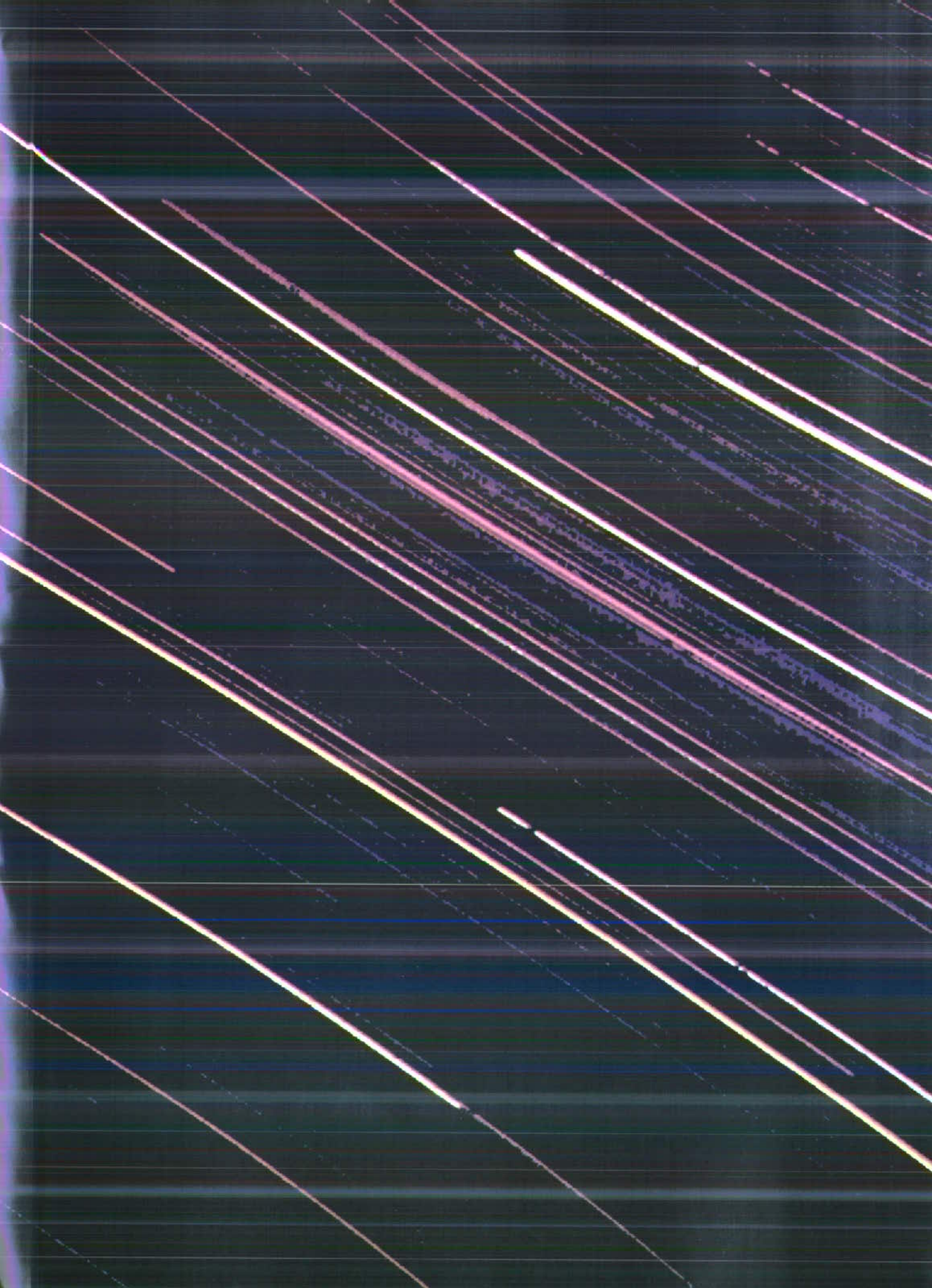
۴۵

# رشد آموزش

سال یازدهم، زمستان ۱۳۷۶، بها ۲۰۰ تومان



۴۵

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

رشد آموزش فیزیک،
شماره ۴۵، سال تحصیلی ۷۷ـ۱۳۷۶

# رشد آموزش فیزیک

سال یازدهم، زمستان ۱۳۷۶، بها ۲۰۰ ریال

بسم الله الرحمن الرحیم

۲ سرمقاله — مسئولیت معلمان دربرابر نسل جوان

۴ شیوه‌های آموزش — آموزش همراه با آزمایش

۶ تصور نادرست

۷ بیائید درآزمایشگاه خانگی سرعت نور را با خمیر شیرینی اندازه بگیریم

۸ مقایسه دو روش برای اندازه‌گیری شتاب گرانش

۱۱ بررسی یک آزمایش مبهم

۱۴ شیوه‌های آموزش فیزیک — سقوط آزاد و شتاب در حرکت دایره ای

۱۶ اخبار علمی — پروژه رهیاب

۱۹ مدال اورستد

۲۰ در اعماق لکه‌های خورشیدی

۲۰ رصدهای سیاهچاله: تاریکی فزاینده

۲۳ بنیاد علمی زیرک‌زاده

۲۴ فیزیک و تفکر انتقادی — تابش

۳۵ پاسخ به برخی از سؤالات درزمینه فیزیک

۴۳ تصاویر یک جسم واقع بین دو آینه متقاطع

۴۸ آزمونها — نحوهٔ انتخاب اعضای تیم المپیاد فیزیک ایران چگونه است

۴۹ ایران درالمپیادهای جهانی فیزیک

۵۰ آشنایی با انجمن بین‌المللی ارزیابی و موفقیت تحصیلی IEA و...

۶۲ اطلاعیه — اطلاعیه ششمین گردهمایی دانش‌آموزی

مدیر مسؤول: سیّد محسن گلدانساز
سردبیر: دکتر منیژه رهبر
مدیر داخلی: احمد احمدی
صفحه‌آرا: مریم خونساری
اعضاء هیئت تحریریه: منیژه رهبر، سیدجعفر مهرداد، محمدرضا اجتهادی، محمدعلی سعادت‌بخت، احمد احمدی

◆ دفتر انتشارات کمک آموزشی، این مجلات را نیز منتشر می کند: رشد کودک (ویژهٔ پیش دبستان و دانش‌آموزان کلاس اول دبستان) رشد نوآموز (برای دانش‌آموزان دوم و سوم دبستان) رشد دانش‌آموز (برای دانش آموزان چهارم و پنجم دبستان) رشد نوجوان (برای دانش‌آموزان دوره راهنمایی) رشد جوان (برای دانش‌آموزان دورهٔ متوسطه) مجلات رشد معلّم، تکنولوژی آموزشی، آموزش ابتدایی، آموزش معارف اسلامی، آموزش شیمی، آموزش ادب فارسی، آموزش زبان، آموزش راهنمایی، آموزش ریاضی، آموزش زیست شناسی، آموزش جغرافیا (برای دبیران: آموزگاران، دانشجویان تربیت معلم، مدیران مدارس و کارشناسان آموزش و پرورش)

◆ مجله رشد آموزش فیزیک نوشته‌ها و حاصل تحقیقات پژوهشگران و متخصصان تعلیم و تربیت، بویژه آموزگاران، دبیران و مدرسان را، در صورتی که در نشریات عمومی درج نشده و مرتبط با موضوع مجله باشد، می‌پذیرد. ◆ مطالب باید یک خط در میان و در یک روی کاغذ نوشته و در صورت امکان تایپ شود. ◆ شکل قرار گرفتن جدولها، نمودارها و تصاویر ضمیمه باید در حاشیهٔ مطلب نیز مشخص شود. ◆ نثر مقاله باید روان و از نظر دستور زبان فارسی درست باشد و در انتخاب واژه‌های علمی و فنی دقت لازم مبذول گردد. ◆ مقاله‌های ترجمه شده باید با متن اصلی همخوانی داشته باشد و متن اصلی نیز ضمیمهٔ مقاله باشد. ◆ در متنهای ارسالی باید تا حد امکان از معادلهای فارسی واژه‌ها و اصطلاحات استفاده شود. ◆ زیرنویسها و منابع باید کامل و شامل نام اثر، نام نویسنده، نام مترجم، محل نشر، ناشر، سال انتشار و شماره صفحهٔ مورد استفاده باشد. ◆ مجله در رد، قبول، ویرایش و تلخیص مقاله‌های رسیده مختار است. ◆ آرای مندرج در مقاله‌ها، ضرورتاً مبین نظر دفتر انتشارات کمک آموزشی نیست و مسؤولیت پاسخگویی به پرسشهای خوانندگان، با خود نویسنده یا مترجم است. ◆ مجله از بازگرداندن مطالبی که برای چاپ مناسب تشخیص داده نمی‌شود، معذور است.

نشانی دفتر مجله: تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۶۵۸۵
تلفن امور مشترکین: ۹ـ۸۸۳۱۱۶۰ داخلی ۴۳۲
تلفن دفتر مجله: ۸۳۵۲۷۹
چاپ: شرکت افست

# مسئولیت معلمان در برابر نسل جوان

سردبیر

تابستان امسال این توفیق را پیدا کردم که در تمام جلسات پنجمین گردهمایی دانش‌آموزی فیزیک ایران که از ۲۷ تا ۳۰ مرداد در اصفهان برگزار شد حضور داشته باشم.

