به جهت میدان مغناطیسی نسبت به جهت عبور جریان از آهن را نیز بستگی دارد. درست ۱۵۰ سال قبل ویلیام تامسون<sup>۲</sup> (لرد کلوین) رفتار مقاومت آهن و نیکل در میدان مغناطیسی را اندازه گرفت. او این طور نوشت: «من متوجه شدم که وقتی آهن در معرض نیروی مغناطیسی قرار بگیرد، مقاومت آن در برابر رسانش الکتریکی در جهت خطوط مغناطیسی افزایش و مقاومت رسانش الکتریکی آن در عرض آن ها، کاهش می یابد». این اختلاف مقاومت موارد موازی و عرضی را مغناطو مقاومت ناهمسانگرد<sup>۳</sup> (AMR) می نامند. اکنون می دانیم که این ویژگی ناشی از جفت شدگی اسپین-مدار الکترون است. به طور کلی، اثرهای مغناطو مقاومت بسیار کوچک و حداکثر در حدود چند درصد هستند.

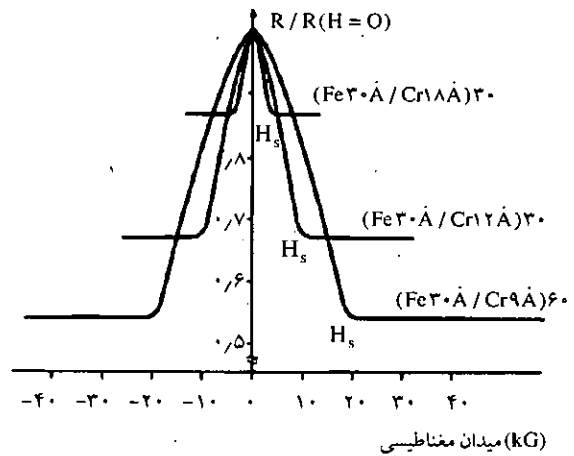
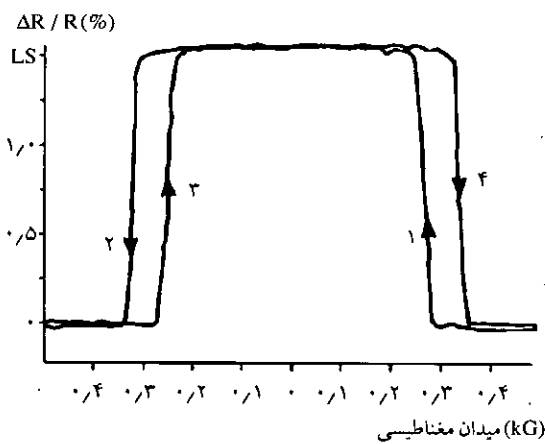
اثر MR در فناوری، به ویژه در هدهای خواندن داده های دیسک های مغناطیسی و به عنوان حسگرهای میدان مغناطیسی اهمیت زیادی دارد. مفیدترین ماده در این مورد یک آلیاژ آهن و نیکل  $Fe_{80}Ni_{20}$  (پرمالوی)<sup>۴</sup> است. با این همه، به طور کلی پس از کار لرد کلوین بهبود قابل ملاحظه ای در طرز کار این نوع مواد صورت نگرفته بود. نظر اکثریت در سال های ۱۹۸۰ این بود که نمی توان طرز کار حسگرهای مغناطیسی مبتنی بر مغناطو مقاومت را به صورت قابل ملاحظه ای بهبود بخشید.

بنابراین وقتی در سال ۱۹۸۸ دو گروه پژوهشی مستقل موادی را کشف کردند که مغناطو مقاومت های بسیار زیادی را از خود نشان می داد و اکنون به GMR موسومند، شگفتی بسیاری به وجود آمد. این مواد را چند لایه های مغناطیسی نیز می نامند که در آن ها لایه های مواد فرو مغناطیسی و فلزهای غیر مغناطیسی روی هم انباشته می شوند (شکل ۱). عرض هر لایه در حدود نانومتر- یعنی فقط به ضخامت چند اتم است. در آزمایش های اولیه ای که به کشف GMR انجامید یک گروه به رهبری پتر گرونبرگ دستگاه سه لایه ای Fe/Cr/Fe را استفاده کرد، در حالی که گروه دیگر به ریاست آلبرفت چند لایه های به صورت  $(Fe/Cr)_n$  را به کار برد که در آن n می توانست به بزرگی ۶۰ باشد.



شکل ۱- نمایش نموداری چند لایه های مغناطیسی. لایه های آهن (خاکستری) به ضخامت نانومتر را فلز دیگر (مثلاً کروم یا مس) از هم جدا می سازد. شکل بالا سه لایه ای Fe/Cr/Fe گروه گرونبرگ و چند لایه ای پایین  $(Fe/Cr)_n$  چند لایه ای گروه فرت را نشان می دهد.





شکل ۲- سمت راست: اندازه گیری های مغناطو مقاومت فرت (۴/۲K) برای دستگاه چند لایه ی  $(Fe/Cr)_n$  در منتهی الیه راست ( $H_s >$ )، که  $H_s$  میدان اشباع است) و همین طور منتهی الیه چپ ( $-H_s <$ ). مغناطیدگی تمام لایه های آهن موازی میدان مغناطیسی خارجی است، در ناحیه میدان کم هر لایه ی آهن پاد موازی با میدان مغناطیسی خارجی مغناطیده شده است.  $1 \text{ kG} = 100 \text{ Oe}$ . سمت چپ: اندازه گیری های مغناطو مقاومت گروه گرونبرگ (در دمای اتاق) برای دستگاه  $Fe/Cr/Fe$ . در منتهی الیه طرف راست و همین طور منتهی الیه طرف چپ مغناطیدگی در لایه ی آهن موازی میدان خارجی است. در ناحیه ی میانی مغناطیدگی دو لایه ی آهن پاد موازی هستند. آزمایش ها رفتار پسمانی مشخصه ی اندازه گیری های مغناطیدگی را از خود نشان می دهند.

پژوهش در حوزه ی لایه های نازک مغناطیسی به مغناطو الکترونیک تغییر جهت داد.

کشف مغناطو مقاومت غول آسا بلافاصله دریچه های جدیدی را به گنجینه ای از امکانات علمی و فنی، از جمله تأثیر شدید بر روش ذخیره ی اطلاعات و حسگرهای مغناطیسی، گشود. هزاران دانشمند در سراسر جهان اکنون درباره ی پدیده های مغناطو الکترونیک و بهره برداری از آن ها کار می کنند. حکایت اثر GMR مثال خوبی از این موضوع است که چگونه یک کشف علمی غیرمنتظره می تواند سبب به وجود آمدن محصولات فنی و تجارتي کاملاً جدید شود.

در شکل ۲ اندازه گیری های گروه گرونبرگ (سمت چپ) همراه با اندازه گیری های گروه فرت (سمت راست) نشان داده شده است. محورهای x و y نشانگر تغییر مقاومت و میدان مغناطیسی خارجی است. آزمایش ها مغناطو مقاومت منفی قابل ملاحظه ای را برای سه لایه و نیز چند لایه ها نشان می دهد. دستگاه سمت راست که توده ای از لایه ها است، افزایش مقاومت ۵۰٪ را در میدان مغناطیسی نشان می دهد. برای دستگاه طرف چپ این اثر بسیار کوچک تر است زیرا گرونبرگ نه تنها از سه لایه استفاده کرد بلکه آزمایش ها را در دمای اتاق انجام داد، در حالی که آزمایش های فرت و همکاران در دمای بسیار کم (۴/۲K) صورت گرفت.

گرونبرگ اندازه گیری های مربوط به دستگاه متشکل از سه لایه ی آهن را که با دو لایه ی کروم از هم جدا شده بودند نیز گزارش داده که در آن کاهش مقاومت ۱۵٪ را مشاهده کرده است.

فرت و گرونبرگ نه تنها افزایش شدید مغناطو مقاومت را اندازه گرفتند بلکه این پدیده را به عنوان پدیده ای جدید مشخص کردند که منشأ آن کاملاً جدید بود. در عنوان مقاله ی اولیه گروه فرت اثر مشاهده شده به صورت «مغناطو مقاومت غول آسا» مشخص شده بود. گرونبرگ نیز بلافاصله متوجه امکانات و کاربردهای این پدیده در فناوری شد و این کشف را ثبت کرد. از همین لحظه بود که

زیرنویس:

1. Albert Fret
2. Peter Grunberg
3. Giant Magnetoresistance
4. William Thomsom
5. Anisotropic Magnetoresistance
6. Permalloy

منبع:

[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2007](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2007)



# مقاومت الکتریکی و روش‌های ساخت و تعیین مقدار مقاومت

گردآوری: علی اصغر محبی  
دبیر فیزیک- منطقه خور و بیابانک

PTC و NTC ناخواسته است. معمولاً وابستگی مقدار مقاومت به ولتاژ ناچیز است اما در ولتاژهای بالا این وابستگی نامناسب است. از این وابستگی برای بالا بردن کیفیت دستگاه‌های صوتی استفاده‌هایی می‌شود. وابستگی مقدار مقاومت به ولتاژ در مقاومت‌های مخلوط کربن بیش از مقاومت‌های لایه کربن و لایه فلز به چشم می‌خورد. مقاومت‌های حقیقی دارای خاصیت القایی و خازنی نیز هستند. دیگر مشخصه غیر ایده‌آل بودن مقاومت، عامل نوفه است که در مقاومت‌های کربنی بر اثر اتصال هزاران ذره به وجود می‌آید.

روزی به یکی از همکاران فرهنگی برخوردم. گفت یکی از دانش‌آموزان یک مقاومت ۵ رنگ به من نشان داده و روش تعیین آن را پرسیده است. تعیین مقدار این مقاومت چگونه است؟ گفتم فعلاً نمی‌دانم اما جواب آن را پیدا می‌کنم. به همین علت به دنبال جواب رفتم. این مقاله پاسخی به این گونه پرسش‌هاست.

## الف- دلایل استفاده از مقاومت

از مقاومت الکتریکی در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی استفاده می‌شود. این قطعه در انگلستان و اروپا با نماد  $\square$  و در آمریکا و ژاپن با نماد  $\sim$  نشان داده می‌شود. شاید ساده‌ترین پاسخ برای استفاده از آن، تنظیم یا محدود کردن جریان باشد اما دلایل دیگری نیز وجود دارند که عبارتند از:

- ۱- ایجاد یک نسبت معین بین جریان و ولتاژ
- ۲- محدود کردن جریان به منظور محافظت قسمتی از مدار
- ۳- تنظیم سرعت موتورهای DC
- ۴- در تضعیف‌کننده برای کاهش ولتاژ یک سیگنال
- ۵- در انتهای خط انتقال برای تطابق امپدانس (مقاومت ظاهری)
- ۶- در LDR (قطعه‌ای که مقاومت آن به نور بستگی دارد)

۷- تولید گرما

## ج- انواع مقاومت

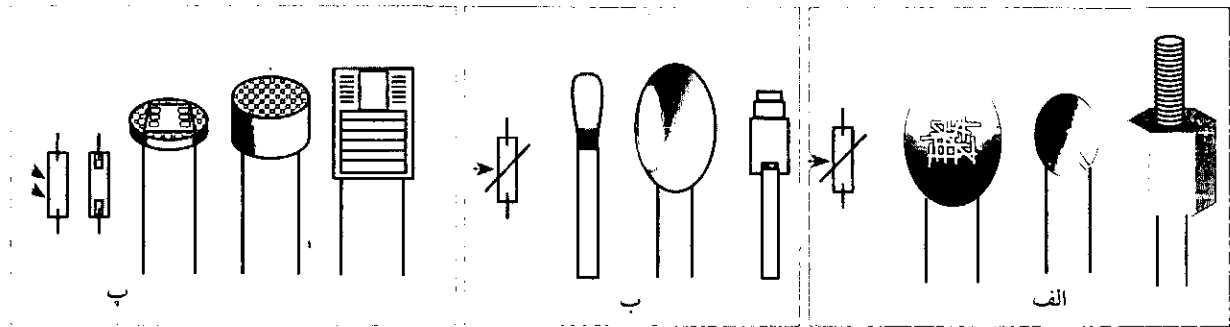
- مقاومت ثابت: مقاومتی است که مقدار ثابتی دارد.  
- مقاومت متغیر: مقاومتی است که مقدار آن ثابت نیست، با عوض شدن بعضی شرایط مقدار آن تغییر می‌کند و تغییرات آن ممکن است خطی یا غیر خطی باشد و به شکل رئوستا و پتانسیومتر ساخته می‌شود. رئوستا برای توان‌های بالا و پتانسیومتر برای توان‌های پایین ساخته می‌شود.

## انواع مقاومت‌های متغیر غیر خطی

\* مقاومت‌هایی که مقدار آن‌ها با تغییر ولتاژ تغییر می‌کند  
MOV (Metal Oxide Varistor)  
\* مقاومت‌هایی که مقدارشان با تغییر دما، تغییر می‌کند یعنی ترمیستورها (مقاومت‌های حساس به دما)  
۱- NTC (Negative Temperature Coefficient Thermistor)  
مقاومتی با ضریب دمایی منفی است که مقدار آن با افزایش دما،

## ب- مقاومت ایده‌آل و غیر ایده‌آل

مقاومت ایده‌آل مقاومتی است که مقدار آن بدون توجه به تغییرات جریان یا ولتاژ ثابت می‌ماند. مقاومت غیر ایده‌آل مقاومتی است که مقدار آن با تغییر دما یا ولتاژ تغییر می‌کند که به جز در موارد



شکل ۱. مقاومت های غیر خطی الف. NTC ب. PTC پ. LDR

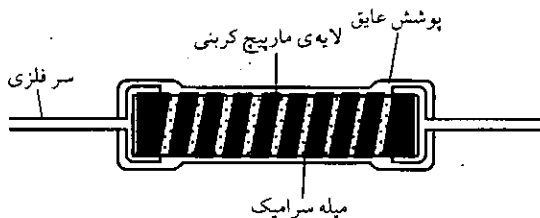
این مقاومت ها بهترین دقت و پایداری را دارند. چون ضریب دمایی مقاومت (TCR) در آن ها فوق العاده کم است.

شکل ۲ نمونه ای از مقاومت لایه کربن است. در این روش لایه ای از کربن روی میله سرامیکی به صورت مارپیچ قرار داده می شود و لایه نارسیدن مقاومت به مقدار دلخواه افزایش می یابد. سپس مقاومت در یک ماده عایق پوشانده می شود و نوارهای رنگی روی آن درج می شود.

بیشتر مقاومت هایی که روی سطح سوار می شوند (SMD: Surface Mounted Devices) از این نوع هستند. تفاوت مقاومت های لایه نازک و لایه ضخیم در ضخامت لایه پوشش داده شده نیست بلکه مربوط به روش پوشش لایه است. در مقاومت های لایه ضخیم پوشش دادن بر روی بدنه تشکیل دهنده مقاومت با روش های سنتی انجام می شود حال آن که در مقاومت های لایه نازک، لایه مقاومت دار با روش پرتاب در خلأ انجام می شود. چون مدت زمان پوشش دادن لایه با دقت کنترل می شود، ضخامت لایه نیز با دقت کنترل می شود. در پایان معمولاً به وسیله لیزر یا یک دستگاه ساینده عمل پردازش انجام می شود. خطای مقاومت های لایه ضخیم ۵٪ بود که پس از بهبودی به ۱٪ تا ۲٪ رسیده است. اما خطای مقاومت های لایه نازک از ۱٪ تا ۰.۱٪ است که ضریب دمایی آن ها نیز کوچک است.

نوع ماده ی مورد استفاده متفاوت است. می توان به جای سرامیک از مخلوطی از شیشه و یک ماده رسانا از نیتريد تانتالیم (TaN)، دیوکسید روییدیم (RuO<sub>۲</sub>)، اکسید سرب (PbO)، نیکل کرومیوم (NiCr) نیز استفاده کرد.

نوع دیگری از مقاومت های لایه ای، مقاومت های لایه فلز



شکل ۲.

کاهش می یابد. از این مقاومت برای کنترل دما (مانند دمای آب رادیاتور اتومبیل) استفاده می شود. مقدار این مقاومت با این فرمول محاسبه می شود:

$$R = R_0 \cdot \exp\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

B ضریب دماست.

### ۲- PTC (Positive Temperature Coefficient Thermistor)

مقاومتی با ضریب دمایی مثبت است که مقدار آن با افزایش دما، افزایش می یابد. از این نوع مقاومت در مدارهای تلوویزیون برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی پیچه هنگام روشن شدن تلوویزیون استفاده می شود.

### ۳- CTR (Critical Temperature Resistor Thermistor)

مقاومتی است که مقدار آن با گرم شدن مقاومت تا یک دمای خاص، ناگهان افت می کند.

### \* LDR (Light Dependent Resistors)

مقاومتی است که مقدار آن با افزایش نور، کاهش می یابد.

### \* VDR (Voltage Dependent Resistor)

مقاومتی است که مقدار آن پس از گذشتن ولتاژ از یک مقدار خاص، کاهش می یابد.

## د- انواع مقاومت از نظر ساختار

### ۱- مقاومت های مخلوط کربن

مقاومتی است که از یک ماده جامد مقاومت دار ساخته می شود و در دو سر آن دو سیم جهت اتصال تعبیه می شود. ماده مقاومت دار از مخلوط پودر بسیار نرم کربن (یک رسانای ضعیف) و یک ماده عایق، معمولاً سرامیک، ساخته می شود. افزایش تراکم کربن باعث کاهش مقاومت می شود. این مقاومت ها از سال های ۱۹۶۰ و قبل از آن استفاده می شود. اما امروزه از این مقاومت ها استفاده زیادی نمی شود چون وقتی تحت ولتاژ بالایی قرار گیرند مقدارشان تغییر می کند:

### ۲- مقاومت های لایه ای

مقاومت های لایه ای ضخیم در سال های ۱۹۷۰ مرسوم بودند.

روی آن‌ها نوشته نمی‌شود اما ابعاد مقاومت‌ها نشان‌دهنده توان آن‌هاست. مقاومت‌هایی که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند  $\frac{1}{4}$

وات و  $\frac{1}{2}$  وات هستند اما توان‌های پایین‌تر  $\frac{1}{8}$  و  $\frac{1}{16}$  وات و توان‌های بالاتر ۱ و ۲ و ۵ وات و غیره نیز موجودند. توان مقاومت مورد استفاده از رابطه  $P = V^2 / R$  به دست می‌آید. به عنوان مثال برای مقاومت ۲۲۰ اهمی که در ولتاژ ۹ ولت کار می‌کند توان

$0.5$  وات مناسب است. چون  $P = \frac{9^2}{220} = 0.368$  است. به جای

هر مقاومت می‌توان مقاومتی با توان بیشتر استفاده کرد اما باید توجه داشت که ابعاد آن بزرگ‌تر می‌شود.

شکل‌های ۳ رابطه ابعاد و توان مقاومت را نمایش می‌دهد.

### و - استانداردهای مقاومت

در ساخت مقاومت‌ها از چندین استاندارد استفاده می‌شود.

از مشهورترین استانداردها سری‌های E هستند که عبارتند از:

E6, E12, E24, E48, E96, E192

عدد ۱۲ در سری E12 مشخص می‌کند که در این سری، ۱۲

مقاومت بین ۱۰ تا ۱۰۰ وجود دارد که عبارتند از:

۱۰، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۲، ۲۷، ۳۳، ۳۹، ۴۷، ۵۶، ۶۸، ۸۲

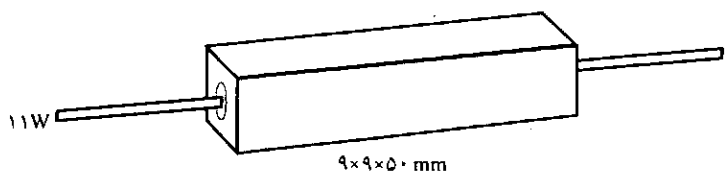
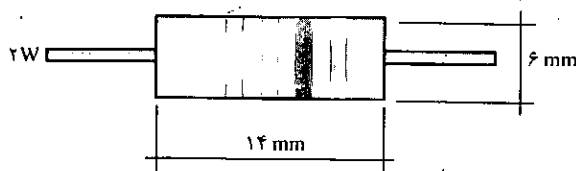
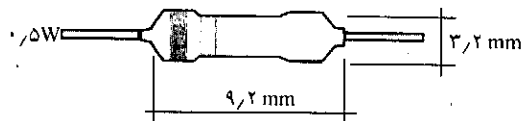
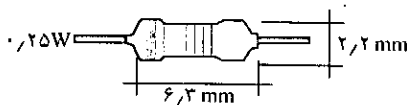
هستند. در این مقاومت‌ها معمولاً از لایه نیکل کروم (NiCr) استفاده می‌شود و روش لایه‌نشانی می‌تواند متفاوت از روش‌های قبل باشد. MELF (Metal Electrode leadless Face): الکتروود فلزی و رخ بدون اتصال) نیز یکی از مقاومت‌های لایه‌ای است. در این مقاومت‌ها لایه بر روی یک سطح استوانه‌ای نشانده می‌شود. خطای این مقاومت‌ها ۰/۵٪ تا ۲٪ است.

### ۳- مقاومت‌های سیمی

مقاومت‌های سیمی که از پیچیدن سیم بر روی یک استوانه سرامیکی، پلاستیکی یا فایبرگلاس ساخته می‌شوند، دارای دقت بالایی هستند و برای استفاده در دستگاه‌های اندازه‌گیری و نوسان‌نماها مناسب هستند. مجموعه، درون لایه‌ای از رنگ یا موادی که در دمای بالا پخته شده‌اند جاسازی می‌شود. از یک رادیاتور آلومینیومی برای توان‌های بالا استفاده می‌شود. اگر این مقاومت‌ها بدون تابشگر باشند در توان‌های پایین‌تر، حتی حدود یک پنجاهم توان نامی خود، بیش از حد گرم می‌شوند.

### ه - توان مقاومت‌ها

وقتی جریانی از یک مقاومت می‌گذرد آن مقاومت گرم می‌شود و در مدت زمان طولانی ممکن است آسیب ببیند. توان مقاومت‌ها



شکل ۳.



در سری E24 علاوه بر مقاومت های سری E12 مقاومت های دیگری نیز وجود دارند که عبارتند از:

۱۱،۱۳،۱۶،۲۰،۲۴،۳۰،۳۶،۴۳،۵۱،۶۲،۷۵،۹۱

گستره ی دمایی کار مقاومت ها نیز متفاوت است. در موارد اقتصادی و تجاری صفر تا +70 درجه سانتی گراد، در صنعت 40- تا +85 درجه سانتی گراد و در مصارف نظامی 55- تا +125 درجه سانتی گراد است.

سوم تعداد صفرها را نشان می دهد به طوری که مثلاً رنگ نارنجی مقاومت ها حدود کیلو اهم را نشان می دهد. خطای این مقاومت ها معمولاً ۲٪، ۵٪ و ۱۰٪ است. در مقاومت های ۵ نواری نوار چهارم تعداد صفرها را نشان می دهد. خطای این مقاومت ها کمتر است و معمولاً ۱٪، ۰/۲۵٪، ۰/۵٪ و ۱٪ است. این مقاومت ها گران تر هستند.

- در برخی مقاومت ها نوار پنجم مربوط به ضریب دمایی مقاومت است.

- اما در مقاومت های SMD استوانه ای، نوار ششم ضریب دمایی مقاومت را نشان می دهد.

- در مقاومت های استاندارد SMD مسطح به جای نوارهای رنگی از ارقام درج شده روی آن ها مقدار مقاومت تعیین می شود. در مقاومت هایی که عدد سه رقمی روی آن ها درج می شود، دو رقم اول ارقام عدد و رقم سوم تعداد صفرها را نشان می دهد. در تعداد کمی از این مقاومت ها، 4 رقم نوشته می شود. به عنوان مثال:

$$683 = 68000 \Omega = 68k\Omega$$

- در بعضی مقدار و مشخصات به صورت مثلاً 5R4 نوشته می شود که محل R، محل ممیز عدد را نشان می دهد و مقدار برحسب اهم است.

$$5R4 = 53/4\Omega$$

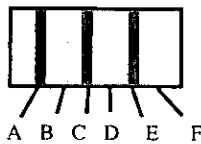
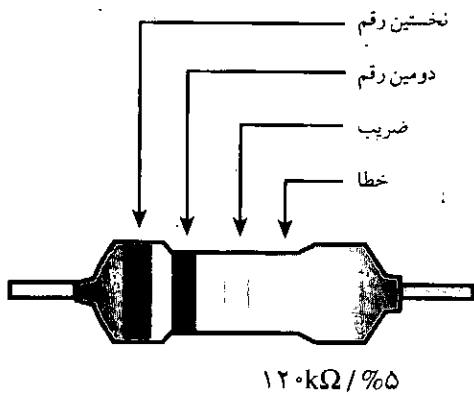
## ۲- تعیین مقدار مقاومت

اگر بخواهیم مقدار دقیق یک مقاومت را تعیین کنیم باید از اهم سنج آنالوگ یا دیجیتال استفاده کنیم اما وقتی در یک مجموعه مقاومت به دنبال یک مقاومت می گردیم اندازه گیری تک تک مقاومت ها خیلی مشکل است بنابراین از کدهای رنگی استفاده می شود. در مقاومت های استاندارد برای تعیین مقدار و خطای مقاومت از نوارهای رنگی که بر روی بدنه آن ها درج می شود استفاده می کنند. جدول کدهای رنگی تعیین مقدار مقاومت ها در زیر آمده است که اگر دقت کنیم از قرمز تا آبی براساس طیف رنگی نور سفید است.

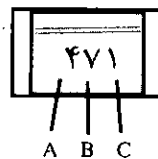
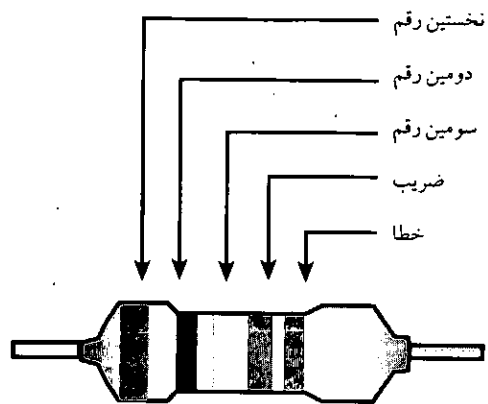
- در مقاومت های 4 نواری، 3 نوار اول از سمت چپ (طرفی که نوارها به سر مقاومت نزدیک تر است) اندازه مقاومت و نوار چهارم خطای مقاومت را نشان می دهد. در این مقاومت ها نوار

جدول ۱. کدهای رنگی در مقاومت ها

رنگ نوار	کد نوار رنگی	توان ده تعداد صفرها (ضریب)	خطا $\pm\%$	ضریب دمایی TCR $\pm 10^{-6} / K$
سیاه	۱	۱۰	$\pm 1\%(F)$	$\pm 10 \times 10^{-6} / K$
قهوه ای	۲	۱۰۰		
نارنجی	۳	۱۰۰۰		$\pm 15 \times 10^{-6} / K$
زرد	۴	۱۰,۰۰۰		$\pm 25 \times 10^{-6} / K$
سبز	۵	۱۰۰,۰۰۰	$\pm 0.5\%(D)$	
آبی	۶	۱,۰۰۰,۰۰۰	$\pm 0.25\%(C)$	$\pm 10 \times 10^{-6} / K$
بنفش	۷	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	$\pm 0.1\%(B)$	$\pm 5 \times 10^{-6} / K$
خاکستری	۸	۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰	$\pm 0.05\%(A)$	
سفید	۹	۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰		$\pm 1 \times 10^{-6} / K$
طلایی		۰/۱	$\pm 5\%(J)$	
نقره ای		۰/۰۱	$\pm 10\%(K)$	
بدون رنگ			$\pm 20\%(M)$	



A : نخستین رقم  
 B : دومین رقم  
 C : سومین رقم  
 D : ضریب  
 E : خطا  
 F : ضریب دما  
 ۶۳۴Ω / %۱



A : نخستین رقم  
 B : دومین رقم  
 C : تعداد صفرها  
 ۴۷۱

۴۷۰Ω

شکل ۴.