این گردهماییها پنج سال قبل در شهر اصفهان آغاز شد و در آن تعداد کمی از دانش‌آموزان تیزهوش استانهای تهران و اصفهان در کنار کنفرانس سالانه فیزیک ایران در جلساتی شرکت کردند که در آنها استادان درباره موضوعهای مختلف فیزیکی برای دانش‌آموزان صحبت کردند. خوشبختانه این تشکل به تدریج شکل گرفت و نهادینه شد، به طوری که امسال این گردهمایی به صورت کاملاً مستقل از کنفرانس سالانه فیزیک و در زمان و مکانی متفاوت با آن برگزار شد.

برگزاری این گرهمایی فرصت مناسبی بود تا با تواناییهای نسل جوان کشورمان آشنا و متوجه شویم چگونه می‌توان با برنامه‌ریزی و راهنمایی مناسب می‌توان آنها را به فعالیتهای علمی تشویق و استعدادهای بالقوه آنها را در همه زمینه‌ها شکوفا کرد.

شک نیست که هدف از برگزاری تمامی همایشها فعال کردن نیروهای انسانی درگیر در زمینه‌های مختلف است تا با آشنایی و تبادل نظر با یکدیگر و آگاهی از تواناییها و امکانات موجود و نیازهای کشور به فعالیت بپردازند، و با ارتباط و همکاری با یکدیگر بتوانند از باارزش‌ترین سرمایه کشورمان که همانا نیروی انسانی آن است بیشترین بهره را بگیرند. بدین لحاظ گردهمایی دانش‌آموزی یکی از موفق‌ترین همایشهاست. زیرا با توجه به سابقه کم و جوان بودن افراد درگیر در آن در طی همین مدت کوتاهی که از آغاز آن می‌گذرد به رسالت خود آگاهی یافته است، به طوری که نقش اصلی در برگزاری آن را دانشجویان به عنوان برنامه‌ریز و دانش‌آموزان به عنوان شرکت‌کننده به عهده دارند و امسال بخش اعظم برنامه گردهمایی به سخنرانی دانش‌آموزان یا ارائه پوسترها، نمایش دستگاههای ساخته شده، و نرم‌افزارهای کامپیوتری توسط آنها اختصاص داشت. جالب‌تر آنکه همه این کارها چه به لحاظ کمیت و چه از نظر کیفیت علمی بسیار دلگرم‌کننده بود، و تسلط دانش‌آموزان در ایراد سخنرانی و پاسخگویی به سؤالهای مطرح شده کاملاً به چشم می‌خورد و نشان می‌داد که نسل جوان ما با علاقه‌مندی و اتکای به نفس این آمادگی را دارد که در جهان پیچیده کنونی نقش خود را با شایستگی ایفا کند. این مطلب مسئولیتی را که مربیان این نسل به عهده دارند بسیار سنگین می‌کند.

در جهان امروز با گسترش ارتباطات و رشد روزافزون فعالیتهای علمی نسل جوان ما پیوسته در معرض اخبار علمی گوناگون قرار دارد که کنجکاویش را برمی‌انگیزد. رسانه‌های گروهی همه روزه خبر از کشفهای جدید در اعماق فضا و اختراعاتی می‌دهند که کاربرد گسترده در

زمینه‌های مختلف دارند و شیوهٔ زندگی ما را دگرگون می‌کنند.

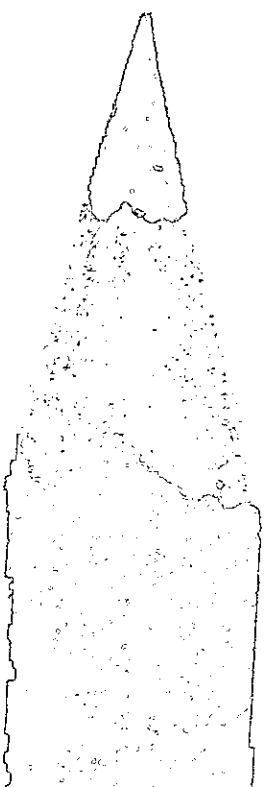
همچنین ظهور پدیده‌های مختلفی چون ستارهٔ دنباله‌دار، خسوف و کسوف و غیره سؤالهای مختلفی را مطرح می‌کنند که همگی با فیزیک ارتباطی بسیار نزدیک دارد. بدین لحاظ کلاسهای درس و آزمایشگاههای ما می‌توانند کلیدی را در اختیار دانش‌آموزان بگذارند که به کمک آن دریچه‌ای را به جهان بگشایند و به پرسشهای مختلف خود دربارهٔ اینکه عالم چگونه کار می‌کند و چرا چنین به نظر می‌رسد پاسخ دهند.

متأسفانه برداشت اغلب ما از فیزیک و تواناییهای آن چنانکه باید نیست. برای بسیاری از دانش‌آموزان فیزیک درس مشکلی است که هیچگونه ارتباطی با جهان اطراف آنها ندارد و به کاری نیز نمی‌آید، فقط باید آن را به زحمت به خاطر سپرد و با حفظ کردن روش حل مسئله‌ها و آموختن روش تست زدن به گونه‌ای از سد امتحانات و آزمون ورودی دانشگاهها گذشت.

چرا این تفاوت بارز میان درک شگفتیهای عالم و تدریس جزییات دلگیر کننده دربارهٔ مکانیک و الکتریسیته قرن نوزدهم وجود دارد؟ آیا برای ایجاد روحیهٔ کنجکاوی علمی در دانش‌آموزان به این جزییات نیازمندیم؟

چرا آزمونهای مختلف در سطح جهانی نمایانگر این است که مدارس ما نه تنها حس تفکر و خلاقیت دانش‌آموزان را تقویت نمی‌کنند، بلکه آن را تضعیف می‌کنند. اگر همهٔ وقت دانش‌آموزان را صرف حفظ کردن مطالب علمی به روشی که هرگونه امکان تفکر را از میان برمی‌دارد بکنیم دیگر چه جایی برای احساس شگفتی، هیجان، و هیبت باقی می‌ماند؟ جهان ما به معنای واقعی کلمه شگفت‌انگیز است. به ویژه در خلال قرن گذشته مطالب زیادی را دربارهٔ ماهیت جهان آموخته‌ایم و نیز متوجه شده‌ایم که چیزهای زیادی را نمی‌دانیم که قبلاً از ناآگاهی خود بی‌خبر بودیم. مقیاس کنونی جهان شامل گستره وسیعی است که از پدیده‌های میکروسکوپیکی تا کیهانی امتداد دارد و جالب توجه آنکه آنچه در جهان بینهایت کوچکها رخ می‌دهد با پدیده‌های جهان بینهایت بزرگها ارتباطی بسیار نزدیک دارد. تصویر کلی جهان مظهر زیبایی، هماهنگی، قانونمندی، و عظمت آفریدگار آن است.

رسالت همه معلمان این است که دانش‌آموزان را متوجه شگفتیهای پنهان در ورای پدیده‌های فیزیکی کنند. این شگفتیها تعدادی از آنها را بر خواهد انگیخت تا در این مورد کنجکاوی بیشتری از خود نشان دهند. شکی نیست که این گونه تدریس در همهٔ سطوح امکانپذیر است. با اندکی کوشش و علاقه‌مندی می‌توان همهٔ مفاهیم فیزیکی را به زبان ساده‌ای که حتی برای دانش‌آموزان دوره‌های مقدماتی قابل فهم باشد تدریس کرد. با انتشار اطلاعیه‌های گردهماییها و مسابقه‌ها همواره تعداد بسیار زیادی از دانش‌آموزان با مراجعه به معلمان خود و انجمنهای علمی‌خواهان موضوعی برای تحقیق می‌شوند. جهان پیرامون ما در همه نقاط و در تمام لحظات سرشار از شگفتیهایی است که اگر به دقت و با بصیرت به آنها بنگریم کنجکاوی برانگیزند. معلمان فیزیک علاوه بر حضور در کلاسهای درس و تدریس و آماده کردن دانش‌آموزان برای گذراندن امتحانات، مسئولیت دیگری نیز دارند. ما در جهان شگفت‌انگیزی زندگی می‌کنیم، جهانی که باید آن را با اشتیاق، هیجان و حرمت مطالعه کرد. وظیفه معلمان است که پیوسته دانش آموزان را به نگریستن به جهان و تفکر دربارهٔ آنچه می‌بینند دعوت کنند. حتی در سطح فیزیک مقدماتی چیزهای شگفت‌انگیزی برای دیدن وجود دارد.



# آموزش همراه با آزمایش

مرد خردمند هنر پیشه را
عمر دو بایست در این روزگار
تا به یکی تجربه اندوختن
در دگری تجربه بردن به کار

**قابل توجّه همکارانی که تازه می خواهند به کار شریف تدریس علوم تجربی به خصوص فیزیک در مدارس کشور مشغول شوند.**

بر هر معلم مبتدی لازم است که در اوّلین جلسات تدریس خود سعی کند که دانش‌آموزان حسّ کنند که تدریس این معلم برای ایشان مفید است و اگر در جلسات اوّلیه اشتباهی روی دهد نمی‌تواند تا آخر دوران خدمت آن اشتباه را جبران کند.

خشت اوّل گر نهد معمار کج  تا ثریا می رود دیوار کج.

من در خرداد ماه ۱۳۱۷ به اخذ لیسانس فیزیک و شیمی و علوم تربیتی نایل شدم و در مهرماه همین سال برای تدریس در مدارس متوسطهٔ تبریز به آنجا اعزام شدم. من عقیده داشتم که درس خود را همواره با آزمایش توأم کنم، متأسفانه آزمایشگاهی در اختیارم نبود. لذا درس خود را با وسایل ارزان قیمت شروع کردم تا اینکه اطّلاع پیدا کردم که وسایل آزمایشگاهی را سالیان قبل برای آزمایش تهیه شده بود، در زیر زمین ادارهٔ فرهنگ و اوقاف (آموزش و پرورش) جمع و لاک و مهر کرده‌اند؛ من این موضوع را با مرحوم حسن ذوقی که رئیس فرهنگ آذربایجان بود در میان گذاشتم. ایشان مرد جدّی و فعّال و عاشق تعلیم و تربیت نونهالان کشور بود. به معیّت ایشان و کارپرداز لاک و مهر زیر زمین را شکستیم، وسایل فراوان روی میزها گرد و خاک خورده و غالباً زنگ زده بودند. معلوم نبود که از چه تاریخی این وسایل در این زیرزمین زندانی بودند. حالا بایستی تمام این وسایل که مارک «دَیرول» فرانسه روی آنها بود تعمیر و مرمّت شود تا بتوان دوباره از آنها استفاده کرد. مرحوم آقای ذوقی بسیار ناراحت شده بود. من گفتم: آقای رئیس تمام اینها را به کمک دانش‌آموزان تعمیر می‌کنم ولی بسیاری از اینها احتیاج به تعمیر اساسی و احیاناً لحیم‌کاری و رنگ کاری و... است، که باید وسایل لحیم‌کاری و نقّاشی و نجّاری و حتیٰ آهنگری فراهم شود، ولی با این مقررات سخت و شدید اداری که یک لحیم‌کاری کوچک یا مثل آن باید از هفتخوان رستم بگذرد و امضاهای متعدّد و در زیر نامه باشد تا مبلغ جزئی پرداخته شود. باید عرض کنم که نه من حوصله این کار را دارم و نه وقت دوندگیهای بی فایده و تصوّر نمی‌کنم که با این روش تا چند سال دیگر این آزمایشگاه به راه بیفتد. دو سه روز گذشت، یک روز صبح آقای حسابدار اداره با یک نامه و مبلغ ۳۰۰ تومان (که آن زمان پول بسیار زیادی بود) آورد و به من تحویل داد که هرطور می خواهید این پول را برای تعمیر وسایل آزمایشگاه خرج کنید. من ضمن تشکر از رئیس فرهنگ، در دبیرستان فردوسی انجمنی به نام انجمن آزمایشگاه تأسیس کردم و اساسنامه و آئین‌نامه نوشتیم و انتخاباتی به عمل آوردیم و از خود دانش‌آموزان، رئیس، معاون، منشی، حسابدار و کارپرداز، انتخاب کردیم و من ۳۰۰ تومان را به حسابدار انجمن دادم و بهمراه ایشان، کارپرداز و رئیس انجمن به بازار رفتیم و با این پول هرچه خواستیم، خریدیم: (انواع و اقسام رنگها و قلم‌های نقاشی، و وسایل نقاشی، لحیم‌کاری، آهنگری، نجاری و انواع میخ و سیم و سوهان و کاغذ سمباده و روغن... تهیه کردیم و شروع به کار نمودیم. وسایل و اسبابهای آزمایشگاه یکی بعد از دیگری تعمیر و آماده استفاده در آزمایشگاه می شد.

در سال ۱۳۱۸ دولت ایران به فعالیتهای میسیونهای آمریکائی در ایران پایان داد و در نتیجه مدارس آمریکائی به وزارت فرهنگ تحویل شد؛ از این مدارس در تبریز دبیرستان دخترانهٔ پروین و دبیرستان پسرانهٔ ابن‌سینا (تیموریان) بود. ادارهٔ فرهنگ صلاح در این دید که دبیرستان پسرانه فردوسی را که من در آنجا تدریس می‌کردم، به محلّ دبیرستان پروین منتقل کند. این مدرسه فضای بسیار وسیعی با کلاسهای بزرگ و تمیز و مرتّب داشت. در یک طرف این محوّطه یک ساختمان سه طبقه ساخته شده بود که محلّ سکونت رئیس مدرسه بود. انجمن آزمایشگاه بنا به تقاضای بنده از ادارهٔ فرهنگ خواست که این ساختمان را در اختیار انجمن بگذارد که مورد قبول واقع شد. اتاق پذیرائی را به صورت آمفی تئاتر درآوردیم و اتاق ناهارخوری را مخزن وسایل آزمایشگاه و اتاقهای دیگر هم برای کارهای دیگر انجمن مانند اتاق دفتر، اتاق کار دانش‌آموزان (کارگاه)، اتاق موسیقی، اتاق خیریّه، اتاق انتشارات، اتاق رفع اشکالات علمی دانش‌آموزان، اتاق نمایش و تئاتر، اتاق نمایشگاه و...

با این مقدمه، درس فیزیک فقط در آمفی تئاتر توأم با

آزمایشهای مربوط اجرا می‌شد.

روزی در این کلاس درس فیزیک حادثهٔ عجیبی روی داد که تذکّر آن برای همکاران جدید بسیار مفید است.

در اواسط زمستان موضوع درس فیزیک، الکتریسیتهٔ ساکن بود که جزو برنامهٔ کلاس سوم دبیرستان در کتابهای درسی نوشته شده بود. روزی زنگ اوّل کلاس سوّم الف درس فیزیک داشت و من وسایل آزمایش را روی میز آمفی‌تئاتر چیده بودم. وقتی دانش‌آموزان سر جای خود قرار گرفتند من به تدریس و آزمایش شروع کردم و میلهٔ لاکی را به پوست گربه مالش دادم و به آونگ الکتریکی نزدیک کردم که آن را جذب کرد و تمام مطالب مربوط به این مبحث را شرح دادم و آزمایش کردم. زنگ تنفّس زده شد زنگ دوّم را زدند و این دفعه دانش‌آموزان کلاس سوّم (ب) آمدند و همان مطالب را دو مرتبه شروع کردم و گفتم: ببینید وقتی من میلهٔ لاکی را با پوست گربه مالش می‌دهم باردار می‌شود و وقتی به آونگ الکتریکی نزدیک می‌کنم گلوله آن را جذب می‌کند. در ضمن میلهٔ لاکی را به آونگ نزدیک کردم ولی جذب نکرد. دو مرتبه این عمل را تکرار کردم، ولی باز هم آزمایش صورت نگرفت. یک مرتبه یادم آمد که وقتی در آزمایشگاه فیزیک دانشکدهٔ علوم و دانشسرای عالی بودم معلّم آزمایشگاه می‌گفت که مبحث الکتریسیته ساکن اصلاً به درد نمی‌خورد. زیرا گاهی آزمایشها انجام می‌گیرد و گاهی نه! بعقیدهٔ ایشان بهتر است این مبحث از کتابهای فیزیک حذف شود. ولی من می‌دانستم که اگر این موضوع صحّت داشته باشد باید کتابهای خارجی قبلاً این مبحث را حذف می‌کردند. حالا تکلیف بنده معلّم فیزیک تازه‌کار چیست؟ اگر حرفم را پس می‌گرفتم که شکست می‌خوردم. این بود که حقیقت را به دانش‌آموزان گفتم که آقایان زنگ قبل که دانش‌آموزان کلاس سوم (الف) در اینجا بودند تمام آزمایشها به خوبی صورت گرفت ولی الآن ببینیم چرا جواب منفی است، و برای اینکه فرصتی داشته باشم تا دربارهٔ آن فکر کنم گفتم یکی از دانش‌آموزان این میلهٔ لاکی و پوست گربه را بیرون ببرد و در سرمای زمستان به مدت ۱۰ دقیقه نگهدارد و بعد بیاورد؛ وقتی او رفت به دانش‌آموز دیگری گفتم که پنجره‌های آمفی‌تئاتر را باز کند. وقتی او مشغول باز کردن پنجره‌ها بود و من در حال فکر کردن، یک مرتبه چشمم به شیشه‌های پنجره‌ها افتاد که شبنمها از بالای شیشه‌ها یکی پشت سر دیگری جاری می‌شد. از دیدن این منظره بسیار شاد شدم. در این موقع که ده دقیقه سپری شده بود، دانش‌آموز دوّمی وارد کلاس شد و میلهٔ لاکی و پوست گربه را به من داد و سر جای خود نشست. من آزمایش را تکرار کردم و این دفعه میلهٔ لاکی، گلولهٔ آونگ را جذب کرد. بسیار خوشحال شدم و از دانش‌آموزان خواستم که خود جواب این مسئله را بدهند. هر کدام مطلبی گفتند: مثلاً یکی می‌گفت که آقا اتاق گرم شده بود، دیگری می‌گفت که میله لاکی و پوست گربه گرم شده بودند. من گفتم توجه کنید زنگ اوّل تمام آزمایشها به خوبی انجام گرفته بود، ولی زنگ دوم آزمایشها انجام نگرفت. در فاصلهٔ این دو ساعت چه اتفاقی افتاده است؟ به شیشه‌های پنجره‌ها نگاه کنید معلوم می‌شود که زنگ اوّل دانش‌آموزان در اینجا بودند، یواش یواش مقدار بخار آب هوای این اتاق را در اثر تنفس خودشان زیاد کرده‌اند و بخار آب یونیزه شده و در نتیجه بار الکترونهای کنده شده از پوست گربه به وسیلهٔ یونهای مثبت خنثیٰ شده است و دربارهٔ میلهٔ شیشه‌ای که با پارچهٔ ابریشمی مالش داده می‌شود، بارهای مثبت توسط یونهای منفی خنثیٰ می‌شود و در نتیجه آزمایش ظاهراً صورت نمی‌گیرد.