\* F کد خطای مقاومت است که در این مورد ۱٪ است.  
 \* G کد خطای مقاومت است که در این مورد ۲٪ است.  
 \* J کد خطای مقاومت است که در این مورد ۵٪ است.  
 \* K کد خطای مقاومت است که در این مورد ۱۰٪ است.  
 \* M کد خطای مقاومت است که در این مورد ۲۰٪ است.  
 بنابراین RN۶۰D۱۰۰۱F یک مقاومت ۱۰۰۰ اهمی از نوع لایه  
 کربن با توان  $\frac{1}{8}$  وات با ضریب دمایی  $200 \text{ PPM}/^\circ\text{C}$  و خطای ۱٪  
 است.

منابع:

- <http://www.mikroe.com/en/books/keu/01.htm>
- <http://www.mikroe.com/en/books/keu/01.htm>
- <http://www.teamsaber.com/john/ee/resistor.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Resistor>
- <http://www.doctrionics.co.uk/resistor.htm>
- [http://www.create-online.net/Tutorials/Resistor\\_Color\\_code\\_2/resistor\\_colorcode.htm](http://www.create-online.net/Tutorials/Resistor_Color_code_2/resistor_colorcode.htm)

در صورتی که حرف K درج شود برحسب کیلو اهم و در مورد  
 M برحسب مگا اهم است.

$$2M2 = 2/2M\Omega$$

$$2K2 = 2/2k\Omega$$

- در نمونه دیگری مقدار مقاومت با کدهای حرفی و رقمی تعیین  
 می شود. به عنوان مثال: RN۶۰D۱۰۰۱F  
 \* RN نوع مقاومت را نشان می دهد که در این مورد مقاومت  
 لایه کربن با پایداری بالا است. RCR مقاومت کربنی است و RW  
 مقاومت سیمی ثابت است.

\* ۶۰ کد توان مقاومت است که در این مورد  $\frac{1}{8}$  وات است.

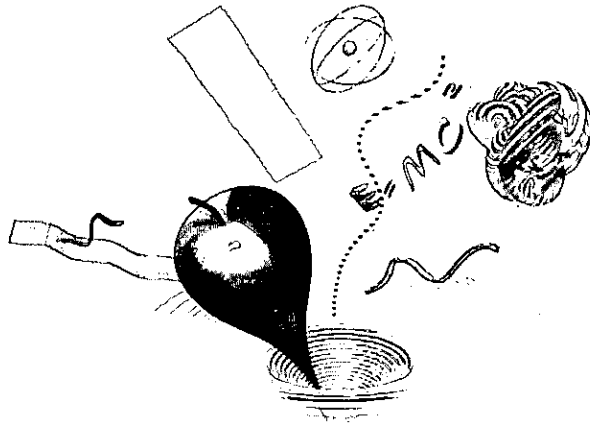
۱۰ کد مربوط به  $\frac{1}{4}$  وات و ۲۵ کد مربوط به ۱ وات است.

\* D کد ضریب دمایی مقاومت است که در این مورد برابر

$200 \text{ PPM}/^\circ\text{C}$  است.

\* ۱۰۰۱ مقدار مقاومت است که رقم چهارم تعداد صفرها را

نشان می دهد.



## لیزر ویروس‌ها را در خون منفجر می‌کند

مترجم: منیژه رهبر

یک گروه پژوهشی متشکل از یک پدر و پسر که در آزمایشگاه‌های مختلف کار می‌کنند روش جدیدی را برای پاک کردن خون از ویروس‌ها پیدا کرده‌اند. در این روش که نویدبخش ضد عفونی کردن خون برای انتقال آن است از یک باریکه لیزر کم توان استفاده می‌شود که تب آن فقط کسری از ثانیه تداوم دارد. شاو وی دیوید دزن<sup>۱</sup> که دانشجوی دانشگاه جان هاپکینز است می‌گوید که این فکر در هنگام قدم زدن در پارک با پدرش به وجود آمد. دزن که پژوهشگر ایمنی‌شناسی در آزمایشگاه تی. سی. وی<sup>۲</sup> در مرکز سرطان کیمبل در هاپکینز است در جستجوی روش جدیدی برای خلاص شدن از دست عامل‌های بیماری‌زای خطرناک مانند ویروس‌های HIV و هپاتیت C است. او می‌گوید که روش‌های جدید استفاده از پرتوهای UV و رادیو ایزوتوپ‌ها ردی از اجزای جهش یافته یا آسیب دیده در خون به جا می‌گذارد.

استفاده از ارتعاش‌های فراصوتی برای نابود کردن ویروس‌ها یک راه ممکن است، اما پدرش کونگ-تون-دزن<sup>۳</sup> که متخصص

لیزر در دانشگاه ایالتی آریزوناست فکر بهتری داشت؛ لیزرها، برخلاف امواج فراصوتی می‌توانند در آب جذب کننده‌ی انرژی اطراف ویروس‌ها نفوذ کرده و عامل‌های بیماری‌زا را به ارتعاش درآورند.

پژوهشگران لیزر کم توانی را با تب‌هایی به مدت ۱۰۰ فمتوثانیه ( $10^{-13}$  ثانیه) به طرف لوله‌های شیشه‌ای نشانه گرفتند که حاوی ویروس‌هایی در آب نمک رقیق بود که باکتری‌ها را عفونی می‌کند و باکتریوپاگاز هم خوانده می‌شوند. مقدار ویروس واگیردار در هر مکعب پس از لیزر درمانی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر کاهش یافت. دزن جوان گفت: «آزمایش را چندبار تکرار کردم تا خود را متقاعد سازم که لیزر به خوبی کار کرده است».

لیزر مورد استفاده‌ی آن‌ها با لیزر نور مرئی که باریکه‌ی پیوسته‌ای را گسیل می‌کند تفاوت دارد. این لیزر تب سریعی را گسیل می‌دارد و سپس استراحت می‌کند تا محلول اطراف ویروس خنک شود. این موضوع آسیب گرمایی به اجزای مختلف خون را به طور قابل ملاحظه‌ای کم می‌کند.

باتوجه به این مطلب که ارتعاش پوسته‌ی خارجی ویروس را از بین می‌برد دانشمندان دریافتند که لیزر کم توان آن‌ها ویروس را

## روش لیزری به بازتعریف کلون کمک می‌کند

ترجمه: علی اصغر محبی

فیزیکدانان در فرانسه با بهره‌گیری از طیف‌نمایی لیزری اولین اندازه‌گیری مستقیم ثابت بولتزمن را انجام دادند. روش جدید که شامل مشاهده‌ی چگونگی جذب نور در مولکول‌های آمونیاک است فعلاً دقتی بسیار کم‌تر از روش‌های موجود اندازه‌گیری این ثابت دارد. با این همه، پژوهشگران اطمینان دارند که به راحتی می‌توان دقت آن را بهبود بخشید و روشی جدید برای تعریف بهتر یکای کلون دما به وجود آورد (فیزیکال ریویو لترز<sup>۲</sup>، ۹۸۲۵۰۸۰۱).

ثابت بولتزمن،  $K_B$ ، یک ثابت بنیادی طبیعت است که انرژی جنبشی مجموعه‌ای از ذرات میکروسکوپی - مانند مولکول‌های گاز - را به دمای آن مرتبط می‌سازد، در نتیجه، حلقه‌ی رابط مهمی را بین دنیای میکروسکوپی اتم‌ها و مولکول‌ها و ویژگی‌های ماکروسکوپی مانند فشار به وجود می‌آورد. تاکنون فقط یک روش - اندازه‌گیری سرعت صوت در آرگون - می‌توانست  $K_B$  را با دقت حدود ۲ بخش در میلیون (ppm) تعیین کند. روش‌های دیگر تعیین  $K_B$  از جمله اندازه‌گیری نوفه در یک مقاومت، تعیین ثابت دی‌الکتریک یک گاز، و اندازه‌گیری تابش گسیل شده از جسم سیاه تاکنون نتوانسته‌اند به دقت ppm برسند.

داشتن تعدادی اندازه‌گیری مستقل از  $K_B$  - بر مبنای روش‌هایی که دارای خطاهای سیستماتیک متفاوتند - در سطح ppm برای کمیته بین‌المللی اوزان و اندازه‌گیری‌ها (PICM) مستقر در پاریس، که می‌خواهد کلون را در سال ۲۰۱۱ با استفاده از  $K_B$  بازتعریف کند، اهمیت بسیار دارد.

به صورت گزینشی از بین می‌برد اما به سلول‌های اطراف آن آسیب نمی‌رساند، در حالی که باریکه‌های قوی‌تر تقریباً همه چیز را از بین می‌برد.

این پدر و پسر گمان می‌کنند که ارتعاش‌های لیزر می‌تواند ویروس‌های مقاوم به داروها و ویروس‌های حساس را به یک میزان از بین ببرد.

وو می‌گوید: «روشی که دانشجویم ابداع کرده است را می‌توان بالقوه برای انتقال محصولات خونی که با لیزر ضد عفونی شده‌اند در جهت کنترل بیماری‌های مسری به کار برد».

این دانشمندان نتیجه‌های کار خود را در شماره ۱۳ ژوئیه جورنال او فیزیکز؛ ماده‌ی چگال چاپ کرده‌اند. آن‌ها مطالعات خود را با استفاده از ویروس‌های مختلف ادامه خواهند داد. وو می‌گوید: «گمان می‌کنیم که این کار روی ویروس‌های باکتریایی نویدبخش است، اما آزمون واقعی با عامل‌های بیماری‌زایی چون HIV و هپاتیت خواهد بود».

منبع:

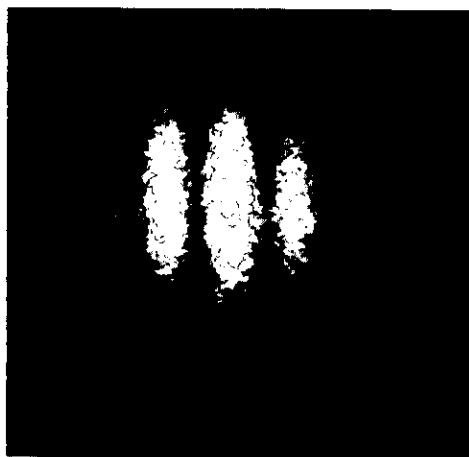
<http://physicsweb.org/articles.news>

## تداخل سنجی اتمی ترفندهای کوانتومی جدیدی را به نمایش می گذارند

ترجمه: علی اصغر محبی

فیزیکدانان انستیتوی ملی استانداردها و فناوری (NIST) روش جدیدی را برای تداخل اتم‌ها با یکدیگر به نمایش گذاشته‌اند که آزمایش معروفی را بازآفرینی می‌کند که در ابتدا با نور انجام شد ولی اتم‌ها را به کارهایی و امنی دارد که نور نمی‌تواند انجام دهد. اتم‌ها با یکدیگر تداخل می‌کنند. پس از این که اتم‌های فوق‌العاده سرد با حرکتی ماهرانه وارد آبر مکان‌ها شدند - هر اتم هم‌زمان در دو محل قرار گرفت - آن‌ها را رها می‌سازند تا تداخل هر اتم با «تای دیگری» صورت گیرد. سپس به آن‌ها نور می‌تابانند، که سایه‌ای را به وجود می‌آورد، و نقش مشخصه‌ی تداخل را نمایان می‌سازد، که در آن تداخل‌های سازنده و ویرانگر بین «دوبخش» هر اتم در هنگامی که هزاران اتم باهم عمل کنند تغییرات چگالی قابل ملاحظه‌ای را به وجود می‌آورد.

آزمایش‌های آن‌ها آینه تمام‌نمای برخی از رفتارهای غیرعادی است که در جهان کوانتومی مسلم فرض می‌شود - اتم‌ها رفتاری موج‌گونه دارند و هم‌زمان در شروع کار در دو محل مشاهده می‌شوند.



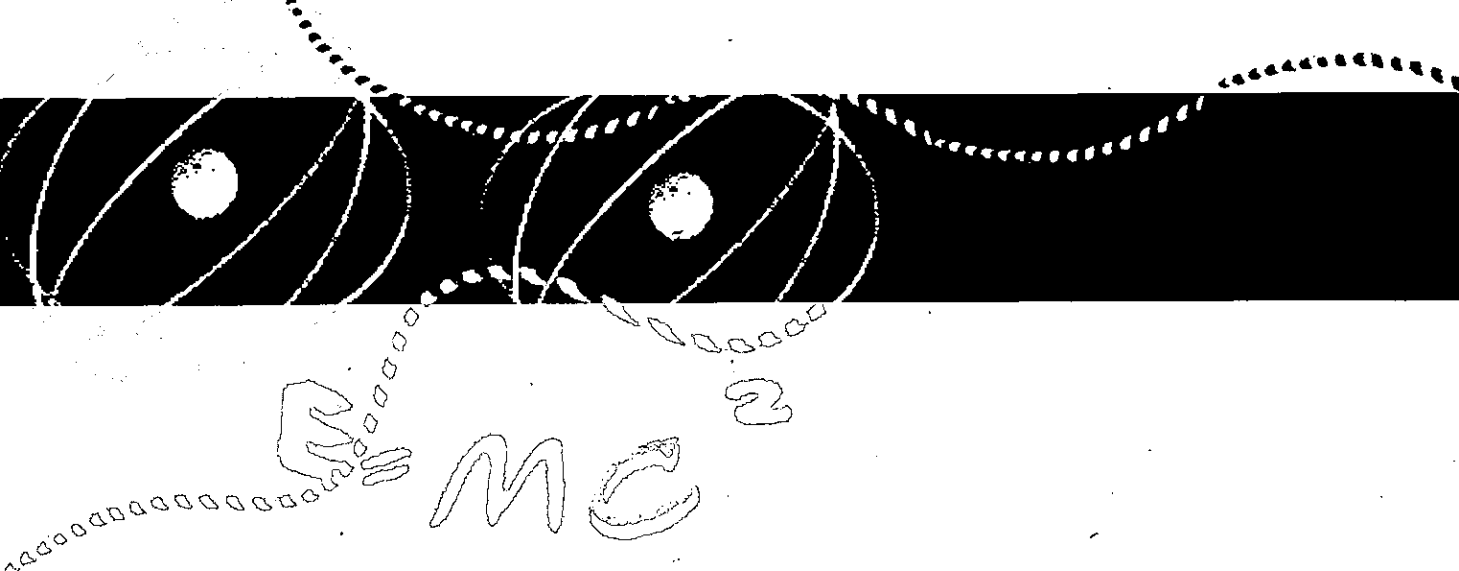
در حال حاضر کلون را به صورت  $\frac{1}{273/16}$  اختلاف دمای بین صفر مطلق و نقطه‌ی سه‌گانه‌ی آب خالص که در فشار خاصی قرار دارد تعریف کرده‌اند. در حالی که روش نقطه‌ی سه‌گانه می‌تواند کلون را با دقت بهتر از ۱ppm تعریف کند؛ اما مشکل این تعریف وابستگی آن به وضعیت فیزیکی خاص است، که هرگاه تعریف دقیقی از کلون یا سایر یکاهای SI برحسب یکدیگر و سایر ثابت‌های فیزیکی مورد نیاز باشد، باید آن را بازتولید کرد. با این همه، CIPM می‌خواهد کلون و دیگر یکاهای SI را برحسب یکدیگر و ثابت‌های بنیادی تعریف کند - و در نتیجه مقدار دقیق کلون را فقط می‌توان از ثانیه به دست آورد، که مقدار آن با دقت بسیار زیاد حدود یک بخش در  $10^{16}$  معلوم است.

اکنون، کریستیان شاردونه<sup>۱</sup> و همکارانش در دانشگاه پاریس ۱۳ - انستیتوی گالیله مدعی به وجود آوردن یک روش طیف‌نمایی لیزری هستند که می‌تواند روش دیگری برای اندازه‌گیری  $K_B$  با دقت ppm را در اختیار بگذارد. روش آن‌ها از این واقعیت بهره می‌گیرد که حرکت گرمایی یک مولکول - که در آزمایش شاردونه مولکول آمونیاک است - قله‌های طیف جذبی اپتیکی آن‌ها را در فرآیندی موسوم به پهن‌شدگی گرمایی عریض می‌سازد. عرض این پهن‌شدگی علاوه بر فشار و دمای گاز و بسامد نور جذب شده، به  $K_B$  نیز بستگی دارد. پس با اندازه‌گیری عرض پهن‌شدگی برحسب فشار در دما و بسامد معین، شاردونه و همکارانش توانسته‌اند  $K_B$  را با دقت حدود یک بخش در ده نوار تعیین کنند.

گرچه این دقت به هیچ وجه در حوالی دقت مورد نظر CIPM نیست، اما پژوهشگران گمان می‌کنند که می‌توانند آن را به دقت ۱ppm برسانند. به طور دقیق، این گروه قصد دارند با کنترل دقیق‌تر دما در آزمایش خود آن را در بهتر ۱ppm تثبیت کنند. همین‌طور می‌خواهند با افزایش مقدار آمونیاک در مسیر لیزر پایداری آن را بهبود بخشند تا بتوانند داده‌های خود را در زمان کوتاه‌تری گردآوری کنند.

منبع:

<http://physicsweb.org/articles.news>



همه چیز تغییر می کند، و این جایگاه ها به دو بخش شکافته می شوند. زوج اتم اولیه اکنون در آبر مکان متشکل از سه ترتیب ممکن قرار دارند که عبارت است از: هر دو اتم در یک جایگاه، هر دو اتم در جایگاه دیگر، و یک اتم در هر جایگاه در دو موردی که هر دو اتم در یک جایگاه باشند باهم برهم کنش می کنند و نقش تداخل را تغییر می دهند - اثری که در مورد نور به وقوع نمی پیوندد. عدم توازن بین این سه ترتیب اثری چون چراغ چشمک زن را به وجود می آورد. بسته به این که اتم ها قبل از رها شدن برای تداخل چقدر در شبکه نگه داشته شوند، نقش تداخل روشن (با نوارها) و خاموش (بدون نوار) می شود.

همین «از بین رفتن و به وجود آمدن» نقش تداخل در آزمایش هایی مشاهده شده بود که قبلاً در آلمان انجام گرفته بود، اما در آن ها یک زوج اتم در یک جفت از جایگاه ها مقید نشده بودند. آزمایش های NIST این امکان را در اختیار پژوهشگران قرار داد تا با قرار دادن دقیق یک یا دو اتم در یک جایگاه، اندازه گیری هایی را انجام دهند و دو اتم را به صورت قابل کنترل به برهم کنش وادارند. این قابلیت ها امکان ساخت رایانه های کوانتومی را فراهم می سازد که در آن ها اطلاعات در تک تک اتم ها ذخیره می شوند.

زیرنویس:

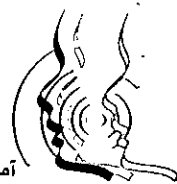
1. Shaw-Wei David Tsen
2. T.C.Wu
3. Kong-Thon Tsen
4. Physical Review Letters
5. International Committee for Weights and Measures
6. Christian Chardonnet
7. National Institute of Standards and Technology
8. Physical Review Letters

منبع:

<http://www.sciencedaily.com>

و روش جدیدی را به نمایش می گذارند که می تواند در محاسبه های کوانتومی با اتم های خنثی و دیگر مطالعات اتمی مفید باشند. آزمایش های NIST، که در فیزیکال ریویو لترز<sup>۱</sup> توصیف شده است آزمایش تاریخی «دو شکاف» را بازآفرینی می کند که در آن نور از دو روزنه ای جداگانه می گذشت و دو باریکه ی نور حاصل باهم تداخل کرده و نقش راه راهی را به وجود می آوردند. این آزمایش نمایش کلاسیک رفتار موجی نور است، و این روش کلی موسوم به تداخل سنجی، به عنوان یک ابزار اندازه گیری در حوزه های بسیاری به کار می رود. گروه NIST از اتم ها استفاده کردند، که مانند نور می تواند رفتار ذره گونه یا موج گونه داشته باشد، و باعث آن شدند که نقش های موجی تداخل کنند، یا، در بعضی موارد عجیب تداخل نکنند.

تداخل سنج های اتمی را قبلاً هم ساخته بودند، اما روش NIST گرایش های جدیدی را مطرح می کند. پژوهشگران در حدود ۲۰۰۰ اتم فوق العاده سرد رویدیم را در شبکه های اپتیکی به دام انداختند، شبکه ای از نور با استفاده از سه جفت باریکه لیزر فروسرخ تشکیل شد که آرایه ای از «چاه های» انرژی را به وجود می آورد که به شکل مقواهای جاتخم مرغی بودند و اتم ها را به دام می انداختند. لیزرها را طوری ترتیب داده بودند که دو شبکه ای افقی را به وجود آورند که مانند دو پرده ی توری برهم نهاده ای بودند که در یک بعد یکی از آن ها دو برابر ریزتر از دیگری بود. اگر یک اتم در هر جایگاه از شبکه ی پهن تر قرار می گرفت و لیزرهای مربوط به آن خاموش و لیزرهای مربوط به شبکه ی ریزتر فعال می شد، هر جایگاه به دو چاه، به فاصله ی ۴۰۰ نانومتر از هم، شکافته می شد. طبق قاعده های جهان کوانتومی اتم یکی از این دو جایگاه را انتخاب نمی کند بلکه «آبر مکانی» را اختیار می کند که در آن همزمان در هر دو مکان وجود دارد. با تداخل دو بخش اتمی که در آبر مکان قرار دارد، تصویرها نقش مشخصه ای را به نمایش می گذارند. (این اثر به اندازه ی کافی قوی است تا تصویری را تشکیل دهد زیرا این موضوع همزمان در هزاران اتم به وقوع می پیوندد - به تصویر نگاه کنید.) وقتی اتم ها در جایگاه های شبکه ی پهن تر قرار داده شوند



# نمایش سرعت صوت با استفاده از منحنی‌های لیسازو

ریچارد ای برگ و دیتر آر بریل  
ترجمه: سمیه ملکی

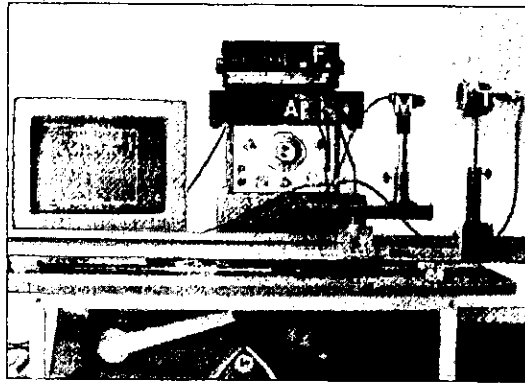
این مقاله بحث مورد نظر را به روز می‌کند و روشی زیبا اما ساده را برای اندازه‌گیری سرعت صوت با استفاده از منحنی‌های لیسازو ارائه خواهد کرد که می‌توان آن را همراه با درس ارائه کرد. ما از این روش در کلاس فیزیک موسیقی برای شاگردان رشته‌های غیر از علوم به عنوان روشی برای اندازه‌گیری سرعت صوت و همین‌طور برای آشنایی با بعضی از مفاهیم اساسی مثل اختلاف فاز بین امواج، استفاده کرده‌ایم.

## روش آزمایش

دستگاه مورد استفاده در این نمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. خروجی سینوسی از یک مولد موج،  $G$ ، به‌طور همزمان به عنوان ورودی یک بلندگوی زیر،  $T$ ، و محور افقی نوسان‌نما به کار می‌رود سیگنالی که میکروفن،  $M$ ، می‌گیرد وارد تقویت‌کننده‌ی،  $A$ ، و سپس محور عمودی نوسان‌نما می‌شود. نوسان‌نمایی که روی تاقچه‌ی زیر دستگاه قرار دارد نوسان‌نمای دیجیتال تک‌ترانزیستور با یک خروجی بزرگ‌کننده‌ی تصویر هماهنگ (EGA)<sup>۱</sup> است که با نمایشگر رایانه‌ای کنار دستگاه‌های تجربی نمایش داده می‌شود. برای اندازه‌گیری خوب بسامد، یک بسامدسنج،  $f$ ، به خروجی تریگر موج وصل شده است. وسیله‌ها همان‌طوری که شکل نشان می‌دهد روی یک میز متحرک قدیمی سوار شده است و می‌توان آن را به داخل کلاس منتقل کرد. برای کلاس‌های درس بزرگ‌تر خروجی EGA از نوسان‌نما را وارد یک مبدل سه‌رنگ اصلی قرمز و سبز و آبی براساس شدت آن‌ها (مدل RGB)<sup>۲</sup> و سپس وارد یک پروژکتور تصویر می‌کنند که یک تصویر بزرگ به قطر ۱۲-ft را تولید می‌کند. بنابراین صدها نفر قادر به دیدن خروجی نوسان‌نما خواهند بود. ریل اپتیکی لغزان کوچک تری میکروفن و قرار دادن آن در یکی از نقطه‌های مورد نظر

نمایش سرعت صوت در هوا یک جزء کلاسیک برنامه‌ی آموزشی فیزیک عمومی است. در این نمایش، از یک موج سینوسی، ناشی از نوسانگر شنیداری استفاده می‌شود و همین سیگنال را یک میکروفن متحرک، برای تولید منحنی‌های لیسازو و جهت اندازه‌گیری سرعت صوت به کار می‌برد. مراجع اولیه را می‌توان در مجله‌های آمریکن جورنال آو فیزیکز و فیزیکز تیچر می‌یافت، که روش‌های اساسی انجام این اندازه‌گیری را توضیح می‌دهند، همین‌طور تعدادی مقاله‌ی ابتدایی جالب در AJP<sup>۱</sup>، مبنای نظری سرعت صوت را مورد بحث قرار می‌دهند.

یک روش دیداری زیبا برای اندازه‌گیری سرعت صوت، استفاده از منحنی‌های لیسازوست. این روش که ظاهراً برای اولین بار در یک نشریه‌ی جامع روسی چاپ شده است، موضوع مقاله‌ای کوتاه در TPT<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۴ بوده است. چندین توصیف آزمایشگاهی موجود در شبکه‌ی اینترنت و ویژگی‌های این روش را توضیح می‌دهند. یک راهنمای جامع آلمانی از Universitat-Gesa-mit-hochschule-siegen<sup>۳</sup> نمایش با استفاده از لامپ کوندت<sup>۴</sup> توصیف می‌کند و دو توصیف در راهنمای دانشگاه دورتموند وجود دارد، از این روش برای اندازه‌گیری سرعت صوت در گازهای گوناگون استفاده می‌کنند که در آن، دستگاه را داخل محفظه‌ای قرار می‌دهند که گازها در آن محصور شده‌اند. راهنمای ارائه همزمان با درس دانشگاه ملبورن به‌طور صریح به این نمایش اشاره می‌کند و یک راهنمای آزمایشگاهی همزمان، با جزئیات بیشتر در دارتموث، دو روش برای اندازه‌گیری سرعت صوت ارائه می‌دهد، یکی که «اندازه‌گیری موج متحرک» نام دارد از منحنی‌های لیسازو برای اندازه‌گیری سرعت صوت در یک لامپ کوندت عریض استفاده می‌کند. این آزمایش در کتابخانه ارائه همزمان با درس فیزیک دانشگاه مرلند گنجانده شده است.



شکل ۱. دستگاه مورد استفاده برای اندازه گیری سرعت صوت با استفاده از شکل های لیسازو

که  $\gamma$  ثابت بی دررو،  $T$  دمای مطلق برحسب کلوین،  $M$  جرم مولکولی گاز و  $R$  ثابت گاز به ازای هر مول  $8/314 \text{ J/mol K}$  است.