این حادثه بقدری برای من مهم و هیجان‌انگیز بود که همان روز وسایل الکتریسیته ساکن را از محلّ مخصوص خود جابه‌جا کردم. در قفسهٔ وسایل الکترونیک قرار دادم و بعد از آن آزمایشهای فراوان با وسایل الکتریسیتهٔ ساکن انجام می‌دادم و دانش‌آموزان نیز از انجام دادن این آزمایشها لذّت می‌بردند و در حقیقت تحقیقات فراوان در این باره انجام می‌دادند.

به نظر من، همکاران تازه‌کار اگر به مسائلی شبیه مسأله فوق برخورد کردند، اگر با مختصر مهلت زمانی توانستند جواب منطقی آن را پیدا کنند، خوب است وگرنه به دانش‌آموزان بفهمانند که اگر مسأله‌ای پیش بیاید و جواب فوری آن را نتوانند بدهند، بهتر است که برای جلسات بعد موکول کنند تا بیشتر مطالعه کنند و به کتابها و اشخاص وارد مراجعه کنند تا جواب درست را آماده و در جلسهٔ بعد ارائه دهند.

به امید موفقیّت. اصغر نوروزیان

# تصور نادرست

ابوالقاسم زال پور

در بیان مفاهیم فیزیک گاهی با به کارگیری یک جمله کوتاه و روان برای یک موضوع سرعت فراگیری را افزایش می‌دهیم. مثلاً «هر عملی را عکس‌العملی است مساوی و در خلاف جهت» یا سابقاً می‌گفتیم «همواره می‌توان جای چشم و چشمهٔ نور را عوض کرد» و غیره...

گرچه این شگردها می‌توانند موجب علاقه‌مندی دانش‌آموزان به ویژه افراد متوسط و ضعیف گردد، ولی اگر فرآیند آموزش تحت اثر همین جمله‌های کلیشه‌ای قرار گیرد فراگیریِ عمیق میسر نمی‌شود. به تجربه ثابت شده بیان این نوع جمله‌ها در آغاز درس مفید نخواهد بود بلکه پس از توصیف و تعمیقِ موضوع، و اطمینان از فراگیری جامع، در ثبت مفهوم در ذهن بسیار مؤثر واقع می‌شوند.

بیان اصل اوّل نیوتون از این مقوله است. فرض کنید درس را با این جمله آغاز کنیم «اجسام مایل به حفظ موقعیّت خویش‌اند». این جمله شعارگونه و راضی‌کننده درست است که از صلابت و سنگینی موضوع می‌کاهد امّا اگر بدان بسنده شود دیگر دانش‌آموز در حل مسئله‌ها توانایی لازم را به دست نمی‌آورد. گاهی موضوع درس را با انجام آزمایش‌هایی ساده از قبیل کشیدن کاغذ از زیر سکّه‌ای که روی لبه لیوان است و غیره. اصل ۱ را آغاز می‌کنیم، البته برای بیان مفهوم لختی به تجربه ثابت شده این کار مفید است. ولی بهترین شیوه در ارائه این مطالب آن‌است که ببینیم به طور طبیعی دانش‌آموز خود راجع به موضوع چه تصوّری دارد؟ در کتابهای درسی قانون اوّل را با بیان خود قانون آغاز می‌کنند: «هرگاه به جسمی هیچ نیرویی اعمال نشود یا برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد...» در حالی که درک دانش‌آموز به طور طبیعی به ویژه در سال اوّل دبیرستان تصوّری ارسطویی شبیه جمله زیر است:

«هر جسم مادامی که بر آن نیرو وارد می‌شود، حرکت می‌کند، وقتی که نیرو حذف شد می‌ایستد»

من در بیان اصل اوّل پس از آزمون شیوه‌های مختلف به این نتیجه رسیدم که برای زدودن تصوّر نادرست باید کار را از اینجا آغاز کرد، این جمله را روی تابلو می‌نویسم و سؤال می‌کنم چه ایرادی در جمله می‌بینید. تعداد بسیار کمی نادرستی آن‌را درک می‌کنند. تعداد اندکی نیز تشخیص می‌دهند که موضوع باید نادرست باشد ولی از توصیف و تشریح عاجزند. پس جمله را مورد نقد و بررسی قرار می‌دهم مثلاً می‌گویم اتومبیلی که در حال حرکت است اگر راننده خلاص و خاموش کند، بالاخره می‌ایستد، امّا توقف آن در شرایط مختلف، یکسان صورت نمی‌گیرد، مثلاً روی جاده افقی و یخبندان و یا جاده آسفالت و بالاخره جادهٔ خاکی و... حرکت اتومبیل را پس از حذف نیرو بررسی می‌کنیم و دانش‌آموز سال اوّل متوجّه عامل توقّف می‌شود، و در اینجا به او می‌گوییم اگر عامل توقّف را بتوان حذف کرد، آیا دلیلی برای توقّف اتومبیل با حذف نیرو دارید؟ و باین ترتیب ساختار تصوّر نادرست در ذهن بهم می‌ریزد و اکنون دانش‌آموز، آماده فراگیری اصل اوّل است یعنی مانع قبلی را هدف قرار داده و از بین برده‌ایم. اکنون بیان اصل اوّل همه اهداف آموزش را در برمی‌گیرد و جمله‌ای کوتاه و روان کار آموزش را تمام می‌کند. این دانش‌آموز ترازمندی را می‌فهمد و حرکت یکنواخت بر خط راست را یک حالت ترازمند می‌داند دیگر برای هر نوع حرکتی نیرویی قائل نیست بلکه سکون و حرکت یکنواخت بر خط راست را حالت‌های تعادل محسوب می‌کند.

شایسته است بدانیم در بیان جمله‌های کوتاه و روان شتاب و عجله مفید نیست. امّا به کارگیری این جمله‌ها پس از تفهیم، در روند آموزش کارآیی لازم را در بردارند.

برای جلب توجه دانش‌آموز به مفاهیم فیزیک بعضی از مفاهیم فیزیک را به صورت ضرب‌المثل‌های عامیانه در پایان بیان می‌کنیم و توجّه داریم که استفاده از این جمله‌ها در تدریس فقط چاشنی کلام است:

۱ـ هرکه جرمش بیش وزنش بیشتر $W=mg$

۲ـ جواب کنش واکنشه

۳ـ هر جهت‌داری بردار نیست

۴ـ با بردار رفتار برداری با نرده رفتار جبری

۵ـ شار که تغییر کند نیروی محرکه القایی پیدا می‌شود (آب که سر بالا...

۶ـ آهن که میدان ببیند به حال اوّل نمیرود.

۷ـ تا نباشد کششی یا حرکتی هرگز نباشد اصطکاک

۸ـ اوّل چارچوب مرجع مشخص کن بعد نیروهای مؤثر.

# بیایید در آزمایشگاه خانگی سرعت نور را با خمیر شیرینی اندازه بگیریم

رابرت استاوفر[1]

شنیده‌ام آلبرت اینشتین در سن ۱۶ سالگی مدام در این فکر بود که اگر سوار یک باریکهٔ نور شود چگونه خواهد بود. همیشه دانش‌آموزان هم در درس فیزیک مجذوب خواص نور می‌شوند. اما اغلب بدست آوردن اندازه سرعت نور نیازمند تدارک بسیار یا تجهیزات گران است. من یک نمایش ساده را در کلاس تهیه کردم که دانش‌آموزان می‌توانند به راحتی آنرا در آزمایشگاههای خانگی انجام دهند.

در این آزمایش فر ریزموج (میکرو ویو) و ظرفی شیشه‌ای که در اجاق سالم بماند و یک بسته از پودر شیرینی و یک خط‌کش لازم است (فر نباید حرکت مکانیکی داشته باشد نه به صورت صفحه گردان و نه آینه چرخشی و اگر فر دارای صفحه گردان بود، صفحه را خارج کنید). ابتدا در پاکت پودر شیرینی را باز کنید و آنرا باندازه در ظرف بریزید که ته ظرف با لایه‌ای از پودر شیرینی پوشیده شده باشد. بعد ظرف حاوی شیرینی را در فر بگذارید تا شیرینی با دمای کم بپزد. در ریزموج (میکرو ویو) عمل پختن به صورت یکنواخت نمی‌تواند انجام شود و پودر شیرینی در داغترین نقاط فر شروع به ذوب شدن می‌کند. (که من این مطلب را از معلم علوم آشپزی خودم بنام آنیت کرنوال[2] آموختم) خمیر را گرم کنید تا در ۴ یا ۵ نقطه مختلف آن شروع به جوشیدن کند.

ظرف را از داخل فر ریزموج خارج کنید و نقاط جوش را مشاهده کنید خط‌کش را بردارید و فاصله بین نقاط جوش را اندازه بگیرید. شما بزودی به این نتیجه می‌رسید که فواصل خوانده شده در تمام دفعات اندازه‌گیری یکسان است. این فاصله مقیاسی از طول موج است که حدود ۱۲cm است. حالا سطح خارجی فر را با دقت نگاه کنید و علامت کوچکی که فرکانس فر میکرو ویو را به شما می‌دهد، مشاهده کنید میکرو ویوهای بیشتر شرکتهای تجاری در بسامد ۲۴۵۰ مگاهرتز عمل می‌کنند.

حالا همه شما می‌توانید بسامد را در طول موج ضرب کنید که حاصل آن سرعت نور است.

$$V = f\lambda$$

$$V = ۲۴۵۰ \times ۱۰^{۶} \times ۰/۱۲۲ m$$

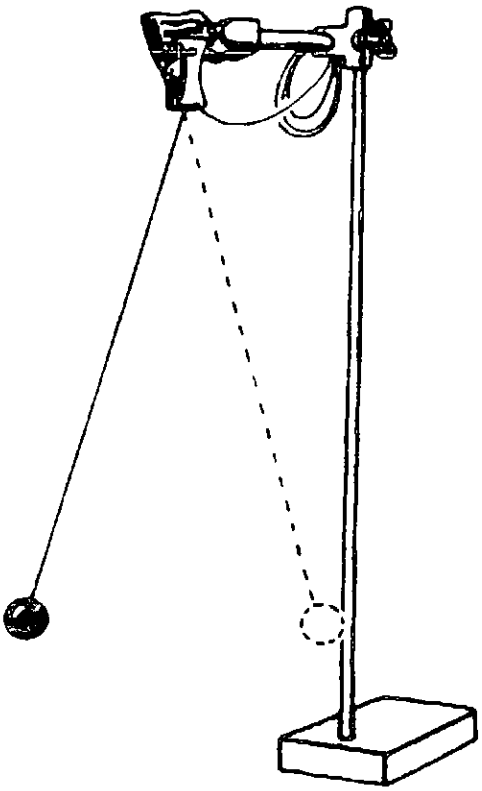
$$V = ۲/۹۹ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}$$

این کار در کلاس فیزیک من اغلب با کمتر از ۵٪ خطا انجام شد. دانش‌آموزان بعد از انجام آزمایش می‌توانند شیرینی‌ها را میل کنند.

مرجع

Stauffer, Robert, Finding the Speed of Light with Marshmallows, the Physiccs Teacher Apr 1997, P. 231.

1- Robert Stauffer
2- Anita Cornwall



# مقایسه دو روش برای اندازه‌گیری شتاب گرانش

جهانگیر ریاضی
آموزش و پرورش اهواز

**چکیده:** «abstract»

**هر جسم تحت اثر نیروی گرانش، با شتابی ثابت آزادانه سقوط می‌کند. در این گزارش، دو روش برای اندازه‌گیری $g$ شتاب گرانش بیان می‌شود. یک رهیافت رابطه میان $g$ و زمان را برای سقوط یک جسم در مسافتی معین بررسی می‌کند. در روش دیگر با اندازه‌گیری دورهٔ نوسانهای یک آونگ ساده مسأله دنبال می‌شود. حاصل هر دو روش مقادیری معین برای $g$ است که قبلاً در جایی دیگر گزارش شده‌اند. مقایسه بین دو روش نشان می‌دهد که روش استفاده از آونگ برای تعیین $g$ دقیق‌تر است.**

مقدمه: «introduction»

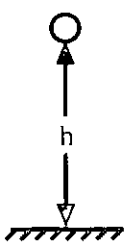
تمام اجسام در سطح زمین تحت اثر نیروی گرانشی هستند. اثر این نیرو هنگامی بیشتر آشکار می‌شود که جسم رها گردد تا به طور آزاد تحت اثر نیروی گرانش سقوط کند.

قانون گرانش عمومی نیوتن پیش بینی می‌کند که شتاب گرانشی ($g$) به جرم کره زمین و فاصله جسم رها شده از مرکز زمین بستگی دارد. برای جسمی که در نزدیکی زمین، از ارتفاعی که در مقایسه با شعاع زمین کوچک است رها گردد، شتاب $g$ را می‌توان مقداری ثابت و مستقل از ارتفاع رها شده در نظر گرفت. هدف این آزمایش مقایسه دو روش برای محاسبه مقدار $g$ در نزدیکی سطح زمین است.

ابزارها و روش‌ها «Materials and Methods»

روش A: مطابق شکل (۱) زمان سقوط یک گلوله کوچک فلزی در ارتفاع متغیر h اندازه‌گیری شده است. ارتفاع h با استفاده از یک متر نواری با تقسیمات میلیمتر و زمان سقوط جسم با یک کرنومتر با دقت ۰٫۰۱ ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. برای محاسبه دقیق‌تر زمان سقوط، در یک ارتفاع معین آزمایش ۵ بار تکرار می‌شود.

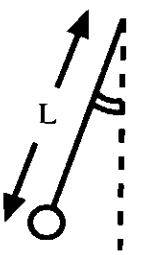
شکل ۱




روش B: گلوله‌ای کوچک با ریسمان سبکی به نقطه ثابتی متصل شده است که می‌تواند مطابق شکل با زاویه

($\alpha < 5^\circ$) نوسان کند. با استفاده از یک کرنومتر، دورهٔ نوسانهای آونگ T بر حسب طول (L) اندازه گیری می‌شود. برای کاهش خطای ناشی از زمان واکنش (Reaction time)، زمان برای ۵ نوسان متوالی اندازه‌گیری می‌شود.

شکل ۲




**نتایج**: «Results»: جدول شماره (۱) نتایج مربوط به سقوط آزاد یک گلوله را به عنوان تابعی از ارتفاع نشان می‌دهد. ستون دوم جدول، میانگین ۵ بار اندازه‌گیری در هر ارتفاع h را می‌دهد.

**جدول شماره (۱)**

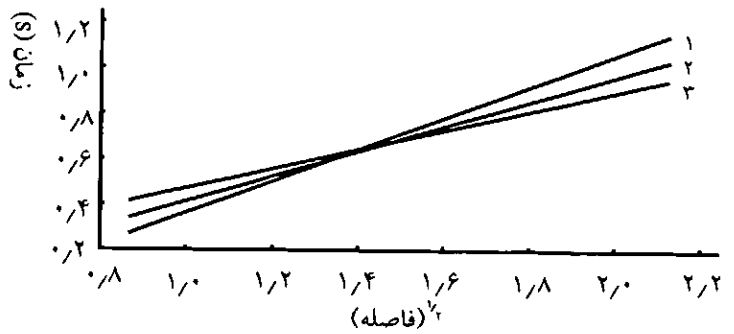
| زمان (s) | مسافت (m) |
|---|---|
| ۰/۳۸ | ۰/۸۶ |
| ۰/۶۵ | ۲/۰۲ |
| ۰/۷۹ | ۳/۰۱ |
| ۰/۹۹ | ۴/۲۶ |

برای جسمی که بدون سرعت اولیه با شتاب ثابت a=g از ارتفاع معینی سقوط می‌کند رابطه میان ارتفاع و زمان: $h = \frac{1}{2}at^2$ است. (Resnick 1992). رابطه بالا را می‌توان به شکل زیر تغییر داد:

$$t = (\frac{2}{a})^{\frac{1}{2}} h^{\frac{1}{2}}$$

با مقایسه رابطه بالا با معادله خطی y=mx+c با فرض C=۰ شیب این خط از رابطه زیر به دست می‌آید:

$m = (\frac{2}{a})^{\frac{1}{2}}$ شکل (۳) نمودار تغییرات t نسبت به $(h)^{\frac{1}{2}}$ را بر اساس اطلاعات جدول (۱) نشان می‌دهد.




جدول شماره (۲) شیب سه خط ترسیم شده و مقادیر شتاب گرانی به دست آمده را نشان می‌دهد. در این روش مقدار $(۸ \pm ۴) ms^{-2}$ برای شتاب گرانی به دست می‌آید.

**جدول شماره (۲)**

| خط | شیب ($sm^{-X}$) | شتاب گرانی ($ms^{-2}$) |
|---|---|---|
| ۱ | ۰/۶۴ | ۴/۹ |
| ۲ | ۰/۵۱ | ۷/۷ |
| ۳ | ۰/۴۰ | ۱۲/۵ |

روش B: جدول شماره (۳) اطلاعات به دست آمده برای دورهٔ آونگ را بر حسب طول آونگ نشان می‌دهد.