از کتاب ثابت های فیزیک، سرعت صوت در هوای خشک در دمای  $0^\circ\text{C}$ ،  $331/45$  به دست می آید.

جرم مولکولی میانگین هوای خشک  $28/95 \text{ g/mol}$  و ثابت بی دررو  $\gamma$ ،  $1/4$  است بنابراین طبق این معادله داریم

$$S = 20/05 \sqrt{T} \text{ m/s}$$

یک تقریب با دقت کمتر معمولاً به کار می رود با استفاده از تقریب خطی برای سرعت صوت در دمای هوای اتاق عبارت است از:

$$S \sim 331/45 + 0/61 T_c \text{ m/s}$$

که  $T_c$  دمای هوا برحسب درجه ی سلسیوس است. سرعت صوت با استفاده از این داده ها را می توان به صورت زیر به دست آورد:

$$S = \frac{d}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

که طول موج  $\lambda$  به فاصله ای که میکروفن حرکت داده می شود بستگی دارد.  $T$  دوره و  $f$  بسامد موج است، در طی تغییر منحنی لیسازو از وضعیت اولیه تا وضعیت نهایی در شکل ۲، میکروفن

در طرح های لیسازوی متغیر را آسان تر می کند.

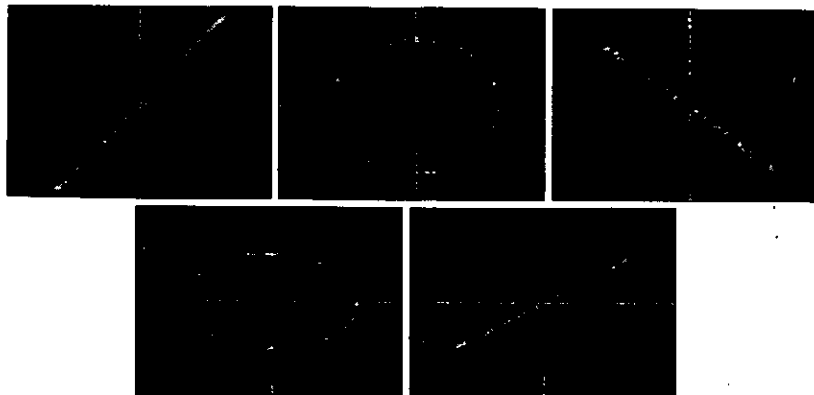
در شکل ۱ میکروفن طوری قرار گرفته است که سیگنال های بلندگو و میکروفن همفاز باشند که به یک خط قطری منحنی لیسازو می انجامد. اگر دامنه ها مساوی باشند آن خط با محور  $x$  و  $y$  زاویه ی  $45^\circ$  خواهد داشت. با دور کردن میکروفن از بلندگو، سیگنالی که توسط بلندگو دریافت می شود تأخیر فاز پیدا می کند و طرح لیسازو مطابق تصویر های شکل ۲ به ترتیب از بالا سمت چپ تا پایین سمت راست تغییر می کند.

اگر دامنه ی سیگنال میکروفن ثابت باقی بماند، وقتی دو محور همفاز یا ناهمفاز هستند، شکل خط حاصل در زاویه ی  $45^\circ$  خواهد بود. این که چرا شیب خط برای شکل های همفاز و ناهمفاز، هم زمان با دور کردن میکروفن از بلندگو کاهش می یابد و این که چرا طرح های میانی بیش از این که دایره باشند بیضی اند، می تواند یک موضوع بحث دانش آموزان باشد. با افزایش ضریب تقویت سیگنال عمودی هنگامی که میکروفن عقب کشیده می شود می توان شیب را در  $45^\circ$  حفظ کرد اما برای سادگی آزمایش گذاشتیم دامنه کاهش یابد.

### بحث

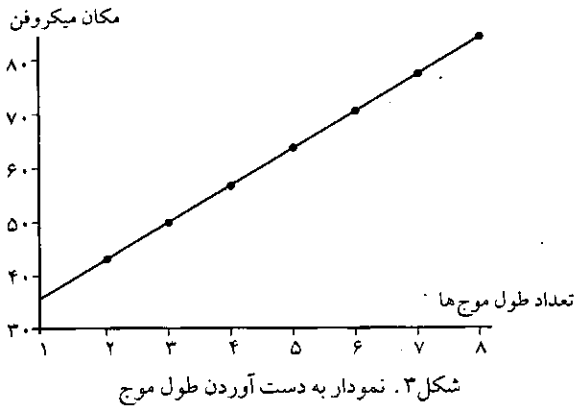
سرعت صوت در گاز کامل  $S$  از معادله ی زیر به دست می آید:

$$S = \sqrt{\gamma RT/M}$$



شکل ۲. توالی شکل های لیسازو که با دور کردن میکروفن از بلندگو به دست می آیند.





درست به اندازه‌ی یک طول موج جابه‌جا شده است. با اندازه‌گیری شیب نمودار مکان میکروفن برحسب تعداد طول موج‌ها می‌توان مقدار دقیق‌تری را برای  $\lambda$  به دست آورد.

شکل ۳ نموداری از نتیجه‌های متعارف را نشان می‌دهد، ما میکروفن را هفت دوره‌ی کامل حرکت دادیم که در نتیجه طول موج میانگین  $6/93 \text{ cm}$  با استفاده از بسامد خوانده شده‌ی  $494/5 \text{ Hz}$  از روی بسامدسنج به دست آمد. بدین ترتیب مقدار تجربی  $S = 344/5 \text{ m/s}$  برای سرعت به دست می‌آید. با استفاده از معادله‌ی ۲ در بالا، در دمای اندازه‌گیری شده‌ی اتاق برابر  $17/2^\circ \text{C}$ ، مقدار نظری  $341/3 \text{ m/s}$  برای صوت به دست می‌آید. رطوبت نسبی هوا حدود  $40\%$  بود که انتظار نمی‌رفت سرعت نظری صوت را تا اندازه‌ای کم کند. این نتیجه برای درس همراه با آزمایش برای نشان دادن اهمیت جنبه‌های مختلف این آزمایش کافی است.

با کمترین دقت، اندازه‌گیری اختلافی کمتر از  $5\%$  با مقدار محاسبه شده با استفاده از معادله‌ی ۲ خواهد داشت. با اندازه‌گیری‌های همفاز در چندین دوره‌ی نمونه، می‌توان دقت را بالا برد. هرگونه تغییر مربوط به دستگاه را در نظر گرفت. به نظر می‌رسد به خاطر تغییر برداشت میکروفن از بازتاب‌های داخل اتاق ناسازگاری‌های جزئی به وجود آید و طرح‌ها به قدری حساسند که ممکن است هنگامی که در اطراف دستگاه حرکت می‌کنید، این تغییرها به وجود آید. (یکی از دلایل انجام آزمایش داخل لامپ همین حساسیت است) شما می‌توانید با انتخاب بسامد بالا و هدف‌گیری صدا به سمت یک دیوار دور یا یک ناحیه‌ای که در آن بازتاب‌های

همدوس کمی وجود دارند، این تأثیر را به حداقل برسانید. اگر توجه شود، دقت بیشتر از  $1\%$  خواهد بود.

وقتی که هوای بین بلندگوی زیر و میکروفن گرم شود، مثلاً با یک تفنگ گرمایی، تغییری در طرح لیسازو مشاهده می‌شود. حساسیت این ترتیب، حداقل، امکان یک تأیید نیمه کمی وابستگی  $S$  به دما را فراهم می‌سازد. اگر طرحی روی نوسان‌نما به وجود آید و سپس میکروفن از بلندگو دور شود، می‌توان با استفاده از تفنگ گرمایی طرح اصلی را برگرداند. این نشان می‌دهد که با افزایش دما سرعت افزایش می‌یابد. تفنگ گرمایی ما جریانی از هوا تقریباً حدود  $110^\circ \text{C}$  و قطر تقریبی  $3 \text{ cm}$  تا  $4$ ، با طول موجی برابر نصف طول موج صوتی مورد استفاده را تولید می‌کند. این برای دادن تقدم فاز حدود  $45^\circ$  به سیگنال عمودی کافی است. نتیجه این است که خط قطری مشاهده شده برای دو سیگنال همفاز به بیضی قطری تبدیل می‌شود. (اختلاف فاز  $90^\circ$  دایره تولید خواهد کرد)

از این آزمایش می‌توان برای طرح پرسشی از دانش‌آموزان استفاده کرد. با شروع از طرح لیسازوی نشان داده شد در اولین تصویر شکل ۲ میکروفن را از بلندگو دور و دامنه‌ی عمودی را تا اندازه‌ای افزایش دهید، تا دومین طرح شکل ۴ تولید شود. اگر تفنگ گرمایی در مسیر صدای از بلندگو تا میکروفن هدف‌گیری شود کدام یک از ۳ تصویر شکل ۴، بیشترین شباهت را به طرح لیسازوی تولید شده خواهد داشت؟

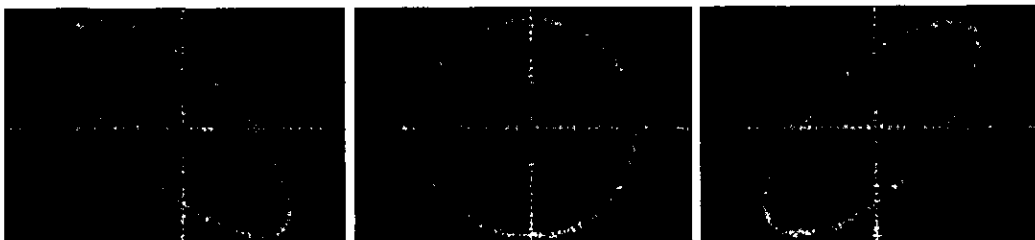
برای به دست آوردن جواب یا باید خودتان آزمایش را انجام دهید یا به پرسش #۱۵۷ در سایت Physics Question of Week مراجعه کنید. به نظر ما این نمایش هم به لحاظ این که از نظر هنرشناختی زیباست و هم به علت این که فرصت‌های زیادی را برای درگیر کردن دانش‌آموزان در طی ارائه فراهم می‌سازد، بسیار مؤثر است.

زیرنویس:

1. American Journal of Physics
2. The Physics Teacher
3. Kundt tube
4. EGA: Enhanced Graphic Adapter
5. RGB: Red, Green, Blue

منبع:

The Physics Teacher, Vol 43, January 2005 pp 336-39.



شکل ۴. طرح‌های لیسازو برای پرسش موجود در متن.



# زمین نوترینوها

## ابزاری جدید برای مطالعه‌ی ترکیب و منابع انرژی زمین

گردآوری: مجید کوهستانیان<sup>۱</sup> و مینا خشایار<sup>۲</sup>

۱. دبیر زمین‌شناسی شهرستان قوچان

۲. دبیر زمین‌شناسی شهرستان گرگان

چکیده

زمین نوترینوها که حاصل واپاشی عنصرهای پرتوزای  $Th$ ،  $U$  و  $K$  در زمین هستند، می‌توانند مقدار این عنصرها و لذا توزیع گرمای پرتوزاد را در درون سیاره‌ی ما تعیین کنند. لذا به بحث و جدل بر سر مقدار سهم گرمای پرتوزاد در جریان گرمایی کل زمین خاتمه دهند و نیز به شناخت ساختار درونی و نیز فرایندهای مختلف وابسته به این توزیع گرما، همچون همرفت گوشته، زمین ساخت ورقه‌ای و دینامیک هسته و میدان مغناطیسی زمین، کمک کنند. چندین آشکارساز برای اندازه‌گیری زمین نوترینوها طراحی شده‌اند یا در حال طراحی هستند که از این میان، فعالیت آشکارساز کم‌لند آغاز گشته است و اولین نتیجه‌های اندازه‌گیری آن در سال ۲۰۰۵ منتشر شد که مقدار متوسط گرمای پرتوزاد ناشی از اورانیم و توریم را ۱۶ تراوات و حد بالای آن را (بااطمینان ۹۹٪) ۶۰ تراوات تعیین کرده است. با وجود این، هنوز عدم قطعیت‌های زیادی وجود دارد، که با فعالیت آشکارسازهای جدید، می‌توان انتظار نتیجه‌های هماهنگ و شگرف را داشت.

مقدمه

کره‌ی زمین شناخته شده‌ترین جرم آسمانی است اما با وجود این ویژگی‌های آن به خوبی معلوم نشده است. عمیق‌ترین چاهی که تا امروز حفر شده است حدود ۱۲ کیلومتر عمق دارد. زمین شیمی دان‌ها نمونه‌های به دست آمده از پوسته و گوشته‌ی بالایی زمین را تجزیه کرده و به ترکیب زمین پی می‌برند. لرزه‌شناسی می‌تواند نمایه‌ی چگالی زمین را بازسازی کند اما در مورد ترکیب آن خیر. از این لحاظ سیاره‌ی ما ناشناخته است. در میان همه‌ی

این موارد، یکی از مهم‌ترین پارامترها برای درک و فهم زمین، تولید گرماست. این گرما، تشکیل و تحول زمین را تحت کنترل دارد و نیروی پیشران همرفت در گوشته و هسته‌ی بیرونی محسوب می‌گردد. بنابراین در شناخت ساختار زمین و نیز فرایندهای گوناگون نزدیک به ما، همچون زمین لرزه، آتشفشان و مغناطیس زمین نقشی مهم ایفا می‌نماید.

واپاشی ایزوتوپ‌های ناپایدار عنصرهای شیمیایی در درون زمین، گرمایی را تولید می‌کند که در جریان کلی گرما و انرژی زمین نقش دارد. این حقیقت، اندک زمانی بعد از کشف پرتوزایی توسط هانری بکرل در سال ۱۸۹۶، کشف شد. این واپاشی‌ها باعث تولید زمین نوترینوها (پادنوترینوها) می‌شوند که تقریباً بدون هیچ‌گونه برهم‌کنشی، از درون زمین عبور کرده و به ما می‌رسند. به این ترتیب، ابزاری در اختیار ما قرار می‌دهند تا گرمای درونی زمین را با دقت بیشتر بررسی کرده و فرایندهای وابسته به این گرمای درونی زمین را بیشتر و بهتر درک کنیم. اکنون پس از گذشت ۱۰۰ سال از کشف هانری بکرل، اراکی و همکاران (۲۰۰۵) اولین اندازه‌گیری پادنوترینوهای تولید شده از واپاشی  $\beta^-$  در قلب زمین را گزارش کرده‌اند. نتیجه‌های به دست آمده از این «زمین نوترینوها»، با مدل‌های زمین‌شیمیایی و زمین‌فیزیکی سازگاری دارند و لذا روش جدیدی برای تعیین جایگاه و مقدار ذخیره‌ی ایزوتوپ‌های ناپایدار (رادایونوکلیدها) در درون زمین فراهم می‌آورند.

در این نوشتار ابتدا مقدمه‌ی کوتاهی درباره‌ی نوترینوها آورده و منابع تولیدکننده‌ی آن‌ها را بررسی می‌کنیم و آنگاه «زمین نوترینوها» را به عنوان ابزاری نو برای مطالعه‌ی ترکیب و منابع انرژی زمین مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد.

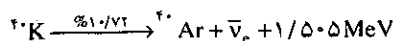
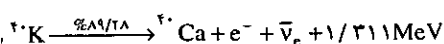
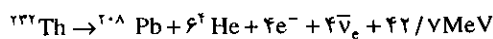
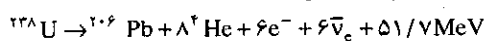
## نوترینوها و منابع تولید کننده ی آنها

یک ستاره اغلب با انفجاری شدید به پایان می رسد که ابرنواختر نامیده می شود و می تواند درخشان تر از کل یک کهکشان باشد. اما فقط درصد بسیار کمی از انرژی آن به صورت نور منتشر می شود، و در حدود ۹۹ درصد به شکل نوترینو آزاد می گردد. اولین مشاهده ی نوترینوهای حاصل از یک ابرنواختر، در سال ۱۹۸۷ در ابر بزرگ ماژلانی، کهکشان همسایه ی راه شیری انجام شد و دریچه ای نو بر درک و فهم رمبش ستارگان و نیز ویژگی های نوترینوها گشود. ۷- نوترینوهای مهیابنگ<sup>۲</sup> و ۸- نوترینوهای شتاب دهنده های اختر فیزیکی که در آینده نزدیک مطالعه ی آنها انجام خواهد شد.

### زمین نوترینوها و ترکیب و منابع انرژی زمین

زمین نوترینوها را ادر (۱۹۶۶) کشف کرد و مارکس (۱۹۶۹) به زودی مناسب بودن آنها را دریافت. سپس کراوس و همکاران (۱۹۸۴) نقش بالقوه ی آنها در کاوش اعماق زمین را مورد بحث قرار داده اند. سپس، اولین مقاله در مجله ی ژئوفیزیک، توسط کوبایاشی و همکاران (۱۹۹۱) منتشر گشت. در سال ۱۹۹۸، رگاوان و همکاران (۱۹۹۸) و راتشیلد و همکاران (۱۹۹۸) اظهار داشتند که آشکارسازهای کملند و بورگرینو بایستی بتوانند زمین نوترینوها را آشکار نمایند. طی سه سال اخیر، مقاله های زیادی ارائه شده است. فیورنتینی و همکاران (۲۰۰۳)، ۲۰۰۳، ۲۰۰۶، ۲۰۰۶) در مجموعه ای از مقاله ها اهمیت زمین نوترینوها در تعیین سهم گرمای پرتوزاد در جریان گرمای زمین و تعیین مدل های مختلف ترکیب و منشأ زمین را به بحث گذاشته اند. ظهور زمین نوترینوها در اولین داده های منتشر شده از کملند<sup>۲</sup> (اگوچی و همکاران - ۲۰۰۳)، نقطه ی عطفی بود که ارائه ی تحقیقات گسترده را به دنبال داشت (به فیورنتینی و همکاران - ۲۰۰۴ مراجعه نمایید). کملند اخیراً نتیجه های تجربی جدیدی در مورد ثبت زمین نوترینوهای ناشی از زنجیره های واپاشی اورانیم و توریم طی دو سال را منتشر کرده است (اراکی و همکاران - ۲۰۰۵).

اکنون فناوری جدیدی سر بر آورده است که اولین بررسی های مستقیم تمرکز نه چندان شناخته شده ی عنصرهای رادیواکتیو در زمین و گرمای ناشی از آنها را برای ما امکان پذیر می سازد. این فناوری شامل اندازه گیری جریان زمین نوترینوهایی است که به همراه گرما، از واپاشی بتای ایزوتوپ های پرتوزای اورانیم، توریم و پتاسیم در درون زمین تولید می شوند:



بنابراین کره ی زمین سرشار از نوترینوهاست، در هر ثانیه

نوترینوها ذراتی بدون بار با جرم بسیار اندک هستند (۵۰۰۰۰۰ مرتبه کوچک تر از جرم الکترون که خود آن ۲۰۰۰ بار کوچک تر از جرم پروتون است). بر هم کنش نوترینوها با مواد معمولی، بسیار ضعیف است. از میان چهار نیروی شناخته شده ی طبیعت (گرانشی، بر هم کنش الکترومغناطیسی، بر هم کنش ضعیف و بر هم کنش قوی)، نوترینوها فقط در بر هم کنش ضعیف و گرانشی، که هر دو نیروهایی ضعیف هستند، مشارکت دارند. بنابراین نوترینوهای اطراف ما درست مانند نوری که از درون بلورها می گذرد، از درون زمین عبور می کنند. شاید نوترینوها فراوان ترین ذرات موجود در عالم باشند: هر متر مکعب از جهان، در حدود ۳۰ میلیون نوترینو دارد (توماس شوترز - ۲۰۰۵).

علاوه بر الکترون نوترینوها که حاصل واپاشی هسته ای بتازا هستند، وجود موئون نوترینوها در سال ۱۹۶۲ ثابت گشت و کشف لپتون<sup>۳</sup> یک دهه بعد، حضور نوع سومی از نوترینوها به نام تاو نوترینو<sup>۴</sup> را نشان داد، سرانجام، در سال ۲۰۰۱ بود که وجود آنها از طریق مشاهده مستقیم تأیید شد.

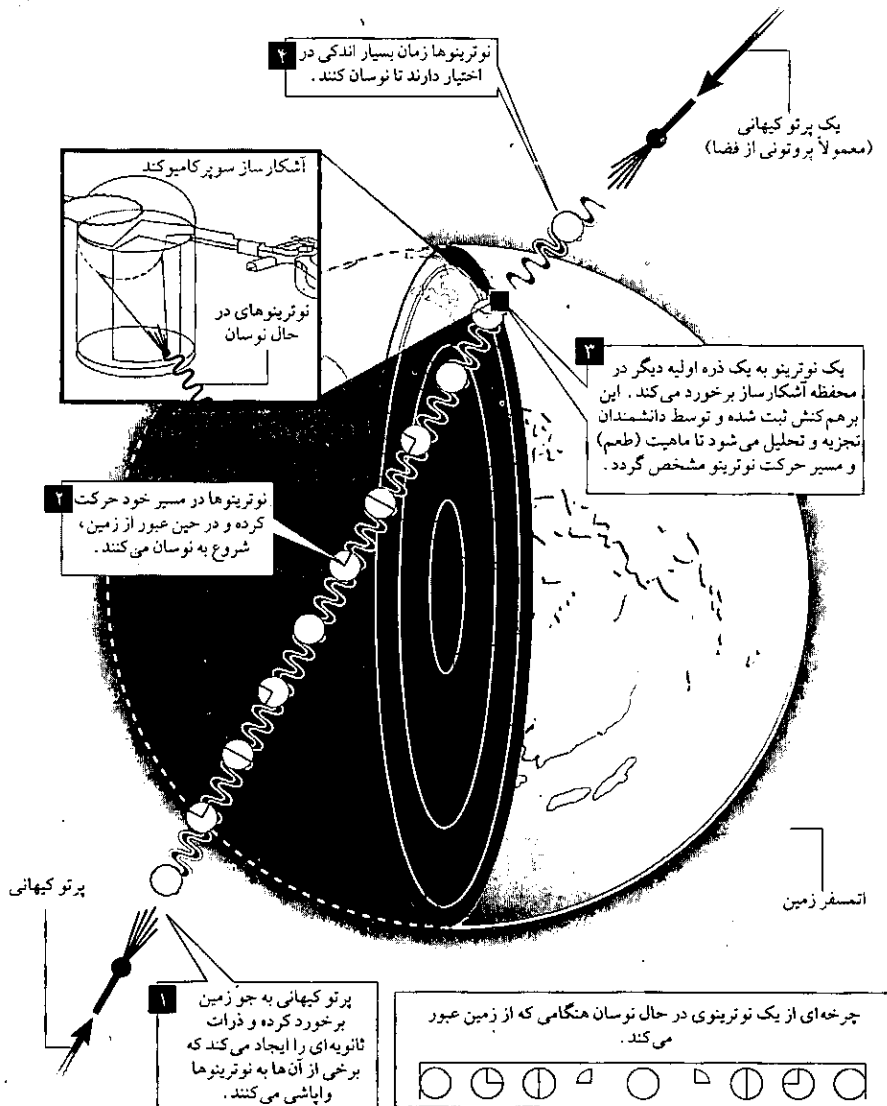
نوترینوها هم به طور طبیعی تولید می شوند و هم به صورت مصنوعی (آزمایشگاهی). به طور کلی منابع تولید کننده ی نوترینوها را می توان به صورت زیر بیان کرد (ایندومانی و همکاران - ۲۰۰۴): ۱- نوترینوهای خورشیدی: فرایند اصلی همجوشی هسته ای در خورشید (و نیز در ستارگان دیگر) را می توان به صورت  $p+p+p+p \rightarrow ^4\text{He} + 2e^+ + 2\bar{\nu}_e + 26/7\text{MeV}$  بیان کرد. انرژی آزاد شده از این فرایند، بسبب درخشندگی خورشید می گردد. بر این اساس جریان نوترینوی خورشیدی در سطح زمین در حد ۷۰ میلیارد ذره در سانتی متر مربع در ثانیه محاسبه شده است. اما دقت کنید که خورشید فقط الکترون نوترینوها را تولید می کند. ۲- نوترینوهای جوی: نوترینوهای جوی اولین بار بیش از ۳۵ سال پیش کشف شد. پيون ها و کائون ها که در حین بر هم کنش پرتوهای کیهانی با مولکول های جو زمین تشکیل می شوند، بسیار کوتاه عمرند و به نوترینوهای نوع موئون و موئون و امی<sup>۵</sup> می باشند. سپس این موئون ها به یک الکترون و دو نوترینو (یکی از نوع الکترون و دیگری از نوع موئون) و امی<sup>۶</sup> می باشند. بنابراین در نوترینوهای کشف شده در آشکارسازهای زیر زمین، به ازای هر الکترون نوترینو، باید دو موئون نوترینو وجود داشته باشد. ۳- نوترینوهای رآکتورها: رآکتورهای شکافت هسته ای، منبع عظیمی از پادنوترینوهای الکترون<sup>۷</sup> هستند. در واقع اولین آشکارسازی تجربی نوترینوها با نوترینوهای رآکتورها انجام شد. ۴- نوترینوهای شتاب دهنده ها: شتاب دهنده ها منبع عظیمی از نوترینوها هستند. پروتون ها متوقف شده، پيون ها و کائون ها را تولید می کنند که از واپاشی آنها، موئون ها و نوترینوها حاصل می شوند. ۵- زمین نوترینوها: که حاصل واپاشی<sup>۸</sup> Th، U و <sup>۴۰</sup>K در درون زمین هستند. ۶- نوترینوهای ابرنواختری<sup>۹</sup>: زندگی

## آشکارسازی نوترینوها

در آشکارسازی زمین نوترینوها اصولاً همان فناوری استفاده می‌شود که برای کشف نوترینوها در یک رآکتور هسته‌ای مورد بهره‌برداری قرار گرفت. محفظه‌ی بزرگی از مایع شفاف توسط تکثیرکننده‌ی فوتونی مورد مشاهده قرار می‌گیرد. معمولاً در درون محفظه، از روغنی معدنی که مایعی شفاف و نسبتاً غیرقابل انبساط و حاوی کسر چشمگیری از هیدروژن و هسته‌ی دارای پروتون آن هدف خوبی برای نوترینوهاست، استفاده می‌شود. مواد سوسوزن که نور مرئی متناسب با انرژی ذرات یوننده تولید می‌کند، در یک برهم کنش نوترینوها را از خود گسیل می‌کنند، در روغن حل می‌شود. نور سوسوزن توسط تکثیر کننده‌های فوتونی جمع‌آوری شده و برای تمایز برهم کنش نوترینو (با بازسازی انرژی و موقعیت آن‌ها) مورد استفاده قرار می‌گیرد (دای و استین - ۲۰۰۶).

میلیون‌ها ذره‌ی بدون بار از این نوع، از مساحتی به اندازه‌ی ناخن انگشت به بیرون جریان می‌یابند. به هر حال چون این ذرات فقط از طریق نیروی ضعیف با ذرات دیگر برهم کنش دارند، تقریباً همه‌ی آن‌ها بدون تغییر از درون زمین می‌گذرند، لذا کشف و آشکارسازی آن‌ها مشکل است.

اما کشف و آشکارسازی نوترینوها در درک و فهم سرگذشت زمین شناختی سیاره‌ی زمین حیاتی و مهم است. مقدار عنصرهای پرتوزا، که نشان‌دهنده‌ی فرایند انباشت زمین در ۴/۶ میلیارد سال پیش است، یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی تحول گرمایی، شیمیایی و مکانیکی سیاره‌ی زمین از آن زمان به بعد است. بنابراین، نوترینوها در فهم فرایندهایی همچون همرفت گوشته، زمین ساخت ورقه‌ای و دینامیک هسته و میدان مغناطیسی زمین نقشی اساسی و مهم ایفا می‌کنند (دای و استین - ۲۰۰۶).



تصویر ۱ - تصویر ساده‌ای که منشاء نوترینوهای تولیدشده از برخورد پرتوهای کیهانی پرنرژی با جو زمین را نشان می‌دهد. این برخورد باعث ایجاد ذرات ثانویه شده و بعد خود این ذرات به نوترینوها و امی باشند. سپس این نوترینوها از درون زمین گذشته و گاهی در آشکارساز با هم برهم کنش می‌کنند (اقتباس از لرنر - ۱۹۹۹).

مشکل مربوط به آشکارسازی زمین نوترینوها، از احتمال اندک بر هم کنش آن‌ها ناشی می‌شود. فقط یک آشکارساز قوی و بزرگ می‌تواند آهنگ معقول بر هم کنش را مورد مشاهده قرار دهد، مگر این که جریان نوترینو فوق‌العاده زیاد باشد (مثلاً در نزدیکی یک رآکتور هسته‌ای). آشکارساز کملند که در عمق یک کیلومتری معدنی در جزیره‌ی هونشوی ژاپن قرار دارد و به منظور اندازه‌گیری نوترینوهای حاصل از رآکتورها ساخته شده است، وزنی معادل ۱۰۰۰ تن دارد و در هر ماه، تقریباً یک رخدادهای زمین نوترینو را ثبت می‌کند. این آهنگ آشکارسازی اندک باعث کاهش نوفه‌ی زمینه‌ای می‌شود که عمدتاً ناشی از پرتوهای کیهانی و فعالیت پرتوزا در خود آشکارساز و اطراف آن است. کره‌ی زمین پرتوهای کیهانی را تضعیف می‌کند و به این ترتیب آشکارسازی زمین نوترینوها در داخل تونل‌ها، معادن یا اعماق اقیانوس بهتر عمل می‌کند.

گرچه زمین نوترینوها و نوترینوهای رآکتورها، بر اثر واپاشی هسته‌های غنی از نوترون حاصل می‌شوند، اما چون از ایزوتوپ‌های متفاوتی حاصل می‌شوند، طیف انرژی آن‌ها متفاوت است، لذا با بررسی طیف انرژی شان، از هم قابل تشخیص هستند. در این شکل از واپاشی بتا، ایزوتوپ پرتوزا در حین تبدیل خود به خودی نوترون‌هایش به یک پروتون، یک الکترون و یک پادنوترینو گسیل می‌کند. بنابراین زمین نوترینوها و نوترینوهای رآکتورها، پادنوترینو (پاد ذره‌ی نوترینوها) محسوب می‌شوند. اندازه‌گیری زمین نوترینوها، مقدار ایزوتوپ‌های پرتوزایی را در زمین نشان می‌دهد که زمان واپاشی آن‌ها با سن زمین قابل مقایسه است. از آنجا که زمین نوترینوهای کوتاه عمر دیگر وجود ندارند، فقط اورانیم، توریم و پتاسیم، منابع چشمگیر گرمای درونی زمین هستند. ایزوتوپ‌های پرتوزای اورانیم و توریم، با یک سری

واپاشی‌های آلفا و بتا سرانجام به ایزوتوپ‌های پایدار سرب تبدیل می‌شوند. اما پتاسیم پرتوزاد به طور مستقیم به کلسیم و امی باشد. فقط زمین نوترینوهای دارای بالاترین انرژی ناشی از سری‌های واپاشی اورانیم و توریم، واپاشی عکس بتا را آغاز می‌کنند در حالی که زمین نوترینوهای ناشی از پتاسیم انرژی کافی ندارند. با توجه به این که رفتار شیمیایی پتاسیم نسبت به اورانیم و توریم متفاوت است، این امکان وجود دارد که توزیع کاملاً متفاوتی در درون زمین داشته باشد. به ویژه ممکن است به عنوان عنصری سبک در هسته وجود داشته باشد (گسمن و وود - ۲۰۰۲)؛ راماورتی و همکاران (۲۰۰۳) که در این صورت، گرمای پرتوزا علاوه بر پوسته و گوشته، در هسته نیز می‌تواند تولید شود.

آشکارسازی زمین نوترینوها در چندین محل، نگرش‌هایی درباره‌ی تغییرات مکانی پرتوزایی به ما می‌دهد. جریان زمین نوترینوها در همه‌ی مکان‌ها، یک جزء مبنایی حاصل از گوشته، و سهم اجزای حاصل از پوسته در چند صد کیلومتری آشکارساز را دارد. پوسته‌ی قاره‌ای، ضخیم‌تر و مقدار پرتوزایی آن بالاتر از پوسته‌ی اقیانوسی است. جریان زمین نوترینوهای حاصل از پوسته باید چندین برابر بیشتر از گوشته باشد، و جریان حاصل از پوسته‌ی اقیانوسی باید چندین مرتبه کمتر باشد. گرچه انتظار می‌رود گوشته کمترین مقدار پرتوزایی را داشته باشد، اما حجم بزرگ آن به ایجاد جریانی از زمین نوترینوها می‌انجامد که قابل اندازه‌گیری است. بنابراین، وجود آشکارسازی در میانه‌ی اقیانوس، باید بتواند مقدار پرتوزایی گوشته و هسته را به طور مؤثر اندازه‌گیری کند. در عوض، وجود آشکارسازی در میانه‌ی قاره‌ها، مقدار پرتوزایی پوسته‌ی همجوار را به طور مؤثر اندازه‌گیری می‌کند. با توجه به این که جریان زمین نوترینوها در اقیانوس کمتر از قاره‌ها است، آشکارساز بستر

جدول ۱. مقایسه‌ی مشخصات و آهنگ رخداد سالیانه‌ی پروژه‌های زمین نوترینو

(اقتباس از دای و استین - ۲۰۰۶).

مکان	کملند ژاپن	بورگرینو ایتالیا	SNO+ کانادا	هائوهانو هاوایی
پوسته	قاره‌ای	قاره‌ای	قاره‌ای	اقیانوسی
وضعیت کنونی یا تاریخ شروع	فعال	سال ۲۰۰۷	سال ۲۰۰۸	در حال طراحی
عمق (متر)	۲۷۰۰	۳۷۰۰	۶۰۰۰	۴۵۰۰
هدف (۱۰ <sup>۲۳</sup> پروتون آزاد)	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۵۷	۸/۷
زمین نوترینو در سال (کل زمین)	۱۳	۸	۳۰	۱۱۰
زمین نوترینو در سال (گوشته)	۴	۲	۵	۸۱
نوترینوهای رآکتور در سال	۸۹	۶	۳۲	۱۲

در آهنگ نوترینوهای رآکتور، فرض بر آن است که همه‌ی رآکتورها با همه‌ی توان کار می‌کنند.

دریا باید بزرگ تر از آشکارساز قاره باشد تا بتواند زمین نوترینوها را در همان اندازه و مقدار آشکار کند. آشکارسازهای قاره‌ای و اقیانوسی، برآورد کاملی از جریان زمین نوترینوهای زمین به ما داده و فراوانی پرتوهای آن را معلوم و محدود می‌کنند.

### برنامه‌های مشاهده و آشکارسازی زمین نوترینوها

اندازه‌گیری و تفسیر جریان زمین نوترینوها، هدف چندین پروژه‌ی تجربی بزرگ است (جدول ۱) که توجه جدی جامعه‌ی فیزیک‌دان‌ها و زمین‌فیزیک‌دان‌ها را به خود جلب کرده است. اندازه‌گیری اولیه‌ی کم‌کنند که در سال ۲۰۰۵ اعلام شد (اراکي و همکاران - ۲۰۰۵؛ مک دانو - ۲۰۰۵)، توانایی زمین نوترینوها برای کاوش منابع گرمای درونی زمین را نشان می‌دهد. همایش بعدی در دسامبر سال ۲۰۰۵ در جزایر هاوایی، که تجهیزات کنونی و در حال طراحی و کاربرد آتی داده‌های زمین نوترینوها را گزارش کرد، این نوید را داد که پروژه‌های فوق در حال پیشرفت هستند. ایجاد یک بخش به نام مجموعه‌ی هماهنگ AGU در بالتیمور در سال ۲۰۰۶، وسیله‌ای برای بسط و توسعه‌ی بیشتر برنامه فراهم کرده است. علاوه بر ایجاد طرح‌هایی جهت اندازه‌گیری پرتوهای سرتاسر زمین، بخش فوق بررسی می‌کند که این اندازه‌گیری‌ها چگونه می‌توانند در حل موضوعات اساسی همچون نقش انتقال گرمای هیدروترمال و حضور احتمالی منابع گرمای پرتوزاد در هسته، به ما کمک کند.

تولید گرمای از طریق واپاشی پرتوزا، نقش مهمی در تحول زمین بازی می‌کند. محدودیت‌های کنونی درباره‌ی تولید گرمای از برآوردهای متناقض جریان سطحی گرمای کل زمین که می‌توان آن را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد، ناشی می‌شود. پولاک و همکاران (۱۹۹۳) براساس نتایج حاصل از ۲۴۷۷۴ گمانه در ۲۰۲۰۱ منطقه، مقدار  $44/2 \pm 1$  ترآوات را برآورد کرده‌اند. استین (۱۹۹۵) نیز مقدار زیاد  $44 \pm 1$  ترآوات را اظهار داشته و آن را مربوط به جریان چشمگیر گرمای از طریق رسانایی و همرفت گرمایی در بستر اقیانوس‌ها می‌داند. مقدار کم  $31 \pm 1$  ترآوات فقط اثر فرعی گرمایی را در نظر می‌گیرد (هافمیستر و کریس - ۲۰۰۵). تصور می‌شود این جریان گرمای از تولید گرمای سرد شدن سیاره‌ی زمین ناشی می‌شود (دای و استین - ۲۰۰۶). چندین مدل ترکیبی برای زمین، نشان داده‌اند که سهم K، U و Th در گرمای کلی زمین، فقط در حدود ۱۹ ترآوات است (مک دانو - ۲۰۰۳). مدل‌ها اغلب از طریق نسبت گرمای تولید شده از واپاشی پرتوزا به جریان کل گرمای در سطح، که به نام نسبت یوری<sup>۶</sup> مصطلح است، با هم مقایسه می‌شوند. برآوردهای نسبت یوری بر مبنای مدل‌های زمین شیمیایی زمین اولیه، از  $0/4$  تا  $0/8$  متغیر است (کلاگ و همکاران - ۱۹۹۹؛ کورناگا - ۲۰۰۳) که نشان دهنده‌ی سرد شدن زمین و زمان

طول کشیده برای رسانش گرما به سطح زمین است. گرمای باقی مانده باید از منابع بالقوه‌ی دیگری همچون تفریق هسته، تبلور هسته‌ی داخلی، انرژی برهم‌افزایی یا انرژی رادیونوکلیدهای از بین رفته، انرژی گرانشی حاصل از تجمع فلز در مرکز زمین که به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود، و انرژی حاصل از برخورد اجرام آسمانی در مراحل اولیه رشد زمین باشد (مک دانو - ۲۰۰۵). مدل‌های دیگر اظهار می‌دارند که در هسته‌ی زمین پتاسیم نیز وجود دارد (رامامورتی و وسترن - ۲۰۰۳) و مقدار بالاتری از نسبت یوری را پیش‌بینی می‌کنند. اما این مدل‌ها با نتایج زمین شیمیایی همراهی می‌شوند که پذیرش آن‌ها را محدود می‌کند. جریان گرما در مرز هسته - گوشته و ماهیت منابع گرما در هسته‌ی زمین، نیز ماهیت حدسی و تصویری دارد. تلفیق دانش جهانی، مدل BSE (زمین سیلیکاته‌ی کل<sup>۸</sup>) و استفاده از آنالیز کندیت‌های کربن دار CI به عنوان منشأ زمین، تولید گرمای رادیوژن را در حد ۱۹ ترآوات (۸ ترآوات برای اورانیم، ۸ ترآوات برای توریم و ۳ ترآوات برای پتاسیم) پیش‌گویی می‌کنند (اینویو - ۲۰۰۶). نتایج کم‌کنند (اراکي و همکاران - ۲۰۰۵) حد بالای تولید گرمای رادیوژن ناشی از Th و U (با اطمینان ۹۹٪) را ۶۰ ترآوات و مقدار متوسط آن را ۱۶ ترآوات تعیین کرده است که با پیش‌گویی مدل‌ها سازگار می‌باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

ظهور زمین نوترینوها که از واپاشی ایزوتوپ‌های پرتوزای اورانیم، توریم و پتاسیم در درون زمین ناشی می‌شوند، می‌تواند در درک و فهم توزیع گرمای پرتوزاد در درون زمین به ما کمک کند. پروژه‌ی کم‌کنند با اولین اندازه‌گیری زمین نوترینوها، نشان داده است که اکنون فناوری جدیدی برای به کارگیری زمین نوترینوها در کاوش اعماق زمین در دسترس ما قرار دارد. نتایج کم‌کنند (اراکي و همکاران - ۲۰۰۵) حد بالایی تولید گرمای پرتوزاد (با اطمینان ۹۹٪) ناشی از توریم و اورانیم را ۶۰ ترآوات و مقدار متوسط آن را ۱۶ ترآوات تعیین کرده است که با پیش‌بینی مدل‌ها سازگار است. اما رسیدن به این نتایج ساده نبوده و تفسیر آن‌ها نیز ساده نیست. «آلاینده‌های» مختلف را باید از طیف انرژی پادنوترینوها حذف کرد تا سیگنالی خالص حاصل شود. به بیان دیگر، پادنوترینوهای «زمینه‌ای» از نیروگاه‌های هسته‌ای مجاور و از آلودگی پرتوزاد در آشکارساز ناشی می‌شوند. از سوی دیگر، زمین نوترینوهای حاصل از واپاشی پتاسیم، به علت داشتن انرژی زیر حد آستانه‌ی  $1/8$  MeV، تاکنون در کم‌کنند کشف و آشکارسازی نشده است. بنابراین تعیین گرمای پرتوزاد براساس اندازه‌گیری زمین نوترینوها هنوز هم در معرض عدم قطعیتی در حد ۷۰ درصد قرار دارد (فیورنتینی و همکاران - ۲۰۰۶). به این ترتیب برای تحقیقات آتی، پرسش‌های زیر پیش روی ما هستند: چه مقدار

6. Fiorentini, G., et al. (2003) Neutrinos and Energetics of the Earth. *Physics Letters*, **B 557**, 139.

7. Fiorentini, G., et al. (2003) KamLAND, terrestrial heat sources and neutrino oscillations. *Physics Letters*, **B 558**, 15.

8. Fiorentini, G., M. Lissia, F. Mantovani, and R. Vannucci (2004) Geo - Neutrinos: a short review. *arXiv: hep - ph / 0409152m v 1*, 1-7.

9. Fiorentini, G., M. Lissia, F. Mantovani, and R. Vannucci (2006) Geo-neutrinos, *Earth Planet. Sci. Lett.*, in press.

10. Fiorentini, G., Lissia, M., Mantovani, F. & B. Ricci (2006) Perspectives for Geo-Neutrinos after Kamland. *Jour. Of Physics: Conference Series*, **39**, 257 - 262.

11. Gessman, C., and B. Wood (2002) Potassium in Earth's core. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **200**, 63 - 78.

12. Hofmeister, A., and R. Criss (2005) Earth's heat flux revised and linked to chemistry. *Tectonophysics*, **395**, 159 - 177.

13. Indumathi, D., Murthy, M. V. N. & G. Rajasekaran (2004) Neutrino Physics: An Overview. *Proc. Indian Natn. Sci. Acad.*, **70**, A, 1, 1-10.

14. Inoue, K. (2006) Reactor and geologically-produced antineutrinos. *Jour. Phys: Conf. Series*, **39**, 218-224.

15. Kellogg, L., B. Hager, and R. van der Hilst (1999) Compositional Stratification in the deep mantle. *science*, **283**, 1881-1884.

16. Kobayashi M., et al. (1991) The Earth as an Antineutrino star. *Geophysical Research Letters*, **18**, 633.

17. Korenaga, J. (2003) Energetics of mantle convection and the fate of fossil heat, *Geophys. Res. Lett.*, **30** (8), 1437, doi: 10, 1029/2003 Gl 016982.

18. Krauss L. M., et al. (1984) Antineutrino astronomy and geophysics. *Nature*, **310**, 191.

19. Learned G. J. (1999) Neutrinos have mass. *Beam Line*, **29**, 3, 8-15.

20. McDonough, W. (2005) Ghosts from within, *Nature*, **436**, 467-468.

21. McDonough, W. F. (2003) Compositional Model for The Earth's Core, pp 547-568. In *The Mantle and Core* (ed. R. W. Carlson.) Vol. 2 *Treatise on Geochemistry* (eds. H.D. Holland and K.K. Turekian), Elsevier-Pergamon, Oxford.

22. Pollack, H. N., Hurter, S. J. & J. R. Johnson (1993) Heat flow from the Earth's interior: analysis of the global data set. *Rev. Geophys.*, **31**, 267-290.

23. Raghavan R. S., et al. (1998) Measuring the Global Radioactivity in the Earth by Multidetector Antineutrino Spectroscopy. *Physical Review Letters*, **80**, 635.

24. Rama Murthy, V., Westrenen, W. van & Y. Fei (2003) Experimental evidence that potassium is a substantial radioactive heat source in planetary cores. *Nature*, **423**, 163-165.

25. Rothschild C. G., et al (1998) Antineutrino geophysics with liquid scintillator detectors. *Geophysical Research Letter*, **80**, 83.

26. Schwetz, T. (2005) Neutrinos: Particles from Heaven and Earth. *European Marie Curie Conference, Pisa/Livorno, Tuscany*, 1-3.

27. Stein, C. (1995) Heat flow of the Earth, in *Global Earth Physics: Handbook of Physical Constants*, AGU Ref. Shelf Ser., vol. 1, edited by T. Ahrens, pp. 144-158, AGU, Washington, D. C.

اورانیم و توریم در پوسته‌ی زمین وجود دارد؟ چه مقدار از این دو عنصر در گوشه متمرکز گشته است؟ در مورد هسته، وضعیت چگونه است.

به این ترتیب، کم‌لند بایستی بتواند شواهد زمین‌نوترینوها را در اختیار ما قرار دهد، اما تمایز میان مدل BSE و مدل کاملاً پرتوزاد نیازمند آشکارسازهای جدیدی در حد و اندازه کم‌لند و دور از نیروگاه‌های هسته‌ای است. بورگزینو باید بتواند به این مقدار از شواهد برسد اما به علت اندازه‌ی نسبتاً کوچک آن، نمی‌تواند از آن فراتر رود. SNO+ با سوسوزن مایع خود فرصتی بسیار عالی برای تعیین مقدار اورانیم در پوسته دارد. آشکارساز هاوایی که از پوسته‌ی قاره‌ای و از رآکتورها کاملاً دور است، بیشترین حساسیت را برای تعیین ترکیب گوشه خواهد داشت.

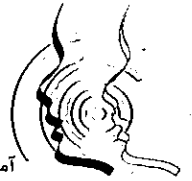
در آینده با تلفیق جریان زمین‌نوترینوهای منتشر شده در جهت‌های مختلف در آشکارسازهای مناطق مختلف با نقشه‌های توزیع عنصرها، می‌توان نقشه‌های توپوگرافی زمین‌نوترینوها را تهیه کرد و به این ترتیب، اطلاعات بیشتری درباره‌ی توزیع Th، K و U در جاهای مختلف کره‌ی زمین در اختیار ما قرار می‌گیرد (مک دانو - ۲۰۰۵). نتایج پیشگامانه‌ی حاصل از کم‌لند که توسط اراکی و همکاران (۲۰۰۵) منتشر شده است، همراه با داده‌های آتی، مقدار توریم و اورانیم (و به زودی برای پتاسیم) را به طور اساسی مشخص کرده و مشارکت گرمای پرتوزاد در کل انرژی زمین را تعیین خواهد کرد.

دیرنویس:

1. geoneutrinos
2. supernova
3. Big Bang
4. KamLAND (Kamioka Liquid-scintillator Anti-Neutrino Detector)
5. accretion process
6. noise
7. Urey
8. Bulk Silicate Earth

مراجع:

1. Araki, T. et al. (2005) Investigation of geologically produced antineutrinos with KamLAND, *Nature*, **436**, 499 - 503.
2. Dye S. & S. Stein (2006) Exploring Earth's Composition and Energetics With Geoneutrinos. *EOS*, **87**, 26.
3. Eder G. (1966) Terrestrial neutrinos. *Nuclear Physics*, **78**, 657.
4. Eguchi, K. et al. (2003) First Results from KamLAND: Evidence for reactor antineutrino disappearance. *Phys. Rev. Lett.*, **90**, 0218021 - 0218026.
5. Marx G. (1969) Geophysics by neutrinos. *Czechoslovak Jour. of Phys.*, **B19**, 1471.



آموزشی

# فیزیک

## ابزاری مفید برای یادگیری زبان انگلیسی

جی . فیدالگو و جی . رومن گالاستگو  
ترجمه : سهیل خوشبین فر  
دانشجوی دکتری فیزیک دانشگاه گیلان

### چکیده

برخی از دانش آموزان ، فیزیک را درس مشکلی می پندارند ، اما آیا خواندن آن به زبان بیگانه سخت تر نخواهد شد؟ طرح حاضر مربوط به استفاده از زبان انگلیسی در آموزش فیزیک به دانش آموزان اسپانیایی است که انگلیسی زبان دوم آن ها است . آموزش فیزیک به بهبود چشمگیری در یادگیری زبان انگلیسی آن ها انجامیده است .

### مقدمه

در این مقاله خلاصه ای از تجربه های آموزشی خود را به عنوان معلمان فیزیک و شیمی در تدریس این موضوع ها به دانش آموزان اسپانیایی ارائه می دهیم که برای آنان انگلیسی زبان دوم محسوب می شود . این تجربه بخشی از برنامه ای به نام «واحد آموزشی اروپایی» است که در گالیشا ، اسپانیا اجرا می شود و هدف آن بهبود آموزش زبان های خارجی است . واحد آموزشی اروپایی برنامه ای آموزشی برای تمرین تدریس موضوع ها به زبان خارجی است . دانش آموزان در این برنامه به زبان اصلی کشور صحبت می کنند (در مورد ما زبان گالیشایی و اسپانیایی) که به آن ها موضوع هایی چون فیزیک ، شیمی ، زیست شناسی ، تاریخ یا موسیقی از طریق زبان خارجی (انگلیسی یا فرانسوی) تدریس شده است .

این تمرین که به عنوان «آموزش دوزبانی» از آن یاد می شود به هیچ عنوان ایده ی جدیدی محسوب نمی شود . نشان داده شده است که دانش آموزان قادرند از یک طرف برنامه آموزشی استاندارد مدرسه را در محیط زبان دوم دریابند ، و از طرف دیگر توانایی خود را در فراگیری زبان خارجی افزایش دهند . اگرچه دوزبانه بودن به منزله صحبت کردن روان در هر دو زبان است ، چارچوب متعارف برای کلیه مدارسی که در آن ها برنامه آموزش دوزبانه دارند صرفاً این است که همه یا برخی از موضوع ها در محیط زبان دوم که زبان

مادری اکثریت شاگردان نیست ، تدریس شود . با وجود این ، باید روشن شود که برنامه واحد آموزشی اروپایی آن گونه که در منطقه ما اجرا شد ، برای دوزبانه کردن دانش آموزان تلاش نمی کند . از این رو ، این هدف که شاگردان به راحتی به هر دو زبان صحبت کنند غیر واقعی است . گونه ای دیگر از برنامه آموزش دوزبانی را می توان مطابق اهداف اصلی شان به صورت زیر دسته بندی نمود :

● برنامه زودگذر با هدف انتقال کودکان از زبان اقلیتی به زبان اکثریتی غالب .

● برنامه های حمایتی جهت تلاش برای رشد و پرورش زبان اقلیتی کودکان گروه های قومی ، ترویج دوزبانی و دوفرهنگی در میان شاگردان .

● برنامه های غنی سازی و تکمیلی با هدف ترویج زبان دوم یا زبان خارجی و در صورت مهیا بودن زمینه لازم با هدف برنامه کاملاً گسترش یافته دوزبانی یا به زبان ساده تر دستیابی به توانایی در زبان خارجی .

مطابق این طبقه بندی ، می توانیم برنامه واحد آموزشی اروپایی را به عنوان برنامه ای پر بار تعریف کنیم که به تشویق و ترویج دانش زبان خارجی (انگلیسی یا فرانسوی) به واسطه استفاده اش در موضوع های غیر زبان شناختی کمک می کند . با وجود این ، حتی با در نظر گرفتن تعریف بالا ، مدل های متعددی در نواحی مختلف



اسپانیا وجود دارد؟ تفاوت آن‌ها بر حسب:

- اهداف،
- ویژگی‌ها (زبان‌شناختی و بقیه موارد)،
- پیوستگی و میزان آموزش در زبان،
- رهیافت آموزشی،
- میزان حمایت از طریق سیاست‌گذاران و جامعه.

ورای حوزه این مقاله است که اطلاعاتی از برنامه‌های واحد آموزشی اروپایی که در نواحی دیگر اسپانیا در حال اجرا است را در برگیرد. در این جا، ما همکاری خود را به عنوان معلمان فیزیک و شیمی در برنامه واحد آموزشی اروپایی در گالیسیا ارائه می‌کنیم.

## اطلاعات اولیه

گالیسیا، یکی از نواحی خودمختار اسپانیا، دارای موجودیت مستقل با اقتدار سیاسی کافی جهت اعمال قدرت خود است. اگرچه تفاوت‌هایی میان خودمختاری‌های مختلف وجود دارد، با این حال دستگاه آموزشی و اکثر دوره‌های تحصیلی در سراسر کشور یکسان است. آموزش اجباری در اسپانیا، تحصیل در دوره ابتدایی و دوره متوسطه را در بر می‌گیرد (ESO). دوره ابتدایی شامل شش سال تحصیلی با پایه‌ی سنی ۶ تا ۱۲ سال است. ESO شامل چهار سطح برای شاگردان با پایه‌ی سنی ۱۲ تا ۱۶ سال است. پس از گذراندن آن، دانش‌آموزان هم می‌توانند به دوره غیر اجباری آموزش متوسطه با طول دوره ۲ سال تحصیلی وارد شوند یا در دوره‌های پیشرفته برای آماده شدن و کسب مهارت‌های لازم جهت وارد شدن به بازار کار ادامه تحصیل دهند.

در طول دوره متوسطه، فیزیک در درون عنوان عام «علوم» در سطوح اول و دوم ESO به همراه درس‌های دیگری چون شیمی، زیست‌شناسی و زمین‌شناسی قرار می‌گیرد. این موضوع هفته‌ای ۳ ساعت تدریس می‌شود و شاگردان مطالبی درباره عالم، حرکت زمین، ویژگی‌های ماده، اندازه‌گیری، کمیت‌های فیزیکی، حرکت و انرژی فرامی‌گیرند. در سطح سوم ESO (۲ ساعت در هفته) و در سطح چهارم ESO (۳ ساعت در هفته) نام درس به «فیزیک و شیمی» مبدل می‌گردد که در سال آخر اختیاری است. در کل این دو سال، موضوع‌های مطرح شده در فیزیک شامل موارد زیر هستند: ماده و ساختار آن، انرژی، کار و گرما؛ الکترومغناطیس؛ نیروها و حرکت؛ و امواج. در دوره غیر اجباری مقطع متوسطه، فیزیک با اتصال به شیمی در سال نخست ادامه می‌یابد. در سال دوم، اگرچه مستقل است، با این حال به عنوان درسی اختیاری (۴ ساعت در هفته در هر دو سال) محسوب می‌شود. موضوع‌های درسی گسترش یافته و شامل مکانیک، گرانش، الکترومغناطیس، امواج، اپتیک و فیزیک نوین می‌شود.