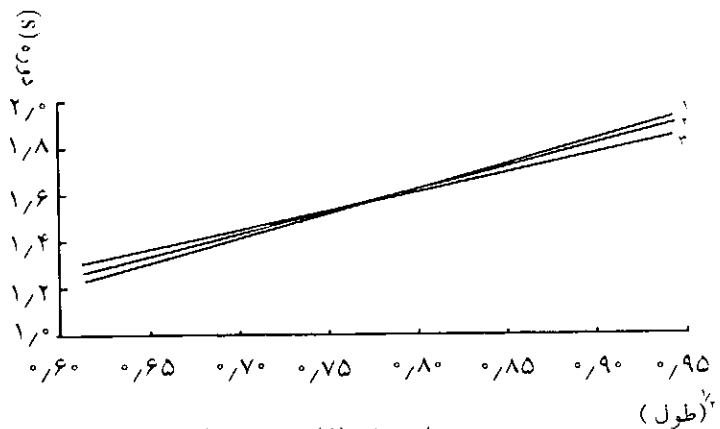
رابطه دورهٔ (T) حرکت یک آونگ ساده و طول آن (L) به صورت زیر بیان می‌شود: (Yong 1992).

$T = ۲\pi(\frac{L}{g})^{\frac{1}{2}}$ که آن‌را می‌توان خطی با شیب

**جدول شماره (۳)**

| دوره (s) | طول (m) |
|---|---|
| ۱/۳۲ | ۰/۴۱۰ |
| ۱/۵۵ | ۰/۵۷۵ |
| ۱/۷۱ | ۰/۷۰۰ |
| ۱/۸۴ | ۰/۸۲۵ |
| ۱/۹۳ | ۰/۹۰۰ |

$m = \frac{2\pi}{g^{\frac{1}{2}}}$ در نظر گرفت. شکل ۴ نمودار تغییرات T نسبت به $L^{\frac{1}{2}}$ را بر اساس اطلاعات جدول شماره (۳) نشان می‌دهد.




جدول شماره (۴) شیب ۳ خط ترسیم شده و مقادیر مختلف شتاب گرانی به دست آمده را نشان می دهد.

با استفاده از این روش مقدار $(۹/۹ \pm ۱/۲)ms^{-۲}$ برای شتاب گرانش به دست می آید.

**جدول شماره (۴)**

| شتاب گرانی $(ms^{-۲})$ | شیب $(sm^{-½})$ | خط |
|---|---|---|
| ۸/۷۸ | ۲/۱۲ | ۱ |
| ۹/۸۷ | ۲/۰۰ | ۲ |
| ۱۱/۲ | ۱/۸۸ | ۳ |

**بحث «Discussion»**: استفاده از هر دو روش نهایتاً به محاسبهٔ مقادیری معین برای شتاب گرانی می انجامد که در جایی دیگر گزارش شده است. (Rock. 1984). به هرحال استفاده از آونگ تاکنون به عنوان روش برتر معرفی گردیده است. به استناد گزارش دیگران و همین گزارش، میزان خطای این روش نسبت به روش محاسبه شتاب گرانی با استفاده از سقوط آزاد، کمتر است.

در هر دو روش، منبع اصلی خطا، اندازه گیری زمان رویداد است. در حالی که در استفاده از آونگ، زمان واکنش تنها بخش کوچکی از کل زمان اندازه گیری است. در روش سقوط آزاد، زمان واکنش بخش بزرگی از زمان اندازه گیری نیست. برای آنکه در روش سقوط آزاد بتوان g را با دقتی بهتر اندازه گیری کرد باید از یک ابزار الکترومکانیکی یا ابزار نوری برای انطباق زمانی شروع و خاتمهٔ حرکت گلوله با ابزار اندازه گیری زمان استفاده کرد.

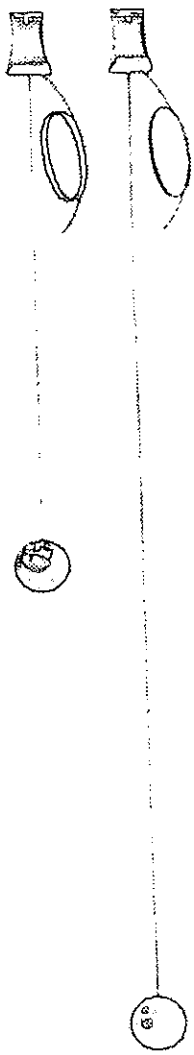
**نتیجه گیری**: **«Conclusion»**: از مطالعه حرکت یک آونگ مقدار $(۹/۹ \pm ۱/۲)ms^{-۲}$ برای شتاب گرانی به دست می آید. این مقدار با میزان $(۸ \pm ۴)ms^{-۲}$ حاصل از اندازه گیری زمان سقوط جسمی که تحت اثر نیروی گرانش آزادانه سقوط می کند مقایسه گردید. حاصل این مقایسه نشان می دهد که استفاده از آونگ روشی دقیق تر و کاربردی تر است.

**مراجع «References»**:


Resnick R., Halliday D. and Krane k.S. (1992): Physics 4th ed (Wiley: New Youk) P.55

Rocke F.A. (1984): Handbook of Units and Quantities (Atomic Energy Commission: New south wales) P. 110

Young H.D (1992): University Physics 8th ed. (Addisoh Wesley! Massachusetts)

# بررسی یک آزمایش مبهم

آسیف شاکورو
آندره پیسا

یک آزمایش فیزیکی بسیار جالب توجه با نتیجهٔ غیر منتظره در شکل ۱ نشان داده شده است. در این آزمایش دو جسم با سرعتهای اولیه مساوی، فاصله بین نقطه A و نقطه B را در دو مسیر مختلف می‌پیمایند.

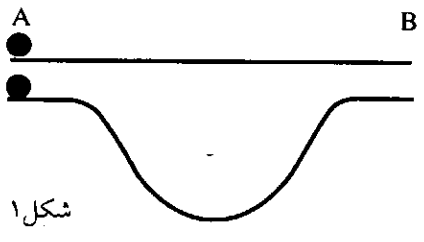
با کمال تعجب می‌بینیم، که برای ترکیبهای معین شکل مسیر و سرعت اولیه جسم؛ جسمی که مسیر درهٔ طولانی‌تر را می‌پیماید از دیگری جلو می‌زند.

بصیرت مفهومی که از این آزمایش به دست می‌آید می‌تواند پیش‌زمینه مؤثری برای پیدا کردن راه‌حل مسئله (brachis to chrone) باشد که جواب آن یک مسیر سیکلوئیدی شناخته شده است.

اولین بار، چند سال قبل شاهد انجام این آزمایش در یک «نمایش خیابانی فیزیک» بودیم.

وسایل انجام آزمایش ابزار جدید و جالبی بود.

دو گلوله، از تفنگهای مشابه با سرعتهای مساوی پرتاب شدند به خاطر داریم که طول مسیر این دستگاه در حدود ۱۰m بود. ظاهراً دستگاه با قیمت گزافی در یک دانشگاه معتبر ساخته شده بود. یک نمونهٔ جدیدتر و با اندازهٔ کوچکتر در فلکس ترک قالب‌ریزی شده است.



شکل ۱

## مبهم از سه نظر

نتیجه این آزمایش به واسطه سه عامل طراحی دستگاه مبهم است.

۱ـ اگرچه یک گودال نسبتاً کم‌عمق، باعث می‌شود جسمی که در آن حرکت می‌کند، از دیگری جلو بزند؛ اما اگر عمق آن اندکی بیشتر شود، نتیجه معکوس می‌شود. چند محاسبه نوعی در زیر انجام شده است.

۲ـ با تغییر سرعت اولیه جسم، باز هم به سادگی نتیجه می‌تواند معکوس شود. (سرعتهای برابر و مقدار متفاوت)

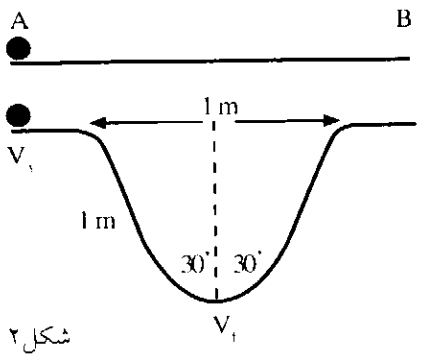
۳ـ اغلب گفته می‌شود که وجود اصطکاک، سرعت جسم در حال حرکت در مسیر طولانی‌تر و گودال مانند، را کم می‌کند و برای آن (در مقایسه با مسیر مستقیم)، یک عامل منفی تلقی می‌شود، اما حتی این حکم درست نیست. ممکن است در بعضی شکلهای هندسی مسیر گرد، با توجه به اثرهای اصطکاکی بر مسیر مستقیم برتری داشته باشد.

بنابراین می‌توان گفت: متغیرهای بسیار، پیش‌بینی نتیجه آزمایش را با توجه به اطلاعات محدود، دشوار می‌سازد.

## محاسبات ارائه شده

شکل ۲ را در نظر می‌گیریم. فرض کنید اتلاف ناشی از اصطکاک قابل چشم‌پوشی است. بدون آنکه از کلیت مسئله در ارتباط با ابهامات ذکر شده، کاسته شود، فرض می‌کنیم مسیر منحنی از دو خط راست تشکیل شده است.

اگر $V_1 = ۲\ m/s$، روشن است که زمان برای پیمودن مسیر مستقیم ۰/۵ ثانیه است.



شکل ۲

برای مسیر گرد داریم:

(فرض شود $g = 10\ m/s^2$)

$$a = g\,Sin 60^\circ$$

$$a = 8/66\ m/s^2$$

$$V_f^2 = V_i^2 + 2ad$$

$$V_f = 4/62\ m/s$$

بنابراین سرعت متوسط برای پایین رفتن از دره $V_{av} = 3/31\ m/s$ و زمان کل برای رسیدن جسم از A به B در این مسیر ۰/۶۵ است.