دانش‌آموز پس از دریافت دیپلم خود، می‌بایست برای ورود به دانشگاه در آزمونی شرکت کند که هم موضوع‌های عمومی و هم اختیاری را در بر می‌گیرد. این آزمون با نام اختصاری، PAAU نامیده می‌شود و توسط دانشگاه‌های مختلف در سراسر اسپانیا انجام می‌شود. به دنبال رهنمودهای انجمن اروپا، واحد آموزش اروپایی در سال ۱۹۹۹ میلادی در گالیسیا، توسط وزارت آموزش و پرورش به منظور افزایش میزان استفاده زبان‌های خارجی تأسیس شد. اگرچه پروژه در سال ۱۹۹۹ آغاز شد، با این حال در آوریل ۲۰۰۲ بود که سازمان واحد اروپایی به صورت رسمی با انتشار حکمی لازم‌الاجرا برای کلیه بخش‌های مختلف برنامه آغاز به کار کرد.

در حال حاضر تقریباً ۲۳ واحد آموزش اروپایی، ۳۲ معلم و حدود ۶۰۰ دانش‌آموز در مدارس عمومی وجود دارند. تعداد بیش از دو واحد آموزشی در هر مدرسه مجاز نیست که در هر یک از آن‌ها حداقل ۱۵ دانش‌آموز شرکت دارند. برنامه اختیاری و رضایت والدین اجباری است، با این حال دانش‌آموزان مجاز به ترک دوره نیستند مگر این‌که دلایل کافی وجود داشته باشد. با آغاز دوره، دانش‌آموزان باید حداقل نمره زبان خارج (۶) را برای پذیرش در گروه کسب کنند. از این پس دانش‌آموزان در سطح سوم دوره ESO وارد می‌شوند (سن ۱۴ سال). مطابق انتخابشان در سال‌های بعدی (فیزیک-شیمی پس از سطح سوم ESO اختیاری است) می‌توانند برای دو، سه یا حتی چهار سال در واحد باقی بمانند. علاوه بر این، در مدرک آموزش متوسطه نوع اخیر آموزش درج می‌گردد تا بدین منظور موجب تشویق آن‌دسته از دانش‌آموزانی باشد که در واحد اروپایی شرکت کرده‌اند.

باید تأکید شود که گالیسیا دو زبان رسمی اسپانیایی و گالیسیایی دارد و احتمالاً دانش‌آموزان واقعاً در این مورد، دوزبانه هستند و این برنامه به آن‌ها کمک می‌کند تا زبان سوم خود را تقویت کنند. چرا ما معلمان در این برنامه شرکت می‌کنیم؟ در میان دلایل گوناگون، می‌توان به این نکته اشاره کرد که این امر موجب ایجاد انگیزه‌ی لازم در دانش‌آموزان برای جذب دانش جدید و یافتن ابزار آموزشی ابتکاری می‌شود که موجب افزایش سطح آموزش ما به عنوان معلم و شکستن روش‌های متداول تدریس خواهد شد. از طرفی، این طرح به ما اجازه می‌دهد تا در استفاده از دستگاه‌های آموزشی متفاوت پیاده شده در فرهنگ‌ها و ممالک دیگر ترغیب شویم. این مطلب باعث دید شهودی در آموزش دانش‌آموزان می‌شود. علاوه بر این، قویاً معتقدیم که آموزش باید ابزاری کارا در زندگی روزمره باشد. در این برنامه با پیوند فیزیک و شیمی به زبان انگلیسی به هدف آموزشی خود می‌رسیم. در ضمن دانش‌آموزان توانایی زبان‌شناختی خود را در عرصه علمی بهبود

می‌بخشند که در آن جا زبان انگلیسی بسیار ضروری است. منطق دانش آموزان باید تقویت شاید تا تمایل در آموزش هر چه بیشتر زبان انگلیسی فراهم گردد چرا که می‌تواند در آینده آن‌ها نقش مفیدی ایفا نماید. از دلایل دیگر آن امکان تبادل فعالیت‌ها با دیگر دانش آموزان و شرکت کنندگان در طرح‌های اروپایی است.

## روش شناسی

فیزیک به عنوان ابزاری برای یادگیری زبان انگلیسی

نخست، می‌خواهیم به این نکته اشاره کنیم که ما معلمان فیزیک هستیم نه زبان انگلیسی. ما انگلیسی درس نمی‌دهیم، اما به زبان انگلیسی تدریس می‌کنیم. از این منظر، می‌توان ساختار موضوع را بر جنبه‌های زیر بنا کرد:

● استفاده از زبانی خاص در درون کلاس. دانش آموزان در محیطی کار می‌کنند که در آن انگلیسی به عنوان ابزار استفاده می‌شود و نه به عنوان موضوعی که تدریس و سنجش می‌شود. آن‌ها مجبورند زبان را گوش دهند، بفهمند و صحبت کنند. علاوه بر این، انواع مختلفی از فعالیت‌های زبانی را اجرا می‌کنیم. در حالی که انگلیسی معمولاً کلاس درسی بر فعالیت‌های تکلمی چون «پرسش برای کسب اطلاعات» یا «سرباز زدن از مساعدت» متمرکز است، راه حل ما به دنبال توانایی‌های دیگری چون توصیف، طبقه‌بندی، تشریح، مشاهده، اثبات، گزارش و ارزیابی است. کاملاً واضح است که در اندازه‌گیری طول، تفسیر یک نمودار سرعت/ زمان، بحث کردن درباره مجموعه‌های صحیحی از آموزش‌ها در مورد وسیله‌های فنی یا ارزیابی نتایج تحقیق در آزمایش آونگ ساده، بخش‌های زبانی مختلفی باید موجود باشد.

● پیام پیش از دقت و صحت. یاد گرفتن یک موضوع هم به معلم و هم به دانش آموز بستگی دارد و احتمالاً معلم است که باید وسیله‌ی اصلی را برای ادراک مطلب فراهم کند. همان‌گونه که در بالا توصیف شد، رهیافت معلم باید بر پیام موضوع تکیه داشته باشد تا بر دقت آن. واحد آموزش اروپایی کلاس آموزش زبان خارجه تلقی نمی‌شود. برعکس، یک کلاس موضوعی است که متکی به محتوای مطلب است و در آن زبان انگلیسی به منزله وسیله ارتباطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این به این معنی است که شاهد زواداری خطا خواهیم بود.

● تعویض زبان. در کلاس انگلیسی، تغییر زبان از انگلیسی به زبان مادری به شدت نکوهش می‌شود چرا که ناخودآگاه باعث تبلی در توضیح آنچه که می‌خواهیم بیان کنیم خواهد شد. با این حال، در واحد اروپایی، تعویض زبان می‌تواند میانبری طبیعی باشد که اغلب سخنرانان دوزبانه واقعی (در مورد ما سه زبانگان) از آن استفاده می‌کنند و علاوه بر این، کاری کمک آموزشی است که

مادامی که بخشی از مجموعه اصطلاحات لغوی در دسترس نباشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

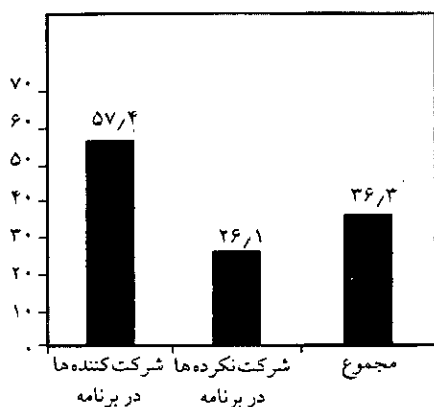
زبان انگلیسی به عنوان ابزاری برای یادگیری فیزیک

این مطلب که تدریس فیزیک به زبان انگلیسی می‌تواند به یادگیری بهتر انگلیسی بینجامد، انکارناپذیر است، اما آیا عکس این مطلب صادق است؟ چه طور تدریس فیزیک به زبان انگلیسی می‌تواند به یادگیری بهتر خود فیزیک منجر شود؟ اکنون ما تلاش می‌کنیم به این پرسش پاسخ دهیم. اصولاً محتوای فیزیک کاربرد فرضیه‌ها و قانون‌هایی است که اغلب به زبان ریاضی بیان می‌شوند. تا حدی زبان علمی ما دارای گویش مخصوص به خود است که از زبان روزمره فاصله دارد و شامل استفاده از عملیات ویژه‌ای چون جمع، ضرب، تقسیم، مشتق، معادله‌ها و غیره است. زبان دوم (در مورد ما سوم) به ما امکان می‌دهد که اقتدار مفاهیم مجرد را و رایت عبارت‌هایشان اثبات و بر مفهوم تکیه کنیم و نه بر واژه‌ها.

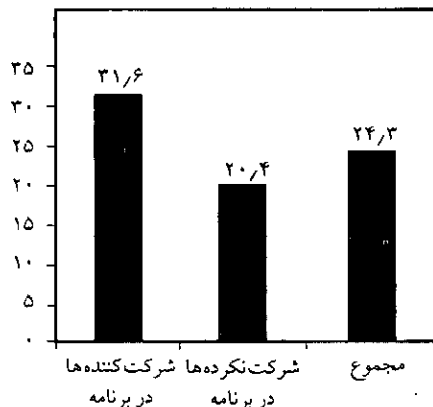
از این گذشته، دقتی که زبان انگلیسی به برخی از مفاهیم می‌دهد قابل توجه است. ساده‌تر است که میان واژه‌های کمیت/ بزرگی (در گلیشایی بزرگی/ بزرگی)، سرعت/ تند (در گلیشایی سرعت/ سرعت)، نیرو/ شدت (در گلیشایی نیرو/ نیرو)، تکانه/ لختی/ گشتاور (در گلیشایی تکانه/ تکانه/ تکانه) در زبان انگلیسی نسبت به گلیشایی یا اسپانیایی تفاوت قائل شویم. بنابراین یادگیری انگلیسی به دانش آموزان کمک می‌کند که شباهت‌های موجود را تفکیک کنند. در ضمن، زبان انگلیسی با یکاهای فیزیکی بیشتر هماهنگی دارد. در به کارگیری اسامی انگلیسی یکاهایی چون ژول (Joule)، وات (Watt)، کولن (Coulomb) یا هرتز (Hertz) ما اسامی واقعی دانشمندان را می‌بینیم. در زبان اسپانیایی متداول است از واژه‌های متناظر اسپانیایی آن‌ها جدا از نام اصلی شان استفاده گردد: *Julio, Watio, Culombio, Herzi*. به علاوه کیفیت و کمیت اطلاعات و اسناد برای استفاده در کلاس بسیار گسترده‌تر از منابع انگلیسی است. بسیاری از منابع مفید که معلمان می‌توانند بیابند و یا در شبکه اینترنت جست‌وجو کنند ابزارهای بسیار باارزشی هستند. تنها هنگام جست‌وجو درباره پایگاه اینترنتی که در آن کلمه «فیزیک» یا «فیزیکا» (متناظر اسپانیایی) وجود داشته باشد، این نسبت بیشتر به طرف انگلیسی زبان (۴۴۴۰۰۰۰/۵۶۶۰۰۰۰) خواهد بود. برخی از آن‌ها برای کسب متون و تصویرها به زبان انگلیسی بسیار مفیدند و موجب ترغیب دانش آموزان در تشخیص اهمیت زبان انگلیسی در علم می‌شوند.

در پایان، با توجه به هدفمان در بالا بردن دانش و آگاهی از دستگاه‌های مختلف آموزشی، در این برنامه راهی ساده در درک رهیافت‌های دیگر آموزشی یافتیم. در خاتمه، مقایسه‌ای میان

آزمون ساختگی سطح سوم ESO در سال ۲۰۰۴



آزمون ساختگی سطح چهارم ESO در سال ۲۰۰۵



شکل ۱. نتایج آزمون دانش آموزان شرکت کننده در سطوح سوم و چهارم ESO در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵

انگلیسی‌شان تقویت شده، حدود ۷۰ درصد فکر می‌کردند که انگلیسی بیشتری آموخته‌اند. ۵۰ درصد گمان می‌کردند که آموخته‌اند که چگونه از زبان در زندگی روزانه استفاده کنند و حدود ۶۰ درصد فکر می‌کردند که توانایی شفاهی‌شان بهبود یافته است؛ حدود ۶۰ درصد احساس می‌کردند که محتوی آموزشی مطلب را به واسطه استفاده از زبان انگلیسی از دست نداده‌اند. برعکس، احساس آن‌ها این بود که معلوماتشان درباره فیزیک افزایش یافته است؛ سرانجام تنها ۵ درصد از این تجربه ناخرسند بودند.

ب) برای دانش آموزان سطح سوم که برنامه را برای یک سال (۲۰۰۳-۲۰۰۴) دنبال می‌کردند. مجموع ۳۲ دانش آموز در سطح سوم ESO از همان دو مدرسه بخش گذشته در این ارزیابی شرکت کردند. آن‌ها معتقد بودند که میزان استفاده از زبان انگلیسی در کلاس مناسب بود (۷۰٪)؛ به خاطر استفاده از انگلیسی در آموزش فیزیک و شیمی آن‌ها معتقد بودند که زبان انگلیسی بیشتری آموخته‌اند (۸۰٪)؛ و سرانجام آن‌ها فکر می‌کردند که فیزیک و شیمی بیشتری یاد گرفته‌اند (۶۵٪). نتایج حاکی از آن است که دانش آموزان احساس می‌کردند که بیشتر انگلیسی آموخته‌اند (همان گونه که در برنامه در نظر گرفته شده بود) و احساس می‌کردند که چیزی را در فراگیری فیزیک و شیمی از دست ندادند.

#### آزمون‌های مضمونی

به منظور ارزیابی توانایی پاسخگویی به پرسش‌های مضمونی در فیزیک و شیمی، آزمونی مطابق امتحانات GCSE انگلستان طراحی شد. دانش آموزان سطوح سوم و چهارم ESO (با سن ۱۴-۱۶ سال) در دو سال پیاپی (۲۰۰۴ و ۲۰۰۵) مجبور به تکمیل پرسش‌های تدارک دیده شده شدند (مطابق شکل درون کادر خاکستری). نتایج حاصل از آن در شکل ۱ برای دو گروه، کاملاً متفاوت

دستگاه‌های آموزشی انگلستان، ایالات متحده، ایرلند و کانادا یا یک آزمون ساختگی برای ارزیابی دانش آموزان ما برگزار خواهد شد.

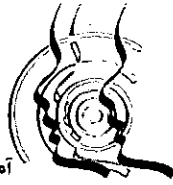
#### ارزیابی طرح

همان گونه که در بالا گفته شد، هدف اصلی از اجرای طرح بهبود یادگیری زبان انگلیسی است. اما علاوه بر این هدف کلی که توسط مسئولان آموزشی ارزیابی خواهد شد، ما معلمان نیز باید از خودمان پرسیم که: آیا دانش آموزان واقعاً در حال یادگیری زبان انگلیسی هستند؟ آیا آن‌ها علوم پایه را به خاطر زبان انگلیسی کمتر می‌آموزند؟ چقدر ما معلمان باید از زبان انگلیسی در کلاس استفاده کنیم؟

برای پاسخ به برخی از این پرسش‌ها، ابزارهایی جهت کسب آگاهی از میزان دریافت کلاس مهیا کردیم. برای رضایت خاطر از تحقق اهدافمان، مجموعه‌های مختلفی از آزمون‌ها را طراحی نمودیم که به کمک آن‌ها مواردی چون میزان علاقه و انگیزه دانش آموزان را نسبت به برنامه، میزان پیشرفت آن‌ها در فیزیک و زبان انگلیسی و این که آیا برنامه در جهت مثبتش اجرا می‌شود یا خیر را ارزیابی کنیم. داده‌های حاصل از دو «برآورد خودارزیابی»، یکی از امتحانات ساختگی متکی بر آزمون‌های GCSE و دیگری از مقایسه با نتایج حاصل شده از PAAU ارجاع خواهیم نمود.

#### برآوردهای خودارزیابی

الف) برای دانش آموزان سطح چهارم ESO که در حال گذراندن دوره برای دومین سال بودند. با مجموع ۴۲ دانش آموز از دو مدرسه مقطع متوسطه برآوردها به عمل آمد. همگی آن‌ها در حال سپری کردن فیزیک و شیمی در برنامه واحد آموزش اروپایی در سطوح سوم و چهارم ESO در سال‌های تحصیلی ۲۰۰۲-۲۰۰۴ بودند. جالب توجه است که بیش از ۸۰ درصد آن‌ها فکر می‌کردند که زبان



آموزشی

# آموزش تشکیل تصویر در عدسی

پل گلرک

ترجمه: محمدتقی زائری

اپتیک هندسی و پس از آن اپتیک موجی یک توالی سنتی در دوره‌های مقدماتی است. صرف نظر از بحث شرایط اعتبار هر کدام، معمولاً به این نکته توجه چندانی نمی‌شود که اپتیک فیزیکی می‌تواند چیزهایی غیر از محدود شدن توان تفکیک و وسایل بر اثر پراش که آن را معیار ریلی<sup>۱</sup> تعیین می‌کند در اختیار بگذارد. با وجود این همه‌ی آنچه که می‌توان به وسیله‌ی پرتوها ثابت کرد، مانند قانون‌های شکست، عدسی‌های نازک یا فرمول ساخت عدسی‌ها، را می‌توان (و باید) با استفاده از تصویر موجی و رسم هویگنس<sup>۲</sup> هم انجام داد.

این مقاله با بهره‌گیری از بازخوانی مقاله‌ی قدیمی و زیبای این‌نکرافت<sup>۳</sup> تهیه شده است که احساس می‌کنیم با مطالعه‌ی آن برخورد عمیق‌تری با آموزش اپتیک در دوره‌ی فیزیک پایه صورت می‌گیرد. با دنبال کردن این مقدمه، علاقه‌مندیم بگویم که چگونه می‌توان از پراش و تداخل در زمینه‌ی آموزش چگونگی تشکیل تصویر بهره گرفت. براساس مطالب موجود در نوشته‌های مربوط به این موضوع، ما در این جا بخش کوتاهی را در نظر گرفته‌ایم که می‌تواند برای خوانندگانی که می‌خواهند شاگردان خود را با این دیدگاه آشنا کنند، بسیار مفید باشد.

است که برای دانش‌آموزان تحت پوشش برنامه اروپایی، به‌ویژه سطح سوم ESO (با متوسط ۵۷/۴ و ۲۶/۱ برای دانش‌آموزان بیرون از طرح اروپایی) چشمگیر است. اگرچه نتایج برای دانش‌آموزان سطح چهارم رضایت‌بخش نبود با این حال نسبت به دانش‌آموزان بیرون از طرح کاملاً بهتر بود (بیش از ۱۱٪). واضح است که عوامل مختلفی را می‌توان در توضیح این اختلافات عرضه کرد: نوع محتوی، انگیزه دانش‌آموزان و غیره؛ اما دوست داریم فکر کنیم که شرکت در برنامه اروپایی عامل تعیین‌کننده‌ای بوده است. تمام دانش‌آموزانی که در آزمون شرکت کرده بودند به یک مدت زبان انگلیسی یاد گرفته بودند اما متوجه شدیم که انتقال دانش میان موضوع‌های مختلف چندان ساده نیست. به سختی می‌توان انگلیسی آموخته شده در کلاس زبان را در آزمون علوم پیاده کرد به‌ویژه این که اگر عادت به استفاده از آن نداشته باشیم. دانش‌آموزان برنامه اروپایی ما عادت به انجام این کار داشتند، بنابراین زبان انگلیسی آنان هنگام کاربرد در فیزیک و شیمی مفیدتر بود.

مقایسه PAAU

در پایان برای مقایسه داده‌های ما با ارزیابی‌های بیرونی، نتایج مربوط به دانش‌آموزان خود را در آزمون ورودی دانشگاه بررسی کردیم. نتایج برای دانش‌آموزانی که در واحد آموزش اروپایی حداقل یک سال شرکت داشتند (۷۴٪ از قبولی در آزمون با نمره زبان متوسط ۱۵/۶)، در مقایسه با آن‌هایی که در برنامه شرکت نداشتند (۴۵٪ از قبولی در آزمون با نمره زبان متوسط ۹۸/۹۸) (۴) به نحو چشمگیری رضایت‌بخش‌تر بودند. علاوه بر این، هیچ‌گونه تأثیری منفی در نمره فیزیک آن‌ها مشاهده نشد. برای نتیجه‌گیری، می‌توان گزارش کرد که دانش‌آموزان شرکت‌کننده در طرح اروپایی از این فعالیت لذت می‌برند. به علاوه این که کارایی تحصیلی آن‌ها در انگلیسی بدون هیچ‌گونه تأثیر منفی در دانش فیزیک آن‌ها بهبود می‌یابد.

منبع:

Physics Education, 41(2), March 2006, pp168-171.

مراجع:

- [1] [www.nasa.gov/](http://www.nasa.gov/), [www.esa.int/](http://www.esa.int/)  
[www.nobelprize.org/](http://www.nobelprize.org/), [www.galileo.rice.edu/](http://www.galileo.rice.edu/)  
[www.newtonproject.ic.ac.uk/](http://www.newtonproject.ic.ac.uk/)  
[www.westegg.com/einstein/](http://www.westegg.com/einstein/)  
[www.phymlink.com/](http://www.phymlink.com/)
- [2] [www.educationuk.org/or](http://www.educationuk.org/or) [www.dfes.gov.uk/](http://www.dfes.gov.uk/)  
[www.ed.gov/index.jhtml](http://www.ed.gov/index.jhtml), [www.enc.org/](http://www.enc.org/)  
[www.education.ic.gov.on.ca/](http://www.education.ic.gov.on.ca/)
- [3] [www.edexcel.org.uk/](http://www.edexcel.org.uk/), [www.aqa.org.uk/](http://www.aqa.org.uk/)  
[www.ocr.org.uk/](http://www.ocr.org.uk/)

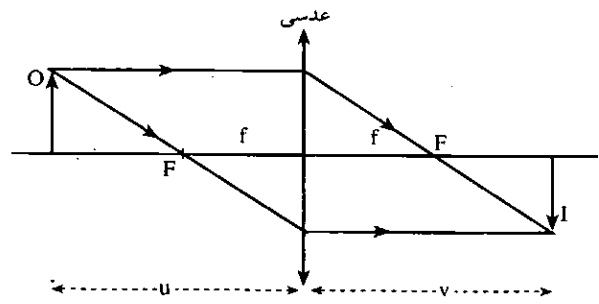
به صفحه‌ی تصویر می‌رسند و با تداخل سازنده‌ی خود تصویر تولید می‌کنند. در یک دوره‌ی مقدماتی، بحث تبدیل دوگانه‌ی فوریه<sup>۱</sup> در فرایند تشکیل تصویر می‌تواند بی‌مورد باشد، اگرچه این نکرات ایده‌های اصلی را به صورت دلپذیری خلاصه می‌کند.

برای مطرح کردن این ایده‌ها، یک رهیافت آموزشی معقول، در نظر گرفتن توری پراش معمولی با دوره‌ی تناوب  $d$  به عنوان جسم است. سپس بهتر است که در تفسیر معادله‌ی  $d \sin \theta = m \lambda$  توری، فقط بر تعیین مکان بیشینه‌ی مرتبه‌ی  $m$  تأکید کنیم تا نقش پراش مطالبی درباره‌ی ساختار جسم و در این مورد درباره‌ی دوره‌ی تناوب آن در اختیارمان بگذارد. می‌توان به این نکته اشاره کرد که قطر عدسی ( $D$ ) تأثیری تعیین‌کننده در کیفیت تصویر و جزئیاتی دارد که قادر به تفکیک آن‌هاست. فرض کنید که  $D$  به اندازه‌ی کافی کوچک باشد به طوری که همه‌ی باریکه‌های پراشیده به استثنای بیشینه‌ی مرکزی را حذف کند. در این صورت در نقش پراش هیچ گونه اطلاعاتی درباره‌ی دوره‌ی تناوب توری وجود ندارد و تنها یک لکه‌ی مرکزی در تصویر به دست خواهیم آورد. برای انتقال اطلاعات در فرایند تصویرگیری، عدسی باید حداقل باریکه‌های پراش مرتبه‌ی اول دو طرف بیشینه‌ی مرکزی را از خود عبور دهد (بدون این باریکه‌ها که به مؤلفه‌های  $dc$  معروفند، به دلیل دو برابر شدن دوره‌ی تناوب در فرمول  $\sin^2 x$  مربوط به شدت پراش، تناوب دو برابر نادرستی را در تصویر به دست خواهیم آورد). بدیهی است، هیچ عدسی آن چنان بزرگ نیست که همه‌ی باریکه‌های پراش جسم به شکل توری را در جهت جلو به طرف صفحه‌ی کانونی و در نتیجه به تداخل در صفحه‌ی تصویر هدایت کند. در نتیجه هرگز موجک‌های هویگنس کافی برای بازتولید همه‌ی جزئیات جسم در تصویر وجود ندارد. پس جزئیات ظریفی را که عدسی کوچک تفکیک می‌کند باید نظیر باریکه‌های پراش با بالاترین مرتبه باشند که از عدسی می‌گذرند.

در این زمینه پاسخ به پرسش مرسوم‌ی که اغلب از دانش‌آموزان مان می‌پرسیم این است که آیا اگر بخشی از عدسی پوشانده شود، تصویر تشکیل می‌شود و چگونه تصویری که تشکیل می‌شود را باید اصلاح کرد. بهترین پاسخی که می‌توان به کمک اپتیک هندسی داد، این است که مطمئناً تصویر متناسب با سطح مسدود شده (متناسب با شدت) کم‌رنگ‌تر خواهد بود. اپتیک موجی علاوه بر آن می‌گوید که بعضی جزئیات ظریف از دست می‌رود و تصویر بی‌کیفیت می‌شود.

### مجاسبه‌های ساده

بگذارید ببینیم چگونه این رهیافت نتیجه‌ی معمول و همیشگی برای بزرگ‌نمایی خطی عدسی، همین‌طور فرمول گاوسی عدسی نازک را می‌دهد. آن‌چه در پی می‌آید شرح لیبسون و همکاران (Lipson et al) است که جهت تکمیل بحث بیان می‌شود.



شکل ۱. تشکیل تصویر برای یک عدسی کوژ در اپتیک هندسی

### ایده‌های کیفی

در اپتیک هندسی، تصویر در یک عدسی را با یافتن نقطه‌های برخورد دسته پرتوهای ناشی از جسم پس از شکست در عدسی به دست می‌آورند.

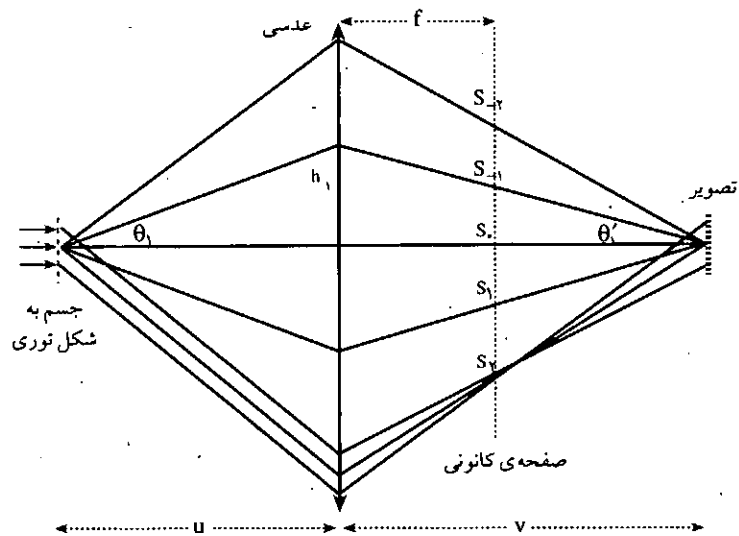
شکل ۱ این موضوع را با دو پرتو کمکی نشان می‌دهد که در آن  $O, I, F, f, u, v$  به ترتیب جسم، تصویر، کانون اصلی، فاصله‌ی کانونی، فاصله‌ی جسم تا عدسی و فاصله‌ی تصویر تا عدسی هستند.

با استفاده از هندسه‌ی شکل ۱ به سادگی می‌توان شکل گاوسی معادله‌ی عدسی را به دست آورد.

$$(u-f)(v-f) = f^2 \quad (1)$$

که در ادامه‌ی بحث آن را با رهیافت موجی ثابت می‌کنیم. اپتیک موجی بینش‌های جدیدی را از نظریه‌ی آبه ارایه می‌کند. ایده‌های اصلی آن را می‌توان به صورتی ساده بیان و در آزمایشگاه با آزمایش روشن کرد. طبیعی است که باید آن را پس از آموزش مبحث تداخل و پراش مطرح کنیم. بدین وسیله تدریس خود را به شناخت بعضی از کاربردهای جدید این نظریه نظیر فرایند پردازش تصویر، پالایش فضایی، روش‌های تضاد فاز و تمام‌نگاری ربط می‌دهیم.

در این رهیافت سطح هر جسم را می‌توان مجموعه‌ای از توری‌های پراش بازتاب موضعی با دوره‌های متغیر  $d$  در نظر گرفت. اندازه‌های  $d$  در عرض سطح با دانه‌دانه بودن آن و بسته به این که دانه‌ها درشت یا ریز باشند، تغییر می‌کنند. فرض کنید سطح روشن باشد و باریکه‌ای موازی از آن بر عدسی بتابد. بسته به دوره‌ی تناوب و زاویه نسبت به محور اپتیکی عدسی، در تقریب پیرامجوری باریکه‌های پراشیده‌ی امواج تخت در عدسی و زاویه‌های مختلف جهت‌گیری می‌کنند. این باریکه‌ها شکسته می‌شوند و عدسی آن‌ها را به یک مجموعه از نقش‌هایی پراش (مجموعه‌ای از لکه‌ها) در صفحه‌ی کانونی متمرکز می‌کند. تعداد مرتبه‌هایی که عدسی منتقل می‌کند به قطر آن و به  $d$  های متفاوت بستگی دارد. در مرحله‌ی بعد، این لکه‌های پراش در صفحه‌ی کانونی به عنوان چشمه‌های نقطه‌ای موجک‌های ثانویه هویگنس عمل می‌کنند. این موجک‌ها



شکل ۲. تشکیل تصویر و بزرگ‌نمایی باره‌یافت آب

هر زوج از باریکه‌های مرتبه‌ی  $m$  در زاویه‌ی  $\theta_m$  پراشیده می‌شوند که فرض می‌کنیم کوچک باشد، در نتیجه  $\sin \theta_m \cong \theta_m$ . از این رو با استفاده از شرط پراش معمولی داریم:

$$\theta_m = m \lambda / d \quad (2)$$

فرض کنید یک باریکه در مرتبه‌ی  $m$  در ارتفاع  $h_m$  در عدسی شکست پیدا کند. بنابراین با همان تقریب و با استفاده از هندسه شکل داریم:

$$\theta_m \cong \tan \theta_m = h_m / u \quad (3)$$

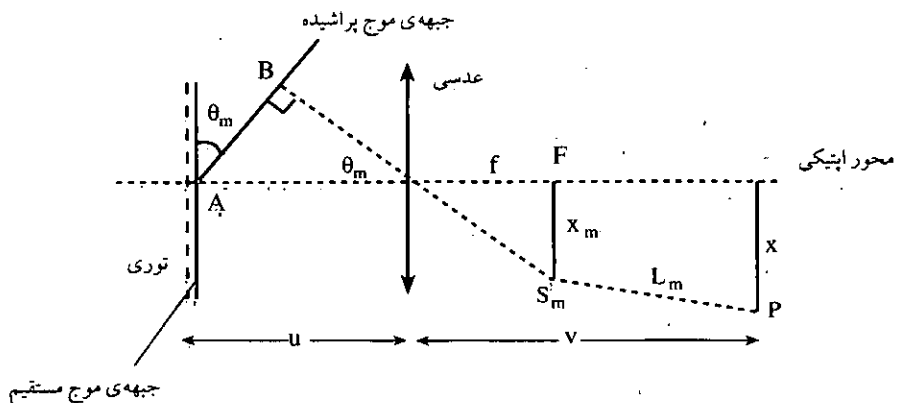
که در آن  $u$  فاصله‌ی جسم از عدسی است. امواج مرتبه‌ی  $m$  در زاویه‌های  $\pm \theta_m$  صفحه‌ی تصویر جمع می‌شوند، به طوری که  $\pm \theta_m \cong \tan \theta_m' = h_m / v$

با حذف  $h_m$  داریم:

$$\theta_m' = \theta_m u / v \quad (4)$$

که در آن  $v$  فاصله‌ی تصویر تا عدسی است.

یک توری پراش که فاصله‌ی خط‌های آن  $d$  است را به عنوان جسم در نظر بگیرید که پرتوهای موازی تک‌فام با طول موج  $\lambda$  به آن می‌تابد (شکل ۲). با تقریب پیرامحوری مجموعه‌ای از امواج تخت داریم که نظیر مرتبه‌های مختلف پراش هستند و پس از عبور از عدسی همگرا می‌شوند تا در مجموعه‌ای از نقطه‌های  $[S_m]$  در صفحه‌ی کانونی متمرکز شوند و در نتیجه‌ی تداخل، تصویری را در صفحه‌ی تصویر تشکیل دهند. نمودار، پنج مرتبه‌ی پراش فرانهوفر (۲-، ۱-، ۰، ۱ و ۲) را از توری نشان می‌دهد که نقطه‌های  $S_{-2}$ ،  $S_{-1}$ ،  $S_0$ ،  $S_1$ ،  $S_2$  را در صفحه‌ای کانونی تشکیل می‌دهند (برای روشن شدن مطلب، یک باریکه از پرتوها از سراسر توری برای  $S_2$  نشان داده شده است، برای بقیه فقط تک پرتوها نشان داده شده است). این‌ها به عنوان چشمه‌های نقطه‌ای عمل می‌کنند که موج‌ها با خروج از آن‌ها یک نقش تداخل پیچیده یعنی تصویر را در صفحه‌ی تصویر به وجود می‌آورند.



شکل ۳. اختلاف‌های راه در امواج پراشیده

امواج مرتبه‌ی اول نقطه‌های  $S_1$ ،  $S_{-1}$  و  $m=1$  را در نظر بگیرید. آن‌ها در صفحه‌ی تصویر یک نقش متناوب از فریزهای تداخلی با دوره‌ی  $d'$  را تشکیل می‌دهند به طوری که

$$d' \sin \theta'_1 = \lambda \quad (5)$$

از رابطه‌های (۲) تا (۵) می‌بینیم که دوره‌ی اصلی تصویر

$$d'_1 = \left(\frac{v}{u}\right)d \text{ است.}$$

همه‌ی هماهنگ‌های مرتبه‌ی بالاتر دارای دوره‌های  $d'_m = d'_1 / m$  هستند و ساختار مفصل تصویر را تولید خواهند کرد. هرچه  $m$ های بالاتری عبور کنند، مطابقت جسم و تصویر بیشتر می‌شود.

بابحث در مورد فاز امواج پراشیده در هنگام تداخل در صفحه‌ی تصویر، می‌توان شناخت از این رهیافت را افزایش داد. برای این منظور در شکل ۳، دو موج را در نظر بگیرید که هم‌زمان نقطه‌ی محل برخورد محور اپتیکی با توری را ترک می‌کنند. یکی در جبهه‌ی مستقیم است و دیگری در زاویه‌ی  $\theta_m$  مرتبه‌ی  $m$  پراشیده می‌شود. هر دو  $y$  آن‌ها با خط پر نشان داده شده‌اند. پرتوهای عمود بر این جبهه‌ها با نقطه چین نشان داده شده‌اند. با استفاده از رسم هویگنس هر جبهه‌ی موج در نقطه‌ی متفاوتی از صفحه‌ی کانونی متمرکز می‌شود؛ جبهه‌ی مستقیم در نقطه‌ی  $F$  و جبهه‌ی پراشیده در نقطه‌ی  $S_m$  به فاصله‌ی  $x_m$  زیر  $F$  در صفحه‌ی کانونی.

$$\text{از معادله‌ی (۱) و هندسه‌ی شکل به دست می‌آوریم:} \\ x_m = mf\lambda / d \quad (6)$$

حالاً اختلاف فاز بین ارتعاش‌های  $F$  و  $S_m$  از اختلاف راه یعنی  $BS_m - AF$  محاسبه می‌شود.

با استفاده از مثلثات ساده برای دو مثلث مربوطه و تقریب  $\cos \theta_m \cong 1 - \frac{\theta_m^2}{2}$  برای زاویه‌های کوچک، اختلاف راه برابر

$$\text{است با } (f-u) \frac{\theta_m^2}{2} \text{ و اختلاف فاز نظیر آن } \pi(f-u) \frac{\theta_m^2}{\lambda} \text{ است.}$$

اگر  $F$  را به عنوان نقطه‌ی فاز صفر در نظر بگیریم می‌توان فاز

$$\pi(f-u) \frac{\theta_m^2}{\lambda} \text{ را به نقطه‌ی } S_m \text{ نسبت داد، پس می‌نویسیم:}$$

$$\Phi_m = \pi(f-u) \frac{\theta_m^2}{\lambda} \quad (7)$$

همین طور برای  $(m+1)$  امین مرتبه در  $S_{m+1}$  (در شکل رسم نشده است) داریم:

$$\Phi_{m+1} = \pi(f-u) \frac{\theta_{m+1}^2}{\lambda} \quad (8)$$

اکنون می‌پرسیم که برای این فازها در هر نقطه‌ی  $P$  در صفحه‌ی تصویر و در فاصله‌ی  $x$  زیر محور اپتیکی چه اتفاقی می‌افتد؟ یک بار دیگر، این اضافه راه نوری  $L_m = S_m P$  به موضوع

مربوط می‌شود. با بهره‌گیری از هندسه مطابق شکل به دست می‌آوریم:

$$L_m^2 = (x - x_m)^2 + (v-f)^2 \quad (9)$$

همین طور برای مرتبه‌ی  $(m+1)$  داریم:

$$L_{m+1}^2 = (x - x_{m+1})^2 + (v-f)^2 \quad (10)$$

با کم کردن رابطه‌ی (۹) از رابطه‌ی (۱۰) به دست می‌آوریم:

$$L_{m+1}^2 - L_m^2 = (L_{m+1} + L_m)(L_{m+1} - L_m)$$

$$\cong 2(v-f)(L_{m+1} - L_m)$$

$$= (x - x_{m+1})^2 - (x - x_m)^2$$

(در تقریب زاویه‌ی کوچک  $f$  یا  $v \ll x$ ، به طوری که در پرانتز

اول بالا،  $L_{m+1} - L_m$  را بتوان گذاشت  $L_m$  و  $v-f = L_m$ ).

بنابراین اختلاف راه تا  $P$  بین مرتبه‌های متوالی  $m$  و  $m+1$  از

رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$L_{m+1} - L_m = [(x - x_{m+1})^2 - (x - x_m)^2] / 2(v-f) \quad (11)$$

با ترکیب رابطه‌های (۵)، (۷)، (۸) و (۱۱) برای اختلاف فاز

داریم:

$$\Delta\Phi = \frac{\pi}{d} \left[ \frac{(2m+1)\lambda}{d} (f-u + \frac{f^2}{v-f}) - \frac{2xf}{v-f} \right] \quad (12)$$

در نقطه‌ای چون  $P$  در صفحه‌ی تصویر، تداخل بین امواج ناشی

از مجموعه چشمه‌های نقطه‌ای  $\{S_m\}$  رخ می‌دهد. اگر اختلاف

فاز ثابت، مستقل از  $m$ ، بین همه‌ی زوج‌ها در مرتبه‌های متوالی

وجود داشته باشد، فریزها در صفحه‌ی تصویر تشکیل می‌شوند.

اگر  $\Delta\Phi$  بین زوج‌های پراش متوالی مساوی صفر یا  $2\pi z$  باشد،

تداخل سازنده رخ می‌دهد ولی اگر  $\Delta\Phi$  مساوی  $(2j+1)\pi$  باشد،

تداخل ویرانگر خواهد بود. اساساً اگر  $\Delta\Phi$  بین زوج‌های پراش

متوالی تغییر کند، تداخل فقط لحظه‌ای خواهد بود و در نتیجه لکه‌ی

مبهمی حاصل می‌شود. بنابراین ضریب  $m$  در عبارت  $\Delta\Phi$  باید از

بین برود. پس

$$f-u + \frac{f^2}{(v-f)} = 0 \quad (13)$$

با مرتب کردن این رابطه داریم:

$$(u-f)(v-f) = f^2 \quad (14)$$

بنابراین رهیافت آبه، رابطه‌ی گاوسی را بین  $u$ ،  $v$  و  $f$  برای یک

عدسی نازک به دست می‌دهد. این دو محاسبه باید برای متقاعد

کردن شاگردان در مورد توان ایده‌های آبه کافی باشند.

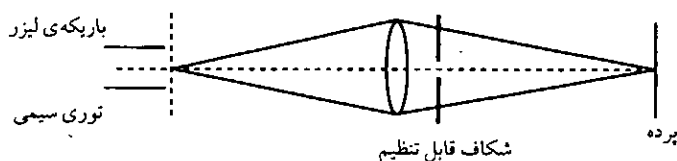
سرانجام در مورد این که «هرچه  $m$ های بالاتر عبور کند، تصویر

مطابقت بیشتری با شکل دارد.» اظهار نظر می‌کنیم. نظریه‌ی کامل

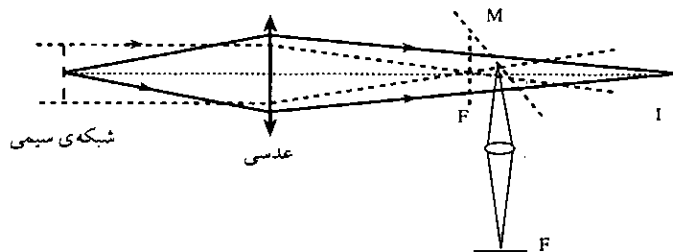
این موضوع را به صراحت نشان می‌دهد. برای یک برخورد

مقدماتی، می‌توان دامنه و فازهای مجموعه‌ی  $\{S_m\}$  را با استفاده

از روش فازورها (فازبردارها) ترکیب کرد تا معلوم شود که چگونه



شکل ۴. نمایش تجربی تشکیل تصویر: بخشی از تصویر فیلتر شده است.



شکل ۵. نمایش دو مرحله‌ی تشکیل تصویر در روش آبه

نقره‌اندود M جای‌گزین شکاف می‌شود (شکل ۵). کار آینه این است که امکان مشاهده‌ی هم‌زمان لکه‌های پراش در صفحه‌ی کانونی F را که به  $F'$  تغییر جهت داده‌اند و همین‌طور تصویر در صفحه‌ی تصویر I را فراهم می‌سازد. سپس بد نیست که اسلایدهای مختلفی را در نقطه‌ی F یا نزدیک آن قرار دهیم که روی آن‌ها تکه‌هایی از پوشش‌های نوار مانند کدر به شکل‌های مختلف قرار داشته باشد، که به عنوان صافی عمل کنند و بخش‌های معینی از نقش پراش را (که ایزنکرافت و لیسون توضیح داده‌اند) حذف کنید. تهیه‌ی این پوشش می‌تواند بخشی از پروژه‌ی تجربی پایانی یک درس اپتیک باشد.

منبع:

The Physics Teacher - Vol 44 - April 2006.

زیرنویس:

1. Raleigh Criterion
2. Huygens
3. Eisenkraft
4. Fourier
5. Ganci

مراجع:

1. A. Eisenkraft, "A closer look at diffraction: Experiments in spatial filtering," *Phys. Teach.* **15**, 199-211 (April 1977).
2. S. G. Lipson, H. Lipson, and D. S. Tannhauser, *Optical Physics*, 3rd ed. (Cambridge University Press, 2001), pp. 327-334.
3. S. Ganci, "A simple experiment in non-coherent image processing," *Eur. J. Phys.* **10**, 14-18 (Jan. 1989).
4. A. Gerrard, "An elementary theoretical approach to the Abbe theory of optical image formation," *Am. J. Phys.* **31**, 723-727 (Sept. 1963).

با در نظر گرفتن بیشتر و بیشتر به تابع شکاف توری می‌رسیم. این موضوع را می‌توان به عنوان یک پروژه‌ی کوچک ارائه کرد و یا توسط مربی در صفحه‌ی گسترده شبیه‌سازی کرد.

بحث بالا را باید با نمایش‌های مربی و یا آزمایش‌های شاگردان تکمیل کرد تا احساسی از این دیدگاه به دست آید. در این جا چند نمونه از نوشته‌های قابل استفاده ارائه می‌شود:

۱. یک نقش شامل خط‌های موازی افقی و عمودی هم فاصله را آماده کنید و به آن از طریق یک شکاف قابل تنظیم نگاه کنید. شکاف را افقی نگه دارید و به تدریج آن را باریک‌تر کنید. در یک عرض شکاف بحرانی فقط خط‌های عمودی قابل مشاهده خواهند بود. با استفاده از شکافی که در درپوش عدسی یک دوربین بازتابی سوار شده باشد، می‌توان از آن عکس گرفت (همان‌گونه که گانسی<sup>۵</sup> توضیح داده است).
۲. به عنوان جسم از یک توری سیمی که در یک قاب اسلاید قرار دارد (اغلب به عنوان بخشی از دستگاه پراش استاندارد موجود است) استفاده و به آن پرتوهای نور موازی یک لیزر را بتابانید. همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است از دو روش برای چیدن دستگاه می‌توان استفاده کرد.

در روش ساده‌تر (شکل ۴) از یک عدسی و یک شکاف قابل تنظیم موازی با مجموعه‌ای از رشته‌های شبکه‌ای استفاده می‌شود. مکان و عرض شکاف را طوری تنظیم کنید که تصویر همه‌ی شبکه‌های توری روی پرده‌ای که در فاصله‌ی  $1/5$  متری تشکیل شود. حال به تدریج شکاف را باریک‌تر کنید تا رشته‌های موازی با شکاف در تصویر ناپدید شوند.

۳. در یک نمایش مفصل‌تر که مستلزم آماده‌سازی است، تصویر همان جسم توسط عدسی تشکیل می‌شود، اما آینه‌ی نیمه



## سی و هشتمین المپیاد جهانی فیزیک

ایران- اصفهان- ۱۳۸۶ / ۲۰۰۷

ترجمه: روح‌اله خلیلی بروجنی  
www.avang.org

- ۱-۱. نیروی الکتریکی،  $F_E$ ، را محاسبه کنید که صفحه‌ها به یکدیگر وارد می‌کنند.
- ۱-۲. اگر جابه‌جایی صفحه‌ی متصل به فنر  $x$  باشد،  $x$  را پیدا کنید.
- ۱-۳. در این حالت، اختلاف پتانسیل الکتریکی  $V$  بین صفحه‌های خازن بر حسب  $A$ ،  $Q$ ،  $d$  و  $k$  چقدر است؟
- ۱-۴. ظرفیت خازن را که نسبت بار به اختلاف پتانسیل تعریف می‌شود،  $C$  بگیرید.  $C/C_0$  را بر حسب  $A$ ،  $Q$ ،  $d$  و  $k$  به دست آورید.
- ۱-۵. انرژی کل،  $U$ ، ذخیره شده در دستگاه بر حسب  $Q$ ،  $A$ ،  $d$  و  $k$  چقدر است؟

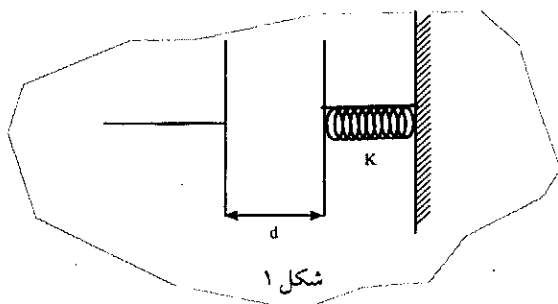
شماره: سی و هشتمین المپیاد جهانی فیزیک از ۲۲ تا ۳۱ تیر ماه ۱۳۸۶ در اصفهان برگزار شد. درخواست ایران برای میزبانی این المپیاد به سال ۱۳۷۲ باز می‌گردد که دبیرخانه‌ی المپیاد جهانی فیزیک در همان سال با آن موافقت نمود. ایران از سال ۱۳۶۸ در این مسابقه‌ی جهانی شرکت کرده و تاکنون سه بار مقام دوم را به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۳ به دست آورده است. در المپیاد سی و هشتم در مجموع ۷۸ کشور شرکت کردند که از این میان کشورهای نپال، اروگوئه، ازبکستان و مقدونیه برای نخستین بار و دو کشور افغانستان و لیختنشتاین به عنوان ناظر حضور داشتند. دانش‌آموزان ایرانی با کسب دو مدال طلا، دو مدال نقره و یک برنز رتبه‌ی هشتم را به دست آوردند.

### مسئله‌ی ۱ - کیسه‌ی ایمنی هوا

در این مسئله به یک مدل ساده شده‌ی شتاب‌سنج‌هایی می‌پردازیم که برای فعال کردن کیسه‌های ایمنی هوا در اتومبیل‌ها در هنگام تصادف طراحی شده‌اند. می‌خواهیم یک دستگاه الکترومکانیکی را طوری بسازیم که وقتی شتاب از حد معینی تجاوز کرد، یکی از پارامترهای الکتریکی دستگاه مانند ولتاژ در نقطه‌ی معینی از مدار از آستانه‌ای تجاوز کند و در نتیجه کیسه‌ی هوا فعال شود.

توجه: در این مسئله گرانی را نادیده بگیرید.

۱. خازنی با صفحه‌های موازی را مطابق شکل ۱ در نظر بگیرید. سطح هر صفحه‌ی این خازن  $A$  و فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر  $d$  است. فاصله‌ی بین دو صفحه بسیار کوچک‌تر از ابعاد صفحه‌هاست. یکی از این صفحه‌ها با فنری با ثابت فنر  $k$  در تماس با یک دیوار است، و صفحه‌ی دیگر ثابت است. وقتی فاصله‌ی بین صفحه‌ها  $d$  باشد فنر نه متراکم است و نه کشیده، به بیان دیگر نیرویی به فنر وارد نمی‌شود. فرض کنید که گذردهی هوای بین صفحه‌ها، برابر گذردهی خلأ  $\epsilon_0$  باشد. ظرفیت نظیر این فاصله بین صفحه‌های خازن  $C_0 = \epsilon_0 A / d$  است. بارهای  $+Q$  و  $-Q$  را روی صفحه‌های خازن قرار می‌دهیم و می‌گذاریم تا دستگاه به تعادل مکانیکی برسد.



شکل ۲، جرم  $M$  را نشان می‌دهد که به صفحه‌ای رسانا به جرم ناچیز و دو فنر مشابه با ثابت‌های فنر  $k$  متصل شده است. صفحه‌ی رسانا می‌تواند بین دو صفحه‌ی رسانای ثابت جلو و عقب برود. همه‌ی این صفحه‌ها مشابه و دارای مساحت یکسان  $A$  هستند. بنابراین این سه صفحه دو خازن را تشکیل می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، صفحه‌های ثابت به پتانسیل‌های  $V$  و  $-V$  متصل شده‌اند و صفحه‌ی وسطی با یک کلید در حالتی که زمین وصل شده است. سیم متصل به صفحه‌ی متحرک اختلالی در حرکت صفحه به وجود نمی‌آورد و این سه صفحه همواره موازی باقی می‌مانند. وقتی کل مجموعه شتاب نمی‌گیرد، فاصله‌ی هر صفحه‌ی ثابت از صفحه‌ی متحرک  $d$  و بسیار کوچک‌تر از ابعاد صفحه‌هاست. می‌توان ضخامت صفحه‌ی متحرک را نادیده گرفت. کلید می‌تواند در یکی از دو حالت  $\alpha$  و  $\beta$  باشد. فرض کنید

به سرعت باز شود و مانع از برخورد سرنشینان با شیشه‌ی جلوی فرمان اتومبیل گردد. همان‌طور که در بخش ۲ دیدید، نیروی وارد از فنرها و بارهای الکتریکی به صفحه‌ی متحرک را می‌توان به صورت فتری با ثابت فنر مؤثر  $k_{eff}$  نشان داد. تمام خازن مرکب مثل یک دستگاه جرم و فنر به جرم  $M$  و ثابت فنر  $k_{eff}$  است که تحت تأثیر شتاب ثابت  $a$  قرار دارد، که در این مسأله شتاب اتومبیل است.

توجه: در این قسمت از مسأله، این فرض که جرم و فنر تحت شتاب ثابت در حال تعادل و در نتیجه نسبت به اتومبیل ثابت هستند، صادق نیست.

اصطلاحکام را نادیده بگیرید و برای پارامترهای مسأله از مقدارهای عددی زیر استفاده کنید.

$$d = 1/0 \text{ cm} \quad \text{و} \quad A = 2/5 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \quad \text{و} \quad k = 4/2 \times 10^7 \text{ N/m}$$

$$\epsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2 \quad \text{و} \quad V = 12 \text{ V} \quad \text{و} \quad M = 0/15 \text{ kg}$$

۱-۴. با بهره‌گیری از این داده‌ها نسبت نیروی الکتریکی که در بخش ۲-۳ محاسبه کردید را به نیروی فنرها به دست آورید و نشان دهید که می‌توان از نیروهای الکتریکی در مقایسه با نیروهای فنر چشم‌پوشی کرد.

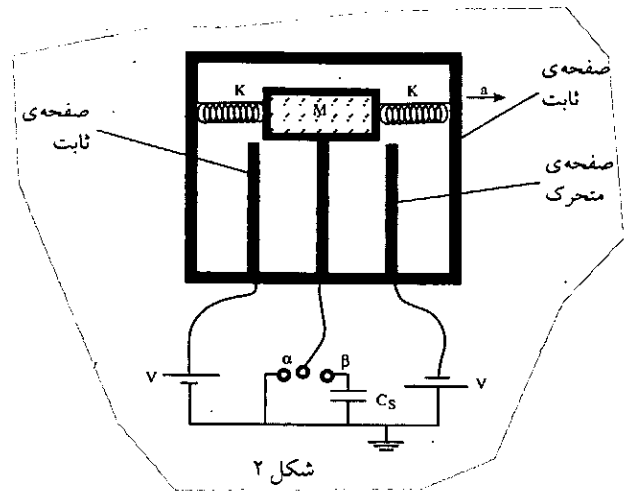
هر چند برای موردی که کلید در حالت  $\beta$  است نیروهای الکتریکی را محاسبه نکردیم، در این حالت، تقریباً به همان ترتیب، می‌توان نشان داد که نیروهای الکتریکی کوچکند و می‌توان آن‌ها را نادیده گرفت.

۲-۴. اگر اتومبیل در هنگام حرکت با سرعت ثابت، ناگهان با شتاب ثابت  $a$  ترمز کند، بیشینه‌ی جابه‌جایی صفحه‌ی متحرک چقدر است؟ پاسخ خود را به صورت پارامتری به دست آورید. فرض کنید کلید در حالت  $\beta$  و دستگاه به گونه‌ای طراحی شده باشد که وقتی ولتاژ الکتریکی دوسر خازن به  $V_s = 0/15 \text{ V}$  می‌رسد، کیسه‌ی هوا فعال شود. می‌خواهیم در هنگام ترمز کردن معمولی که شتاب اتومبیل کمتر از شتاب گرانی  $g = 9/8 \text{ m/s}^2$  می‌شود کیسه‌ی هوا فعال نشود ولی در غیر این صورت دیگر فعال شود.