مسیر دره بیشتر طول می‌کشد!

به هرحال چنانکه خواننده می‌تواند ثابت کند؛ اگر سرعت اولیه دو جسم $V_i = 1\ m/s$ باشد، مسیر مستقیم 1s طول می‌کشد و مسیر غیرمستقیم 0/76s وقت می‌گیرد.

در این حالت مسیر دره زمان کمتری می‌گیرد.

دیدیم که نتیجه، با تغییر سرعتهای اولیه، به سادگی معکوس می‌شود.

همین طور می‌توان نشان داد که اگر شکل هندسی مسیر دره را هم عوض کنیم، اما سرعت را تغییر ندهیم، باز هم نتیجه می‌تواند عکس شود.

به عنوان مثال اگر زاویه در شکل ۲ به جای $30^\circ, 30^\circ$ $60^\circ$ باشد وقتی $V_i = 2\ m/s$ است، نتیجه معکوس می‌شود.

## تأثیر اصطکاک

حتی تأثیر اصطکاک هم همواره برای مسیر منحنی نامطلوب نیست!

مسیرهای شکل ۲ را با شرایط $m = 0/1 kg, v_i = 2\ m/s$ و $\mu_k = 0/2$ در نظر بگیرید.

برای مسیر مستقیم نیروی اصطکاک چنین بدست می‌آید:

$$f = \mu_k mg$$

$$f = 0/2\ N \Rightarrow a = -2\ m/s^2$$

$$V_f^2 = V_i^2 + 2ad \Rightarrow V_f = 0/0 \Rightarrow V_{av} = 1\ m/s$$

بنابراین زمان کل که صرف می‌شود 1s است.

برای مسیر منحنی داریم:

$$f = \mu_k\, mg\, Cos 60^\circ$$

$$f = \mu_k\, mg\, Cos 60^\circ$$

$$f = 0/1\ N$$

$$ma = mg\, Sin 60^\circ - f \Rightarrow a = 7/66\ m/s^2$$

دوباره از رابطه $V_f^2 = V_i^2 + 2ad$ استفاده می‌کنیم و به دست می‌آوریم $V_f = 4/4\ m/s$ و $V_{av} = 3/2\ m/s$

پس زمان پایین رفتن جسم از سرایزی 0/31 s است.

به همین ترتیب می‌توان زمان بالا رفتن از سربالایی و طی مسیر باقیمانده 0/46 s محاسبه می‌شود.

بنابراین زمان کل برای رفتن از نقطه A به نقطه B، در طول مسیر دره طولانی‌تر، 0/77 s به دست می‌آید.

در چنین شرایطی، اصطکاک در حقیقت کمک می‌کند تا جسم در طول دره طولانی‌تر، زودتر به مقصد برسد که مجدداً، معکوس شدن نتیجه حالت بدون اصطکاک این آزمایش را، نشان می‌دهد.

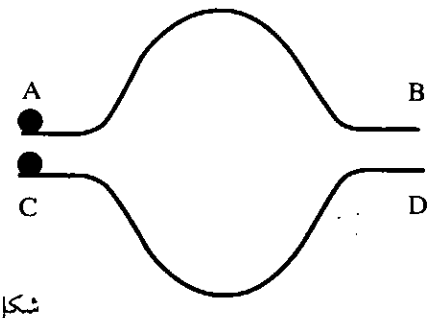
## نتیجه گیری و پیشنهادها

بررسی آزمایشی که در شکل ۱، نشان داده شده است، در بهترین شرایط مبهم و به احتمال زیاد گمراه کننده است مگر اینکه به چند عامل تعیین کننده، توجه کنیم.

نتیجه نهایی به شکل هندسی مسیر، سرعت اولیه و اصطکاک بستگی دارد.

یک نمایش روشنگر و بدون ابهام در شکل ۳ نشان داده شده است، که در آن مسیرها متقارن‌اند. این مانند مسئله‌ای که در فیزیک مفهومی هیویت ۳ مطرح شده است. دانش‌آموزان معمولاً تقارن مسئله را بیش از حد تعمیم می‌دهند و به غلط نتیجه می‌گیرند که زمان لازم برای پیمودن این مسیرها مساوی است. با در نظر گرفتن مورد ساده‌تر بدون اصطکاک و دوباره بدون آنکه از کلیت مسئله کاسته شود، نتیجه می‌گیریم که سرعت نهایی دو جسم مساوی است، هر چند زمان پیمودن مسیر برای آن دو یکسان نیست.

اما کمی دقت باید دانش‌آموزان متفکر را قانع کند که جسمی که از تپه بالا می رود سرعت خود را از دست می‌دهد و سپس در پایین آمدن و رسیدن به B، آن را به دست می‌آورد. بنابراین در بیشتر مسیر سرعتش کمتر از سرعت ابتدایی (یا نهایی)اش است. در نتیجه سرعت متوسط آن به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سرعت ابتدایی (یا نهایی) آن است.




شکل ۳

از طرف دیگر جسمی که در سرازیری حرکت می کند، ابتدا سرعت می‌گیرد سپس سرعت به دست آورده‌اش را از دست می‌دهد تا به مقصد خود یعنی D برسد. پس سرعت متوسط آن از سرعت ابتدایی (یا نهایی)اش بیشتر است. از آنجایی که دو جسم مسافتهای مساوی را می‌پیمایند، به سادگی می‌توان نتیجه گرفت که جسمی که مسیر سربالایی را می‌پیماید از جسمی که در مسیر سرازیری حرکت می‌کند، عقب می‌افتد.

ما به کمک Graphs & Tracks[5], Interactive physics[4] این آزمایش را شبیه‌سازی کرده‌ایم که فکر می‌کنیم که آوردن جزئیات نتایج آن در اینجا لازم نیست.

مترجم: مرسده ماکویی

References

1. William J. Leonard and William J. Grace, Phys. Teach. 34, 280 (1996) and references there in.

2. Flex-Track™ is sold by Darda INC., Baltimore, MD; 1-800-638-1470

3- Paul G. Hewitt, Next-Time Question to Accompany coceptual physics (Harpercollins, New York, 1993), chap. 6.

4. Interactive physics is available from knowledge Revolution, 1-800-766-6615.

5. Graphs & Tracks is available from physics Academic Soft ware, 1-800-955-8275.

# سقوط آزاد و حرکت دایره‌ای

**در این مجموعه سعی شده است با طرح پرسشها و مثالهای گوناگون و تصویرهای ساده، روشهای مناسب و قابل فهمی برای کمک به آموزش مباحث مختلف فیزیک فراهم آید.**

**سید جعفر مهرداد**

## ۱ ـ سقوط آزاد :

در فصل ۲ مثال ۸ فیزیک اوهانیان می خوانیم : سنگی با سرعت اولیه $۱۵\ m/s$ در راستای قائم به بالا پرتاب می‌شود و ۲ ثانیه بعد سنگ دیگری از همان مبدأ پرتاب و با همان سرعت اولیه در همان راستا به بالا پرتاب می‌گردد. سنگ اولی در برگشت در چه ارتفاعی از مبدأ پرتاب به سنگ دومی می‌رسد. در کتاب مذکور این پرسش به صورت مفصل زیر پاسخ داده شده است. معادله مکان سنگ اول عبارت است از $x_۱ = x_۰ + v_۰ t - \frac{۱}{۲} g t^۲$ .

سنگ دوم ۲ ثانیه دیرتر پرتاب شده است بنابر این معادله مکان آن به صورت زیر است.

$$x_۲ = x_۰ + v_۰ (t-۲) - \frac{۱}{۲} g (t-۲)^۲$$

در حالت کلی اگر فرض کنیم سنگ دوم $t_۲$ ثانیه پس از سنگ اول پرتاب شود خواهیم داشت :

$$x_۲ = x_۰ + v_۰ (t-t_۲) - \frac{۱}{۲} g (t-t_۲)^۲$$

وقتی دو سنگ به یکدیگر می‌رسند $x_۱ = x_۲$ است بنابراین می‌توانیم بنویسیم :

$$v_۰ t - \frac{۱}{۲} g t^۲ = v_۰ (t-t_۲) - \frac{۱}{۲} g (t-t_۲)^۲$$

$$۰ = -v_۰ t_۲ + g t t_۲ - \frac{۱}{۲} g t_۲^۲$$

از این رابطه مدت زمان $t$ بر حسب $t_۲$ به دست می‌آید.