۳-۴. برای این منظور  $C_s$  چقدر باید باشد؟ می‌خواهیم ببینیم آیا هرگاه کیسه‌ی هوا با سرعت کافی فعال می‌شود تا مانع از برخورد سرنشینان به شیشه‌ی جلوی فرمان اتومبیل می‌شود. فرض کنید در نتیجه‌ی تصادف، اتومبیل شتاب منفی برابر  $g$  به دست می‌آورد اما سرنشینان به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه دهند.

۴-۴. با برآورد فاصله‌ی بین سر راننده و فرمان، زمان  $t_1$  را که طول می‌کشد تا سر راننده به فرمان برخورد حساب کنید.

۵-۴. زمان  $t_2$  پیش از فعال شدن کیسه‌ی هوا را پیدا کنید و آن را با  $t_1$  مقایسه کنید. آیا کیسه‌ی هوا در این مدت فعال است؟ فرض کنید که کیسه‌ی هوا بلافاصله باز شود.



خازن مرکب همراه با اتومبیل شتاب می‌گیرد، و شتاب ثابت است. فرض کنید که در مدت این شتاب گرفتن ثابت، فنر نوسان نکند و همه‌ی اجزای این خازن مرکب در وضعیت تعادل باشند، یعنی، نسبت به یکدیگر، و در نتیجه نسبت به اتومبیل حرکت نکنند. به علت شتاب گرفتن، صفحه‌ی متحرک به اندازه‌ی معین  $x$  از وسط دو صفحه‌ی ثابت جابه‌جا می‌شود.

۲. موردی را در نظر بگیرید که کلید در حالت  $\alpha$  است، یعنی صفحه‌ی متحرک از طریق سیم به زمین متصل است، در این صورت:

۱-۲. بار روی هر خازن را بر حسب  $x$  پیدا کنید.  
۲-۲. نیروی الکتریکی خالص،  $F_E$ ، وارد بر صفحه‌ی متحرک را بر حسب  $x$  بیابید.

۳-۲. فرض کنید  $d \gg x$  و از جمله‌های از مرتبه  $x^2$  در مقابل جمله‌های از مرتبه  $d^2$  می‌توان چشم‌پوشی کرد. جواب بخش قبلی را ساده کنید.

۴-۲. نیروی کل (مجموع نیروهای الکتریکی و فنر) وارد بر صفحه‌ی متحرک را به صورت  $-k_{eff}x$  بنویسید و شکل  $k_{eff}$  را به دست آورید.

۵-۲. شتاب ثابت  $a$  را بر حسب  $x$  بیان کنید.

۳. اکنون فرض کنید که کلید در حالت  $\beta$  باشد، یعنی صفحه‌ی متحرک با خازنی که ظرفیت آن  $C_s$  است به زمین متصل شود. اگر صفحه‌ی متحرک به اندازه‌ی  $x$  از وضعیت مرکزی خود جابه‌جا شود،

۱-۳. اختلاف پتانسیل الکتریکی،  $V_s$ ، دوسر خازن  $C_s$  را بر حسب  $x$  پیدا کنید.

۲-۳. باز هم فرض کنید که  $d \gg x$  و از جمله‌های مرتبه‌ی  $x^2$  در مقابل جمله‌های از مرتبه‌ی  $d^2$  چشم‌پوشی کنید. پاسخ قسمت پیش را ساده کنید.

۴. می‌خواهیم پارامترهای این مسأله را طوری تنظیم کنیم که کیسه‌ی هوا در ترمز کردن معمولی فعال نشود اما در هنگام تصادف

## مسئله ۲ - تحلیل ابعادی - سیاهچاله ها

در فیزیک، هرگاه یک رابطه‌ی تساوی داشته باشیم، هر دو طرف معادله باید از یک نوع باشند، یعنی ابعاد یکسانی داشته باشند. برای مثال، نمی‌توان وضعیتی داشت که کمیت طرف راست معادله طول را نشان دهد و کمیت طرف راست نشانگر یک بازه‌ی زمانی باشد. با استفاده از این واقعیت، گاهی می‌توان شکل رابطه‌ی فیزیکی را بدون حل تحلیلی آن تقریباً به دست آورد. برای مثال، اگر از ما بخواهند که زمان سقوط یک جسم از ارتفاع  $h$  را تحت تأثیر شتاب گرانشی ثابت  $g$  به دست آوریم، می‌توان استدلال کرد که باید کمیتی را برای نشان دادن بازه‌ی زمانی با استفاده از کمیت‌های  $g$  و  $h$  ساخت و تنها راه انجام این کار به صورت  $T = a(h/g)^{1/2}$  است. توجه کنید که این جواب دارای یک ضریب تعیین نشده‌ی  $a$  بی‌بعد است که با این روش نمی‌توان آن را تعیین کرد. این ضریب می‌تواند عددی چون  $1$ ،  $\frac{1}{2}$ ،  $\sqrt{3}$ ،  $\pi$ ، یا هر عدد حقیقی دیگر باشد. این روش به دست آوردن رابطه‌های فیزیکی را تحلیل ابعادی می‌نامند.

در تحلیل ابعاد، ضریب‌های بی‌بعد اهمیت ندارند و لازم نیست آن‌ها را بنویسیم. خوشبختانه در اغلب مسأله‌های فیزیکی این ضریب‌ها از مرتبه‌ی ۱ هستند و حذف آن‌ها مرتبه‌ی اندازه‌ی کمیت‌های فیزیکی را تغییر نمی‌دهد. به این ترتیب، با استفاده از تحلیل ابعادی برای مسئله‌ی بالا،  $T = (h/g)^{1/2}$  به دست می‌آید. معمولاً، ابعاد یک کمیت فیزیکی را بر حسب ابعاد چهار کمیت اصلی می‌نویسند:  $M$  (جرم)،  $L$  (طول)،  $T$  (زمان)، و  $K$  (دما). ابعاد کمیت اختیاری  $x$  با  $[x]$  نشان داده می‌شود. به عنوان مثال، ابعاد سرعت  $v$ ، انرژی جنبشی  $E_k$  و ظرفیت گرمایی  $C_v$  را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$[C_v] = ML^1T^{-2}K^{-1}, [E_k] = ML^2T^{-2}, [v] = LT^{-1}$$

### ۱. ثابت‌های بنیادی و تحلیل ابعادی

۱-۱. ابعاد ثابت‌های بنیادی زیر را بر حسب ابعاد طول، جرم، زمان، و دما به دست آورید. ثابت پلانک  $h$ ، سرعت نور  $c$ ، ثابت گرانشی عمومی  $G$ ، و ثابت بولتزمن  $k_B$ .  
قانون استفان بولتزمن بیان می‌کند که توان گسیل شده از جسم سیاه برابر انرژی کلی است که از واحد سطح جسم سیاه در واحد زمان تابش می‌شود و برابر  $\sigma\theta^4$  است که در آن  $\sigma$  ثابت استفان بولتزمن و  $\theta$  دمای مطلق حجم سیاه است.

۱-۲. ابعاد ثابت استفان بولتزمن را بر حسب ابعاد طول، جرم، زمان و دما تعیین کنید.  
ثابت استفان بولتزمن، یک ثابت بنیادی نیست و می‌توان آن را به صورت  $\sigma = ah^{\alpha}c^{\beta}G^{\gamma}k_B^{\delta}$  بر حسب ثابت‌های بنیادی نوشت.

در این رابطه  $a$  پارامتری بدون بعد از مرتبه‌ی ۱ است. همان‌طور که قبلاً گفتیم، مقدار دقیق  $a$  از این دیدگاه مهم نیست، بنابراین آن را مساوی ۱ می‌گیریم.  
۳-۱. با استفاده از تحلیل ابعادی  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\delta$  را پیدا کنید.

### ۲. فیزیک سیاهچاله‌ها

در این بخش از مسئله، می‌خواهیم برخی از ویژگی‌های سیاهچاله‌ها را با استفاده از تحلیل ابعادی به دست آوریم. طبق قضیه‌ای در فیزیک، که به «قضیه‌ی بدون مو» معروف است، تمام ویژگی‌های سیاهچاله که در این مسئله در نظر می‌گیریم فقط به جرم سیاهچاله بستگی دارد. یک ویژگی سیاهچاله، مساحت افق رویداد<sup>۱</sup> است. تقریباً می‌توان گفت که افق رویداد، مرز سیاهچاله است. در محدوده‌ی این مرز، گرانی به اندازه‌ای قوی است که حتی نور نمی‌تواند از ناحیه‌ای بگریزد که این مرز آن را محدود کرده است.

می‌خواهیم رابطه‌ای بین جرم سیاهچاله،  $m$ ، و مساحت افق رویداد،  $A$ ، به دست آوریم. این مساحت به جرم سیاهچاله، سرعت نور، و ثابت گرانش عمومی بستگی دارد. مانند بخش ۱-۳ می‌نویسیم  $A = G^{\alpha}c^{\beta}m^{\gamma}$ .

۱-۲. با استفاده از تحلیل ابعادی  $\alpha$ ،  $\beta$ ، و  $\gamma$  را پیدا کنید.  
از نتیجه‌ی ۱-۲ معلوم می‌شود که مساحت افق رویداد سیاهچاله با زیاد شدن جرم آن افزایش می‌یابد. از دیدگاه کلاسیک، هیچ چیزی از سیاهچاله خارج نمی‌شود و در نتیجه در تمام فرایندهای فیزیکی مساحت افق رویداد تنها می‌تواند افزایش یابد. در مقایسه با قانون دوم ترمودینامیک، بگنشتاین<sup>۲</sup> پیشنهاد اختصاص آنتروپی  $S$  متناسب با مساحت افق رویداد را به سیاهچاله مطرح کرد، یعنی  $S = \eta A$ . این فرض با استفاده از استدلال‌های دیگر منطقی‌تر می‌شود.

۲-۲. با استفاده از تعریف ترمودینامیکی آنتروپی  $dS = dQ/\theta$  ابعاد آن را بیابید.  $dQ$  گرمای مبادله شده و  $\theta$  دمای مطلق دستگاه است.

۳-۲. مانند مورد ۱-۳، ثابت بی‌بعد  $\eta$  را بر حسب ثابت‌های بنیادی  $h$ ،  $c$ ،  $G$  و  $k_B$  بیان کنید.

برای حل بقیه‌ی مسأله از تحلیل ابعادی استفاده نکنید، اما می‌توانید از نتیجه‌های به دست آمده در بخش‌های قبلی استفاده کنید.

### ۳. تابش هاوکینگ<sup>۳</sup>

به ریاضاتی نیمه کوانتوم مکانیکی<sup>۵</sup>، هاوکینگ استدلال کرد که برخلاف دیدگاه کلاسیک، سیاهچاله‌ها تابشی شبیه تابش جسم سیاه در دمایی موسوم به دمای هاوکینگ از خود گسیل می‌کنند.  
۱-۳. با استفاده از رابطه‌ی  $E = mc^2$ ، که انرژی سیاهچاله را

بر حسب جرمش به دست می‌دهد، و قانون دوم ترمودینامیک دمای هاوکینگ  $\theta_H$  سیاهچاله را بر حسب جرم آن و ثابت‌های بنیادی بیان کنید. فرض کنید که سیاهچاله روی محیط اطراف خود کار انجام نمی‌دهد.

۲-۳. جرم یک سیاهچاله‌ی منزوی به علت تابش هاوکینگ تغییر می‌کند. با بهره‌گیری از قانون استفان بولتزمن رابطه‌ی این آهنگ تغییر دمای هاوکینگ،  $\theta_H$ ، سیاهچاله را بیابید و آن را بر حسب جرم سیاهچاله و ثابت‌های بنیادی بیان کنید.

۳-۳. زمان  $t^*$  لازم برای تبخیر کامل تمام جرم  $m$  یک سیاهچاله‌ی منزوی، یعنی برای از دست دادن تمام جرمش را پیدا کنید.

از دیدگاه ترمودینامیک، سیاهچاله‌ها رفتارهای عجیب و غریبی را از خود نشان می‌دهند. برای مثال، ظرفیت گرمایی یک سیاهچاله منفی است.

۴-۳. ظرفیت گرمایی سیاهچاله‌ای به جرم  $m$  را پیدا کنید.

#### ۴. سیاهچاله‌ها و تابش زمینه‌ی کیهانی

سیاهچاله‌ای را در نظر بگیرید که در معرض تابش زمینه‌ی کیهانی است. تابش زمینه‌ی کیهانی تابش جسم سیاه در دمای  $\theta_B$  است که تمام عالم را پر می‌کند. جسمی با مساحت سطح کل  $A$ ، انرژی برابر  $\sigma \theta_B^4 \times A$  را در واحد زمان دریافت می‌کند. بنابراین، یک سیاهچاله، از طریق تابش هاوکینگ انرژی از دست می‌دهد و از تابش زمینه‌ی کیهانی انرژی می‌گیرد.

۱-۴. آهنگ تغییر جرم یک سیاهچاله را بر حسب جرم سیاهچاله، دمای تابش زمینه‌ی کیهانی، و ثابت‌های بنیادی به دست آورید.

۲-۴. در جرم معین،  $m^*$ ، این آهنگ تغییر صفر می‌شود. جرم  $m^*$  را بیابید و آن را بر حسب  $\theta_B$  و ثابت‌های بنیادی بیان کنید.

۳-۴. با استفاده از پاسخ قسمت ۲-۴ برای قرار دادن  $\theta_B$  در

پاسخ قسمت ۴-۱ آهنگ تغییر جرم یک سیاهچاله را بر حسب  $m$ ،  $m^*$  و ثابت‌های بنیادی بیان کنید.

۴-۴. دمای هاوکینگ یک سیاهچاله در تعادل گرمایی با تابش زمینه‌ی کیهانی را پیدا کنید.

۵-۴. تعادل پایدار است یا ناپایدار؟ چرا؟ (پاسخ خود را به صورت ریاضی بیان کنید).

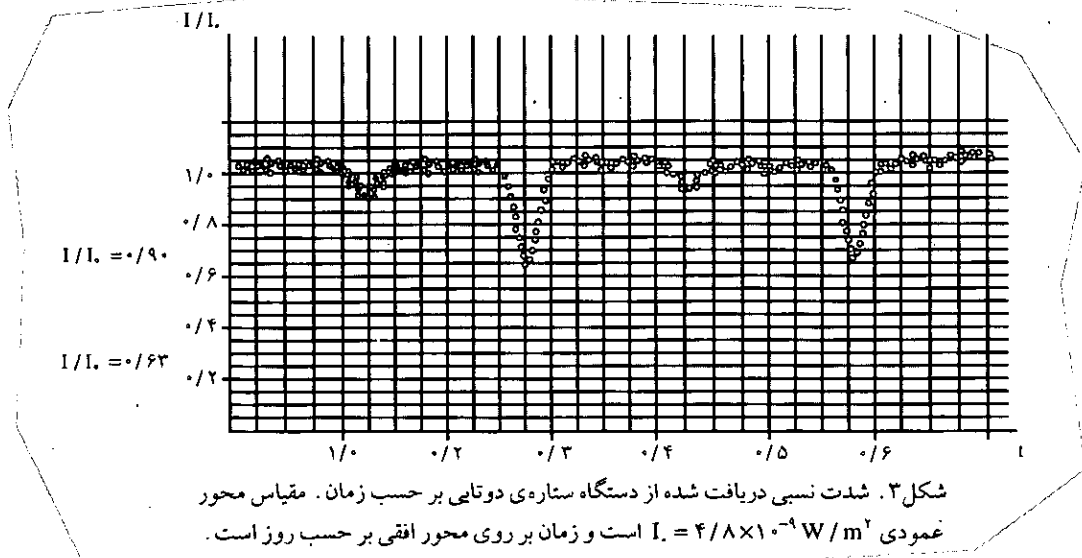
#### مسئله‌ی ۳. ستارگان دوتایی

دو ستاره که حول مرکز جرمشان می‌چرخند یک دستگاه ستاره‌ی دوتایی را تشکیل می‌دهند. تقریباً نیمی از ستارگان کهکشان ما دستگاه‌های ستاره‌ی دوتایی‌اند. تشخیص سرشت دوتایی اغلب این دستگاه‌ها از زمین راحت نیست، زیرا فاصله‌ی بین دو ستاره بسیار کم‌تر از فاصله‌ی آن‌ها از ماست و در نتیجه نمی‌توان ستارگان را با تلسکوپ از هم تفکیک کرد. بنابراین، برای مشاهده‌ی تغییرات شدت یا طیف یک ستاره‌ی خاص و پی بردن به این که یک دستگاه دوتایی هست یا نه، باید از نورسنجی یا طیف‌سنجی استفاده کرد.

#### ۱. نورسنجی ستارگان دوتایی

اگر درست روی صفحه‌ی حرکت دو ستاره باشیم، و سپس یک ستاره، ستاره‌ی دیگر را در زمان‌های معینی استتار<sup>۱</sup> کند (از جلوی آن بگذرد) و شدت کل دستگاه از محل رصد ما بر حسب زمان تغییر کند، این دستگاه‌های دوتایی را دوتایی‌های کسوفی<sup>۲</sup> می‌نامند.

۱- فرض کنید درست روی صفحه‌ی حرکت یک دستگاه دوتایی ایستاده‌ایم و دو ستاره در مدارهای دایره‌ای با سرعت زاویه‌ای ثابت  $\omega$  دور مرکز جرمشان می‌چرخند. همین‌طور فرض کنید دمای سطح ستاره‌ها  $T_1$  و  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) و شعاع آن‌ها به ترتیب  $R_1$  و  $R_2$  ( $R_1 > R_2$ ) باشد. در شکل ۳ شدت کل نور، که



شکل ۳. شدت نسبی دریافت شده از دستگاه ستاره‌ی دوتایی بر حسب زمان. مقیاس محور عمودی  $I_0 = 4/8 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$  است و زمان بر روی محور افقی بر حسب روز است.

از زمین اندازه گرفته می شود، بر حسب زمان رسم شده است. اندازه گیری های دقیق نشان می دهد که شدت کمینه ی نور این ستارگان به ترتیب نظیر ۹۰ و ۶۳ درصد شدت بیشینه ی I<sub>۱</sub> است که از دو ستاره دریافت می شود ( $I_1 = 4/8 \times 10^{-4} W/m^2$ ). در شکل ۳ محور عمودی نسبت I/I<sub>۱</sub> و محور افقی زمان بر حسب روز است.

۱-۱. دوره ی حرکت مداری را پیدا کنید. پاسخ خود را بر حسب ثانیه و با دو رقم با معنی بنویسید.

سامد زاویه ای دستگاه بر حسب رادیان بر ثانیه چقدر است؟ با تقریب خوب، تابش دریافتی از یک ستاره تابش جسم سیاه یکنواختی است که از قرصی تخت با شعاع مساوی ستاره گسیل می شود. در نتیجه، توان دریافتی از ستاره با  $AT^4$  متناسب است که در آن A سطح قرص و T دمای سطح ستاره است. ۲-۱. با استفاده از نمودار شکل ۳ نسبت های  $T_1/T_2$  و  $R_1/R_2$  را پیدا کنید.

## ۲. طیف سنجی دستگاه های دوتایی

در این بخش می خواهیم ویژگی های نجومی یک ستاره ی دوتایی را به کمک داده های طیف سنجی تجربی این دستگاه دوتایی حساب کنیم.

اتم ها تابش را در طول موج های مشخص جذب یا گسیل می کنند. در نتیجه، طیف جذبی مشاهده شده ی یک ستاره حاوی خط های جذبی ناشی از اتم های جو ستاره است. سدیم یک خط زرد مشخصه (خط  $D_1$ ) با طول موج  $5895/98^\circ$  دارد ( $10^9 \text{ nm} = 10^9 \text{ m}$ ). طیف جذبی سدیم اتمی در این طول موج را برای دستگاه دوتایی بخش پیش بررسی می کنیم. طیف نوری که از این ستاره ی دوتایی دریافت می کنیم به واسطه حرکت ستاره ها نسبت به ما انتقال دوپلری پیدا می کند. هر ستاره دارای اندازه ی سرعت متفاوت است. بنابراین، طول موج جذب هر ستاره دارای انتقال دوپلری متفاوت می شود. چون اندازه ی سرعت ستارگان بسیار کم تر از سرعت نور است برای مشاهده ی انتقال دوپلری، به اندازه گیری های بسیار دقیق طول موج نیاز داریم. در این مسأله اندازه

جدول ۱: طیف جذبی دستگاه ستاره ی دوتایی برای خط  $D_1$  سدیم

روز	۰٫۳	۰٫۶	۰٫۹	۱٫۲	۱٫۵	۱٫۸	۲٫۱	۲٫۴
$\lambda_1 (\text{Å})$	۵۸۹۷٫۵	۵۸۹۷٫۷	۵۸۹۷٫۲	۵۸۹۶٫۲	۵۸۹۵٫۱	۵۸۹۴٫۳	۵۸۹۴٫۱	۵۸۹۴٫۶
$\lambda_2 (\text{Å})$	۵۸۹۳٫۱	۵۸۹۲٫۸	۵۸۹۳٫۷	۵۸۹۶٫۲	۵۸۹۷٫۳	۵۸۹۸٫۷	۵۸۹۹٫۰	۵۸۹۸٫۱

روز	۲٫۷	۳٫۰	۳٫۳	۳٫۶	۳٫۹	۴٫۲	۴٫۵	۴٫۸
$\lambda_1 (\text{Å})$	۵۸۹۵٫۶	۵۸۹۶٫۷	۵۸۹۷٫۳	۵۸۹۷٫۷	۵۸۹۷٫۲	۵۸۹۶٫۲	۵۸۹۵٫۱	۵۸۹۴٫۳
$\lambda_2 (\text{Å})$	۵۸۹۶٫۴	۵۸۹۶٫۵	۵۸۹۳٫۱	۵۸۹۲٫۸	۵۸۹۳٫۷	۵۸۹۶٫۲	۵۸۹۷٫۰	۵۸۹۸٫۱

سرعت مرکز جرم دستگاه دوتایی بسیار کم تر از سرعت های مداری ستارگان است. در نتیجه انتقال های دوپلری را فقط ناشی از سرعت مداری این ستارگان در نظر می گیریم. جدول ۱ طیف اندازه گیری شده ی ستارگان را در دستگاه دوتایی رصد شده نشان می دهد.

۲-۲. با استفاده از جدول ۱،

۱-۲. سرعت مداری هر ستاره را  $v_1$  و  $v_2$  بگیرد.  $v_1$  و  $v_2$  را پیدا کنید.

سرعت نور  $c = 3/0 \times 10^8 \text{ m/s}$  است و همه ی اثرهای نسبی را نادیده بگیرد.

۲-۲. نسبت جرم ستارگان  $m_1/m_2$  را پیدا کنید.

۳-۲. فاصله ی هر ستاره را از مرکز جرمشان  $r_1$  و  $r_2$  بگیرد.  $r_1$  و  $r_2$  را پیدا کنید.

۴-۲. فاصله ی بین ستارگان را  $r$  بگیرد.  $r$  را پیدا کنید.

## ۳. نیروی گرانشی بین ستارگان

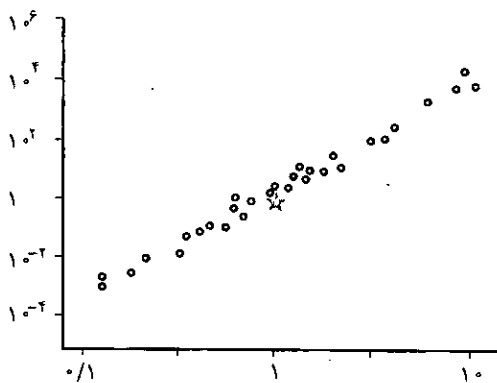
۳-۱. نیروی گرانشی، تنها نیروی موجود بین این ستارگان است. ۱-۳. جرم هر ستاره را با یک رقم با معنی به دست آورید. ثابت گرانش عمده ی  $G = 6/7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  است.

## ۴. ویژگی های کلی ستارگان

۴-۱. سازوکار تولید انرژی در اغلب ستارگان یکسان است. به این دلیل، رابطه ی تجربی بین جرم M، و درخشندگی L که توان تابشی کل ستاره است، وجود دارد. این رابطه را می توان به صورت  $(L/L_{\text{sun}}) = (M/M_{\text{sun}})^{\alpha}$  نوشت. در این جا،  $M_{\text{sun}} = 2/0 \times 10^{30} \text{ kg}$  جرم خورشید و  $L_{\text{sun}} = 3/9 \times 10^{26} \text{ W}$  درخشندگی خورشید است. این رابطه در شکل ۴ به صورت نموداری لگاریتمی نشان داده شده است.

۴-۱.  $\alpha$  را تا یک رقم با معنی پیدا کنید.

۴-۲. درخشندگی ستارگان دستگاه دوتایی را که در بخش های پیش بررسی کردید  $L_1$  و  $L_2$  بگیرد.  $L_1$  و  $L_2$  را پیدا کنید.



شکل ۴. درخشندگی یک ستاره بر حسب جرم آن به صورت نمای تغییر می کند. این نمودار لگاریتمی است. نماد ستاره خورشید را با جرم  $2/0 \times 10^{30} \text{ kg}$  و درخشندگی  $3/9 \times 10^{26} \text{ W}$  نشان می دهد.

۳-۴. فاصله  $d$  دستگاه دوتایی از ما بر حسب سال نور چقدر است؟

برای یافتن فاصله می‌توانید از نمودار شکل ۴ استفاده کنید. هر سال نوری فاصله‌ای است که نور در یک سال می‌پیماید.  
۴-۴. بیشینه‌ی فاصله‌ی زاویه‌ای  $\theta$  بین ستارگان از نقطه‌ی رصد ما چقدر است؟

۵-۴. کوچک‌ترین اندازه‌ی روزنه‌ی تلسکوپ اپتیکی،  $D$ ، که می‌تواند این دو ستاره را از هم تفکیک کند چقدر است؟

## پاسخ تشریحی مسئله‌ها

### حل مسئله‌ی ۱

۱-۱. ابتدا برای به دست آوردن میدان الکتریکی از قانون گاوس برای یک تک صفحه استفاده می‌کنیم

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

از طرفی چگالی بار سطحی برای صفحه‌ای با بار  $Q$  و مساحت  $A$  برابر  $\sigma = Q/A$  است. چون میدان الکتریکی ناشی از دو صفحه‌ی موازی هم‌ارز است، سهم هر صفحه در میدان الکتریکی  $\frac{1}{2}E$  است. بنابه تعریف، نیرو برابر با میدان الکتریکی ضرب در بار است، پس داریم

$$\text{نیرو} = F = \frac{1}{2}EQ = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 A}$$

۲-۱. قانون هوک برای یک فنر به صورت  $F_m = -kx$  است با توجه به نتیجه ۱-۱ و شرط تعادل  $F_m = F_e$  داریم

$$kx = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 A} \Rightarrow x = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 Ak}$$

۳-۱. چون میدان الکتریکی ثابت است، اختلاف پتانسیل  $V$  برابر است با

$$V = E(d-x)$$

(رہیافت‌های منطقی دیگر نیز قابل قبول است. مثلاً می‌توان از تعریف ظرفیت برای به دست آوردن  $V$  استفاده کرد) با قرار دادن میدان الکتریکی از قسمت پیش در معادله‌ی بالا، به دست می‌آوریم

$$V = \frac{Qd}{\epsilon_0 A} \left(1 - \frac{Q^2}{2\epsilon_0 Akd}\right)$$

۴-۱. ظرفیت  $C$  به صورت نسبت بار به اختلاف پتانسیل تعریف می‌شود، یعنی  $C = Q/V$ . با توجه به نتیجه‌ی ۱-۳ داریم

$$\frac{C}{C_0} = \left(1 - \frac{Q^2}{2\epsilon_0 Akd}\right)$$

۵-۱. توجه کنید که هم انرژی کشسانی فنر  $U_m = \frac{1}{2}kx^2$ ، و

هم انرژی الکتریکی  $U_E = \frac{Q^2}{2C}$  در خازن ذخیره شده است. در نتیجه انرژی ذخیره شده کل در دستگاه برابر است با

$$U = \frac{Q^2 d}{2\epsilon_0 A} \left(1 - \frac{Q^2}{2\epsilon_0 Akd}\right)$$

۱-۲. برای مقدار معین  $x$  بار روی هر خازن برابر است با

$$Q_1 = VC_1 = \frac{\epsilon_0 AV}{d-x}, \quad Q_2 = VC_2 = \frac{\epsilon_0 AV}{d+x}$$

۲-۲. توجه کنید که دو خازن داریم. با استفاده از نتیجه ۱-۱ برای هر خازن داریم

$$F_1 = \frac{Q_1^2}{2\epsilon_0 A}, \quad F_2 = \frac{Q_2^2}{2\epsilon_0 A}$$

چون این دو نیرو در جهت مخالف یکدیگرند، نیروی الکتریکی برآیند برابر است با

$$F_E = F_1 - F_2 \Rightarrow F_E = \frac{\epsilon_0 AV^2}{2} \left(\frac{1}{(d-x)^2} - \frac{1}{(d+x)^2}\right)$$

۳-۲. با نادیده گرفتن جمله‌های از مرتبه  $x^2$  و بالاتر در پاسخ ۲-۲ داریم

$$F_E = \frac{2\epsilon_0 AV^2}{d^2} x$$

۴-۲. در این جا دو فنر با ثابت فنر یکسان،  $k$ ، به طور متوالی قرار گرفته‌اند. در نتیجه نیروی مکانیکی برابر است با

$$F_m = -2kx$$

با ترکیب این نتیجه با پاسخ ۲-۲ و با توجه به این که دو نیرو در جهت مخالف یکدیگرند، داریم

$$F = F_m + F_E = -2\left(k - \frac{\epsilon_0 AV^2}{d^2}\right)x$$

از مقایسه رابطه‌ی اخیر با رابطه‌ی  $F = -k_{\text{eff}}x$  خواهیم داشت

$$k_{\text{eff}}x = 2\left(k - \frac{\epsilon_0 AV^2}{d^2}\right)x$$

۵-۲. با توجه به قانون دوم نیوتون  $F = ma$  و پاسخ ۴-۲ داریم

$$a = -\frac{2}{m} \left(k - \frac{\epsilon_0 AV^2}{d^2}\right)x$$

۱-۳. با شروع از قانون‌های کیرشهوف برای دو مدار الکتریکی، داریم

$$\frac{Q_s}{C_s} + V - \frac{Q_r}{C_r} = 0, \quad -\frac{Q_s}{C_s} + V - \frac{Q_l}{C_l} = 0,$$

$$Q_r - Q_l + Q_s = 0$$

با توجه به این که  $V_s = Q_s / C_s$ ، به دست می‌آوریم



$$t_1 = 0.36 - 0.05s$$

۵-۴. زمان  $t_2$  نصف دوره‌ی نوسانگر هماهنگ است. پس

$$t_2 = \frac{T}{2}$$

از طرفی دوره‌ی یک نوسانگر هماهنگ ساده از رابطه‌ی

$$T = 2\pi\sqrt{m/k}$$

چون  $t_1 > t_2$  است، پس کیسه هوا در زمان مناسب فعال می‌شود.

## حل مسئله ۲

۱-۱. برای به دست آوردن ابعاد کمیت‌های مورد نظر از

معادله‌های منطقی در هر مورد استفاده می‌کنیم

(I) رابطه پلانک به صورت  $hf = E$  است. بنابراین

$$[h][f] = [E] \Rightarrow [h] = [E][f]^{-1} = ML^2T^{-1}$$

$$[c] = LT^{-1} \quad (II)$$

$$F = \frac{Gmm}{r^2} \Rightarrow [G] = [F][r^2][m]^{-2} = M^{-1}L^3T^{-2} \quad (III)$$

$$E = k_B\theta \Rightarrow [k_B] = [\theta]^{-1}[E] = ML^2T^{-2}K^{-1}$$

۲-۱. با استفاده از قانون استفان بولتزمن و یا هر رابطه‌ی

مناسب دیگر داریم

$$\frac{\text{توان}}{\text{سطح}} = \sigma\theta^4 \Rightarrow [\sigma] = [E]L^{-2}T^{-4}K^{-4}$$

۳-۱. ثابت استفان بولتزمن با در نظر گرفتن، یک ضریب

عددی، برابر است با

$$\sigma = h^\alpha c^\beta G^\gamma k_B^\delta$$

که  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$ ،  $\delta$  از تحلیل ابعادی به دست می‌آیند. پس

$$[\sigma] = [h]^\alpha [c]^\beta [G]^\gamma [k_B]^\delta$$

$$ML^2T^{-2}K^{-4} = (ML^2T^{-1})^\alpha (LT^{-1})^\beta (M^{-1}L^3T^{-2})^\gamma (ML^2T^{-2}K^{-1})^\delta$$

$$= M^{\alpha-\gamma+\delta} L^{2\alpha+\beta+3\gamma+2\delta} T^{-\alpha-\beta-2\gamma-2\delta} K^{-\delta}$$

بنابراین

$$\begin{cases} \alpha - \gamma + \delta = 1 \\ 2\alpha + \beta + 3\gamma + 2\delta = 0 \\ -\alpha - \beta - 2\gamma - 2\delta = -3 \\ -\delta = -4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = -3 \\ \beta = -2 \\ \gamma = 0 \\ \delta = 4 \end{cases} \Rightarrow \sigma = \frac{k_B^4}{c^3 h^3}$$

۲-۱. چون باید  $A$ ، مساحت افق رویداد بر حسب  $m$  را با

استفاده از نظریه‌ی کلاسیک گرانی نسبیتی، یعنی، همان نسبیت

عام محاسبه کرد پس ترکیبی از سرعت نور  $c$  و مشخصه‌ی نسبیت

خاص ثابت گرانش عمومی  $G$  مشخصه‌ی گرانی است. توجه کنید

که  $A$  مستقل از ثابت پلانک  $h$  است که مشخصه‌ی پدیده‌های

$$V_s = V \frac{\epsilon_0 A x / (d^2 - x^2)}{C_s + [\epsilon_0 A d / (d^2 - x^2)]}$$

توجه: شاید دانش‌آموزان رابطه‌ی بالا را با استفاده از تقریب

$d^2 \gg x^2$  ساده کنند. این موضوع در این بخش اشکالی ندارد.

۲-۳. با نادیده گرفتن جمله‌های از مرتبه‌ی  $x^2$  و بالاتر در

پاسخ ۱-۳ داریم

$$V_s = V \frac{\epsilon_0 A x}{d^2 C_s + \epsilon_0 A d}$$

۱-۴. نسبت نیروهای الکتریکی به نیروی مکانیکی (فنز)

برابر است با

$$\frac{F_E}{F_m} = \frac{\epsilon_0 A V^2}{k d^2}$$

با قرار دادن مقادیر عددی داریم

$$F_E / F_m = 7/6 \times 10^{-9}$$

از این نتیجه می‌توان دید که از نیروهای الکتریکی می‌توان در

مقایسه با نیروهای کشسانی چشمپوشی کرد.

۲-۴. همان گونه که در بخش قبل دیدیم می‌توان فرض کرد

که تنها نیروی وارد بر صفحه‌ی متحرک ناشی از فنرهاست،

$F = 2kx$ . بنابراین در تعادل مکانیکی، جابه‌جایی صفحه‌ی

متحرک برابر است با  $x = \frac{ma}{2k}$

مانند دستگاه جرم-فنر که جرم آن در میدان نیروی گرانشی

سقوط می‌کند، بیشینه‌ی جابه‌جایی دو برابر این مقدار است. پس:

$$x_{\max} = 2x = \frac{ma}{k}$$

۳-۴. در شتاب  $a = g$ ، بیشینه‌ی جابه‌جایی برابر است با

$$x_{\max} = \frac{mg}{k}$$

علاوه بر این، از نتیجه‌ی ۲-۳ داریم

$$V_s = V \frac{\epsilon_0 A x_{\max}}{d^2 C_s + \epsilon_0 A d}$$

این باید همان مقداری باشد که در مسأله داده شده است،

۰/۱۵۷

$$C_s = \frac{\epsilon_0 A}{d} \left( \frac{V x_{\max}}{V_s d} - 1 \right)$$

$$\Rightarrow C_s = 8/0 \times 10^{-11} F$$

۴-۴. اگر فاصله‌ی بین سر راننده و فرمان اتومبیل باشد،

مقدار آن را می‌توان حدود  $0.4m$  تا  $1m$  برآورد کرد.

درست وقتی که اتومبیل شتاب می‌گیرد، سرعت سر راننده

نسبت به اتومبیل صفر است،  $\Delta V(t=0) = 0$ ، پس

$$l = \frac{1}{2} g t_1^2 \Rightarrow t_1 = \sqrt{\frac{2l}{g}}$$

به این ترتیب برای  $l = 0.4m - 1m$  داریم

$$A = G^\alpha c^\beta m^\gamma$$

باهره گیری از تحلیل ابعادی داریم

$$[A] = [G]^\alpha [c]^\beta [m]^\gamma \Rightarrow L^1 = (M^{-1} L^2 T^{-1})^\alpha (L T^{-1})^\beta M^\gamma$$

تساوی بالا وقتی برقرار است که

$$L^1 = M^{-\alpha+\gamma} L^{-2\alpha+\beta} T^{-\alpha-\beta} \Rightarrow \alpha = 2, \beta = -4, \gamma = 2$$

$$A = \frac{m^2 G^2}{c^4}$$

۲-۲. از تعریف آنتروپی داریم

$$dS = \frac{dQ}{\theta} \Rightarrow [S] = [E][\theta]^{-1} = ML^2 T^{-2} K^{-1}$$

۳-۲. با توجه به  $\eta = S/A$  داریم

$$\begin{cases} [\eta] = [S][A]^{-1} = MT^{-2} K^{-1} \\ [\eta] = [G]^\alpha [h]^\beta [k_B]^\delta = M^{-\alpha+\beta+\delta} L^{2\alpha+\beta+\gamma+\delta} T^{-2\alpha-\beta-\gamma} K^{-\delta} \end{cases}$$

از دو دستگاه دو معادله ای بالا خواهیم داشت

$$\alpha = -1, \beta = -1, \gamma = 3, \delta = 1 \Rightarrow \eta = \frac{c^2 k_B}{Gh}$$

۱-۳. قانون اول ترمودینامیک  $dE = dQ + dW$  است. با

فرض  $dW = 0$  و تعریف آنتروپی  $dS = dQ/\theta$  به دست می آوریم

$$dE = \theta_H dS +$$

با استفاده از  $S = \frac{Gk_B}{ch} m^2$  و  $E = mc^2$  خواهیم داشت

$$\theta_H = \frac{dE}{ds} = \left(\frac{dS}{dE}\right)^{-1} = c^2 \left(\frac{dS}{dm}\right)^{-1} = \frac{1}{2} \frac{c^2 h}{Gk_B m}$$

۲-۳. قانون استفان بولتزمن، آهنگ تابش انرژی به ازای واحد

سطح را به دست می دهد. با توجه به  $E = mc^2$  داریم

$$dE/dt = -\sigma \theta_H^4 A$$

با قرار دادن  $E = mc^2$  و  $A = \frac{m^2 G^2}{c^2}$ ،  $\sigma = \frac{k_B^4}{c^2 h^3}$  در رابطه ی

بالا داریم

$$c^2 \frac{dm}{dt} = -\frac{k_B^4}{c^2 h^3} \left(\frac{c^2 h}{2Gk_B m}\right)^4 \frac{m^2 G^2}{c^2}$$

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{1}{16} \frac{c^2 h}{G^2 m^2}$$

۳-۳. با انتگرال گیری از رابطه ای که در بخش ۲-۳ به دست

آوردیم خواهیم داشت

$$\int m^2 dm = -\int \frac{c^2 h}{16G^2} dt$$

$$m^2(t) - m^2(0) = -\frac{3c^2 h}{16G^2} t$$

در  $t = t^*$  سیاهچاله کاملاً تبخیر می شود. پس

$$m(t^*) = 0 \Rightarrow t^* = \frac{16G^2}{3c^2 h} m^2$$



دفتر انتشارات کمک آموزشی



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

مجله های دانش آموزی (به صورت ماهنامه - ۸ شماره در هر

سال تحصیلی - منتشر می شوند):

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

مجله های عمومی (به صورت ماهنامه - ۸ شماره در هر سال

تحصیلی منتشر می شوند):

- رشد آموزش ابتدایی، رشد آموزش راهنمایی تحصیلی، رشد تکنولوژی آموزشی، رشد مدرسه فردا، رشد مدیریت مدرسه
- رشد معلم (دو هفته نامه)

مجله های تخصصی (به صورت فصلنامه و ۴ شماره در سال

منتشر می شوند):

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

مجله های رشد عمومی و تخصصی برای آموزگاران، معلمان، مدیران

و کادر اجرایی مدارس

دانشجویان مراکز تربیت معلم و رشته های دبیری دانشگاه ها

و کارشناسان تعلیم و تربیت تهیه و منتشر می شوند.

● نشانی: تهران، خیابان ایرانشهرشمالی، ساختمان شماره ۴ آموزش

و پرورش، پلاک ۲۶۸، دفتر انتشارات کمک آموزشی.

تلفن و نمابر: ۸۸۳۰۱۴۷۸





## برگ اشتراک مجله های رشد

### شرایط

- ۱- واریز مبلغ ۲۰/۰۰۰ ریال به ازای هر عنوان مجله درخواستی، به صورت علی الحساب به حساب شماره ۳۹۶۶۲۰۰۰ بانک تجارت شعبه سه راه آزمایش (سرخه حصار) کد ۳۹۵ در وجه شرکت افست.
- ۲- 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 : .....
- کد پستی : .....
- + مبلغ واریز شده :
- + شماره و تاریخ رسید بانکی :
- + آیا مایل به دریافت مجله درخواستی به صورت پست پیشتاز هستید؟  بله  خیر

امضا:

نشانی: تهران - صندوق پستی مشترکین ۱۶۵۹۵/۱۱۱  
 نشانی اینترنتی: [www.roshdmag.ir](http://www.roshdmag.ir)  
 پست الکترونیک: [info@roshdmag.ir](mailto:info@roshdmag.ir)  
 شماره مشترکین: ۷۷۳۳۶۶۵۶ - ۷۷۳۳۹۷۱۳ - ۱۴  
 پیام گیر مجلات رشد: ۸۸۳۰۱۴۸۲ - ۸۸۳۹۲۳۲

### یادآوری:

- + هزینه برگشت مجله در صورت خوانا و کامل نبودن نشانی، بر عهده مشترک است.
- + منبای 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).

۳-۴. ظرفیت گرمایی  $C_V$  تغییر انرژی  $E$  نسبت به تغییرات دماست. پس

$$C_V = \frac{dE}{d\theta}, \quad E = mc^2, \quad \theta = \frac{c^2 h}{2Gk_B} \frac{1}{m}$$

$$\Rightarrow C_V = -\frac{2GK_B}{ch} m^2$$

۴-۱. بازهم قانون استفان بولتزمن آهنگ از دست دادن انرژی به ازای واحد سطح را به دست می دهد. از رابطه ی مشابهی می توان برای افزایش انرژی سیاهچاله بر اثر تابش زمینه ی کیهانی استفاده کرد. برای توجیه آن، توجه کنید که در تعادل گرمایی تغییر کل در انرژی صفر است. تابش سیاهچاله از قانون استفان بولتزمن به دست می آید. در نتیجه آهنگ افزایش انرژی سیاهچاله نیز از رابطه ی مشابهی به دست می آید.

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = -\sigma\theta^4 A + \sigma\theta_B^4 A \\ E = mc^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{dm}{dt} = -\frac{hc^2}{16G^2} \frac{1}{m^2} + \frac{G^2}{c^2 h^2} (k_B \theta_B)^4 m^2$$

۴-۲. با قرار دادن  $\frac{dm}{dt} = 0$  داریم

$$-\frac{hc^2}{16G^2} \frac{1}{m^2} + \frac{G^2}{c^2 h^2} (k_B \theta_B)^4 m^2 = 0$$

در نتیجه

$$m^* = \frac{c^2 h}{2Gk_B} \frac{1}{\theta_B}$$

۴-۳.

$$\theta_B = \frac{c^2 h}{2Gk_B} \frac{1}{m^*} \Rightarrow \frac{dm}{dt} = -\frac{hc^2}{16G^2} \frac{1}{m^{*2}} \left(1 - \frac{m^2}{m^{*2}}\right)$$

۴-۴. با استفاده از جواب های ۴-۲ و ۴-۳ داریم

$$\theta^* = \frac{c^2 h}{2Gk_B} \frac{1}{m^*} = \theta_B$$

همین طور می توان استدلال کرد که  $m^*$  نظیر تعادل گرمایی است. در نتیجه به ازای  $m = m^*$ ، دمای سیاهچاله برابر  $\theta_B$  است.

راه حل دیگر: از رابطه ی  $\frac{dE}{dt} = -\sigma(\theta^{*4} - \theta_B^4)A = 0$  داریم

$$\theta^* = \theta_B$$

۴-۵. با در نظر گرفتن جواب ۴-۳، می توان نشان داد که از تعادل دور می شود.

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{hc^2}{G^2} \frac{1}{m^2} \left(1 - \frac{m^2}{m^{*2}}\right) \Rightarrow \begin{cases} m > m^* \Rightarrow \frac{dm}{dt} > 0 \\ m < m^* \Rightarrow \frac{dm}{dt} < 0 \end{cases}$$



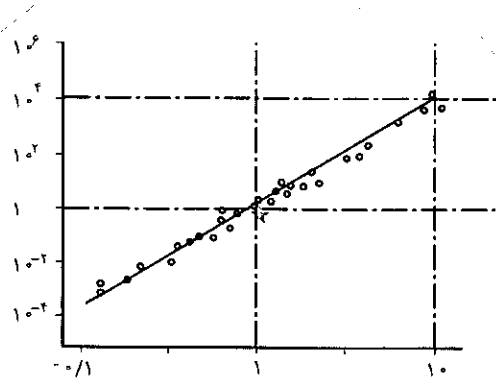
**حل مسئله ی ۳**

در نتیجه

$$m_1 = \frac{r^2 v_1^2}{Gr_1}, m_2 = \frac{r^2 v_2^2}{Gr_2} \Rightarrow$$

$$m_1 = 6 \times 10^{20} \text{ kg}, m_2 = 3 \times 10^{20} \text{ kg}$$

۱-۴. همان طور که از روی نمودار دیده می شود، تا یک رقم با معنی  $\alpha = 4$  است.



شکل ۵

۲-۴. همان طور که در قسمت پیش به دست آوردیم

$$L_i = L_{\text{sun}} \left( \frac{M_i}{M_{\text{sun}}} \right)^2$$

$$L_1 = 3 \times 10^{28} \text{ W}, L_2 = 4 \times 10^{27} \text{ W}$$

۳-۴. برای ایجاد L، توان کل دستگاه روی کره ای به شعاع

d توزیع شده است، که برابر است با

$$I_i = \frac{L_i + L_j}{4\pi d^2} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{L_i + L_j}{4\pi I_i}} = 1 \times 10^{18} \text{ m}$$

که تقریباً برابر ۱۰۰ سال نوری است.

$$\theta \equiv \tan \theta = \frac{r}{d} = 1 \times 10^{-8} \text{ rad} \quad 4-4$$

۵-۴. اگر طول موج نور را  $\lambda$  بگیریم، با استفاده از رابطه ی

عدم قطعیت داریم

$$D = \frac{d\lambda}{r} \cong 50 \text{ m}$$

۲-۱. دوره ی حرکت مداری برابر ۳ روز یا  $2/6 \times 10^5 \text{ s}$

است. پس بسامد زاویه ای دستگاه برابر است با

$$\omega = 2\pi/T = 2/4 \times 10^{-5} \text{ sads}^{-1}$$

۲-۱. از کمینه های نمودار شکل ۱  $I_1/I_2 = \alpha = 0/90$  و

$$I_2/I_1 = \beta = 0/63 \text{ داریم:}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = 1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \frac{1}{\alpha}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = 1 - \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \left[1 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2\right] = \frac{\beta}{\alpha}$$

از این جا به دست می آوریم

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{\alpha}{1-\beta}} = 1/6, \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{1-\beta}{1-\alpha}} = 1/4$$

۱-۲. از فرمول انتقال دوپلر  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_i} \equiv \frac{v}{c}$ ، پیشینه و کمینه ی

طول موج ها برابر است با

$$\lambda_{1,\text{max}} = 5897/78^\circ, \lambda_{1,\text{min}} = 5894/18^\circ$$

$$\lambda_{2,\text{max}} = 5899/08^\circ, \lambda_{2,\text{min}} = 5892/88^\circ$$

تفاوت پیشینه و کمینه ی طول موج ها برابر است با

$$\Delta\lambda_1 = 3/68^\circ, \Delta\lambda_2 = 6/28^\circ$$

با استفاده از رابطه ی دوپلر و توجه به این که انتقال ناشی از

دوبرابر اندازه سرعت مداری است، داریم

$$v_1 = c \frac{\Delta\lambda_1}{2\lambda_i} = 9/2 \times 10^7 \text{ m/s}$$

$$v_2 = c \frac{\Delta\lambda_2}{2\lambda_i} = 1/6 \times 10^8 \text{ m/s}$$

دانش آموزان می توانند از طول موج خط مرکزی و طول

موج های پیشینه و یا کمینه استفاده کنند. طرح علامت گذاری در

پرونده ی Excel داده شده است.

۲-۲. چون مرکز جرم دستگاه ستاره ی دوتایی نسبت به ما

حرکت نمی کند، داریم

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1} = 1/7$$

۳-۲. با نوشتن  $r_i = \frac{v_i}{\omega}$  به ازای  $i=1,2$  خواهیم داشت

$$r_1 = 3/8 \times 10^9 \text{ m}, r_2 = 6/5 \times 10^9 \text{ m}$$

$$r = r_1 + r_2 = 1/7 \times 10^{10} \text{ m} \quad 4-2$$

۱-۳. نیروی گرانشی برابر با جرم در شتاب مرکز گراست.

یعنی

$$G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 \frac{v_1^2}{r_1} = m_2 \frac{v_2^2}{r_2}$$

مرجع: [www.ipho2007.ir](http://www.ipho2007.ir)

زیرنویس:

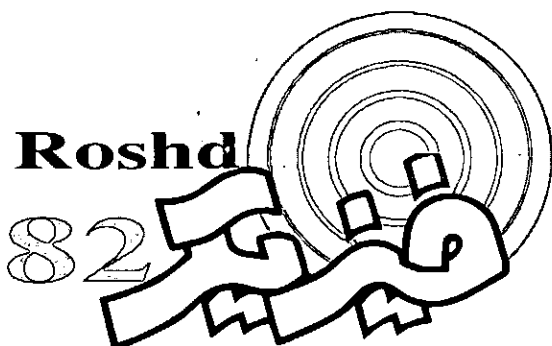
1. accelerometers
2. event horizon
3. Bekenstein
4. Hawking Radiation
5. semi - quantum mechanical
6. occult
7. ecliptic binary



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.23 - No.82 - 2008  
ISSN : 1606 - 917X

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

The art of proper education	2	Editor
Some of the effective factors in teaching physics 1	3	M. Ashena
Teaching concept of electrical potential and potential energy...	7	N. Jafari Mayabadi F. Ahmadi and J. Bamdadi
Why do we feel weightless in free fall	10	Pirooz Mohazzabi
The Flying Circus of Physics	13	Jyearl Wallzer
Iran in Physics's olympiads	22	M. Malk Abbasi
2007 Nobel prize in Physics	24	M. Rahbar
Methods of making and measuring electrical resistance	27	A. Mohebi
The Physics Frontiers	32	
Speed of sound using Lissajous figures	36	R. E. Berg and D.R. Brill
Earth's neutrinos	39	M. Khohestanian and M. Khashayar
Physics as a useful tool for learning English	45	J. Fidalgo and J.R. Gallastegui
Teaching image formation by a lens	49	Paul Gluck
38th International Physics Olympiad	54	R. Khalili

سوسک‌های موسوم به ملاخونلا می‌توانند به وجود آتش‌راز از فاصله‌های تا ۱۲ کیلومتری پی ببرند. این کار به کمک کپش‌های نکه‌مانندی صورت می‌پذیرد که می‌توانند تابش‌های گرمایی را از فاصله‌های دور آشکار سازند.





ستاد اقامه‌ی نماز و وزارت آموزش و پرورش، پس از برگزاری موفقیت‌آمیز مرحله‌ی نخست مسابقه‌ی «پنجره‌ای روبه آفتاب» در دوره‌ی ابتدایی، مرحله‌ی دوم این مسابقه را در دوره‌ی راهنمایی برگزار می‌کند:

● هدف:

گردآوری و استفاده از تجربه‌های ارزنده‌ی معلمان، مربیان و مدیران دوره‌ی آموزش راهنمایی در راه یادگیری و ترویج نماز در مدارس راهنمایی کشور

● جوایز:

- ◆ ده نفر اول، اهدای لوح تقدیر + کمک هزینه‌ی سفر حج عمره مفرده به مبلغ ۵ میلیون ریال
- ◆ ده نفر دوم، اهدای لوح تقدیر + کمک هزینه‌ی سفر به سوریه به مبلغ ۳ میلیون ریال
- ◆ ده نفر سوم، اهدای لوح تقدیر + کمک هزینه‌ی سفر به عتبات عالیات به مبلغ ۲ میلیون ریال
- ◆ ده نفر چهارم، اهدای لوح تقدیر + کمک هزینه‌ی سفر به مشهد مقدس به مبلغ ۱ میلیون ریال

● شرایط:

۱. آثار ارسالی باید فقط در قالب نوشتاری «خاطره» باشد. بنابراین آثاری که در قالب داستان تخیلی، مقاله و... باشد، داوری نمی‌شود.
۲. معیارهای ارزیابی خاطره‌ها عبارتند از: «بکر و تازه بودن موضوع»، «کشش و جذابیت»، «محتوای غنی آموزشی»، «نثر و زبان مناسب» و «سندیت (ذکر زمان و مکان)».
۳. موضوع خاطره باید در چارچوب: الف- شیوه‌های یادگیری خلاق؛ ب- روش موفق یا ناموفق برای ترویج نماز بین دانش‌آموزان دوره‌ی راهنمایی در موقعیت‌های گوناگون، شامل کلاس درس، جشن تکلیف، نمازخانه، اردو و... باشد.
۴. حجم و تعداد خاطره‌های ارسالی، به تصمیم شرکت‌کنندگان در مسابقه بستگی دارد.
۵. زمان ارسال خاطره‌ها حداکثر تا پایان خرداد ۱۳۸۷ است.
۶. شرکت‌کنندگان باید اصل یا کپی برکه‌ی مشخصات خود را که در بروشور مسابقه آمده است، تکمیل کنند، و ضمن الصاق یک قطعه عکس ۲×۳، همراه با خاطره‌ها که با خط خوانا و ترجیحاً به صورت حروف چینی تهیه شده است، به نشانی دبیرخانه‌ی مسابقه، ارسال نمایند.

● خاطره‌های برگزیده به صورت کتاب منتشر خواهد شد و طی مراسم ویژه‌ای در آبان ماه ۱۳۸۷ از پدیدآورندگان آثار منتخب، تجلیل خواهد شد. برای تهیه‌ی بروشور مسابقه به دفتر آموزشگاه مراجعه نمایید.

# آفتاب روبه پنجره‌ای

مسابقه‌ی خاطره‌نویسی  
تجربه‌ی بومی من در آموزش و ترویج نماز  
بین دانش‌آموزان دوره‌ی راهنمایی