$$t = \frac{v_۰}{g} + \frac{۱}{۲} t_۲$$

پس $t = \frac{۱۵}{۹/۸} + \frac{۱}{۲} \times ۲ = ۲/۵۳^s$ است. این مقدار را در معادله مکان سنگ اول قرار می‌دهیم و ارتفاع مکان رسیدن دو سنگ به یکدیگر نسبت به مبدأ پرتاب به دست می‌آید :

$$x_۱ - x_۰ = ۱۵ \times ۲/۳۲ - \frac{۱}{۲} \times ۹/۸ \times ۲/۵۳^۲$$

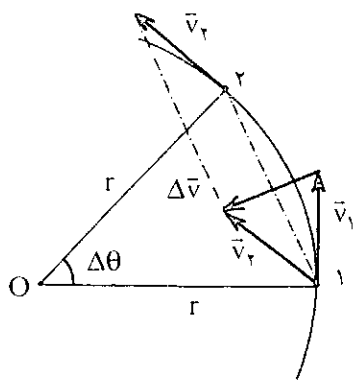
$$= ۶/۶^m$$

* * *

نکته قابل ذکر و توجه این است که به سادگی و آسانی می‌توانیم به همین نتیجه برسیم. می‌دانیم مدت زمان حرکت سنگ از مبدأ پرتاب تا نقطه اوج $\frac{v_۰}{g}$ و مدت رفت از هر نقطه مسیر تا اوج با مدت برگشت از اوج تا آن نقطه مسیر یکسان است. چون تفاوت مدت حرکت دو سنگ در ارتفاعی که به هم می‌رسند $t_۲$ فرض شده است بنابراین مدت زمان حرکت سنگ اول در این ارتفاع برابر $t = \frac{v_۰}{g} + \frac{۱}{۲} t_۲$ است.[۱]

(ر.ش به رشد آموزش فیزیک ـ شماره ۱۲ ـ ۱۱ ملاحظاتی درباره مسائل سقوط آزاد اجسام)

## ۲ ـ شتاب در حرکت دایره ای




در کتابهای درسی و غیردرسی مکانیک، محاسبه شتاب در حرکت دایره‌ای به روشهای گوناگون بیان شده است. به عنوان تمرین برای نوآموزان مکانیک روش

محاسبه زیر نیز قابل ذکر و توجه است.

مطابق شکل ذره‌ای با سرعت ثابت V دایره‌ای به شعاع r را می‌پیماید. در مکان ۱ و ۲ به ترتیب بردار سرعت با $\vec{V}_1$ و $\vec{V}_2$ نشان داده شده است. درمدت زمان $\Delta t$ مکان زاویه‌ای پیموده شده از ۱ تا ۲ برابر $\Delta\theta$ است. شتاب متوسط در این مدت عبارت است از:

(۱)

$$\vec{a}_{a_v} = \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{\Delta t}$$

با توجه به مثلث ۱۲۰ و مثلث متشابه آن مطابق قانون کسینوسها داریم:

(۲)

$$|\vec{V}_2 - \vec{V}_1| = \sqrt{V^2 + V^2 - 2V^2 Cos\Delta\theta}$$

بنابراین اندازه شتاب متوسط برابر است با

(۳)

$$|\vec{a}_{av}| = \frac{V\sqrt{2(1 - Cos\Delta\theta)}}{\Delta t}$$

در مدت $\Delta t$ طول کمان پیموده شده $v\Delta t$ و برابر $r\Delta\theta$ و بنابراین $\Delta t = \frac{r\Delta\theta}{v}$ است. با توجه به رابطه $(1 - Cos2\alpha) = 2Sin^2\alpha$ داریم

$$(1 - Cos\Delta\theta) = 2Sin^2\frac{\Delta\theta}{2}$$

بدین ترتیب رابطه (۳) به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$|\vec{a}_{av}| = \frac{V\sqrt{2(2Sin^2\frac{\Delta\theta}{2})}}{\frac{r\Delta\theta}{V}}$$

(۴)

$$\Rightarrow |\vec{a}_{av}| = \frac{V^2}{r}\frac{Sin\frac{\Delta\theta}{2}}{\frac{\Delta\theta}{2}}$$

می دانیم $\lim_{x\to 0}\frac{Sin\,x}{x} = 1$ است بنابراین در رابطه (۴) هنگامی که $\Delta\theta$ به سمت صفر میل می کند شتاب لحظه‌ای برابر $a = \frac{v^2}{r}$ به دست می آید.

***

اگر حرکت دایره‌ای یکنواخت نباشد اندازه سرعت در مکان (۱) را برابر $v$ فرض می‌کنیم. هرگاه شتاب حاصل از تغییر اندازه سرعت را با $a_{||}$ نشان دهیم اندازه سرعت در مکان (۲) برابر $(v + a_{||}\Delta t)$ است.

نظیر حالت پیشین مثلث ۱۲۰ را با اضلاع $v_1 = v$ و $v_2 = v + a_{||}\Delta t$ در نظر می‌گیریم و اندازه $|\vec{v_2} - \vec{v_1}|$ را از این مثلث حساب می‌کنیم. با توجه به محاسبه‌های قبل $a$ اندازه شتاب متوسط در مدت $\Delta t$ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$a^2 = a_{||}^2 + \left[\frac{V^2}{r}\frac{Sin\frac{\Delta\theta}{2}}{\frac{\Delta\theta}{2}}\right]^2 + a_{||}\Delta\theta\frac{v^2}{r}\frac{Sin^2\frac{\Delta\theta}{2}}{(\frac{\Delta\theta}{2})^2}$$

هرگاه $\Delta\theta$ به سمت صفر میل کند، در طرف راست رابطه اخیر جمله آخر صفر می‌شود و در حالت کلی برای حرکت دایره‌ای رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$a = \sqrt{a_{||}^2 + (\frac{V^2}{r})^2}$$

$a_{||}$ شتاب مماسی و $\frac{V^2}{r}$ شتاب عمودی (شتاب شعاعی یا شتاب مرکزگرا) است.[۲]

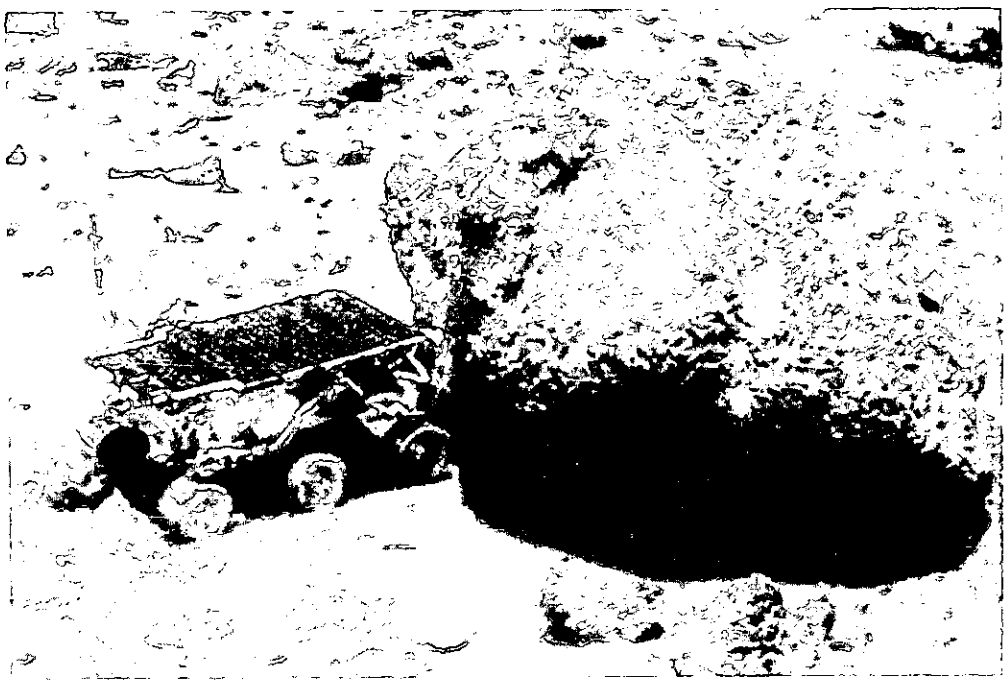

مرجع:

(1) OHANIAN PHYSICS, 1989, P, 40.

(2) VaL.35, MAY 1997 THE PHYSICS TEACHER, P, 276.

# پروژهٔ رهیاب مریخ

گردآوری و ترجمه: محمدرضا اجتهادی



**تاریخ پرتاب از زمین: سیزدهم آذرماه ۱۳۷۵،**
06:58 UT*

**تاریخ ورود به مریخ: سیزدهم تیرماه ۱۳۷۶،**
16:57 UT

**موشک حامل: دلتا-دو (Delta II)**

**جرم: ۲۲۴ kg (مریخ‌نشین) ۱۰/۵ kg (مریخ نورد)**

**سیستم تأمین انرژی: باتریهای خورشیدی**

## شرح پروژه:

رهیاب مریخ دومین مأموریت اکتشافات سیاره‌ای کم‌هزینهٔ ناسا (NASA) است. این مجموعه شامل یک ایستگاه ثابت و یک ماشین متحرک است. هدف اول در این مأموریت نشان دادن توانایی فرودهای کم‌هزینه در سطح مریخ و اکتشافات مفید آنها است. در حقیقت در این پروژه امکان ارتباط میان ایستگاه ثابت و متحرک و ارتباط میان ایستگاه ثابت و زمین، آزمایش می‌شود.

* ساعت جهانی
۵ سول = روز مریخی = ۲۴ ساعت و ۳۹ دقیقه زمینی
۵۵ (Ares Vallis)

همچنین ابزار تصویربرداری، آشکارسازها و سیستم حرکتی مریخ نورد مورد بررسی قرار میگیرند. علاوه بر آن اهداف علمی دیگری نیز موردنظر است، از جمله بررسی جو مریخ، تصویربرداری دور و نزدیک از سطح مریخ، بررسی نوع ترکیب خاک و سنگهای مریخ و آزمایشهای هواشناسی. در تمام این موارد یک هدف کلی مورد نظر است و آن شناسایی محیط مریخ برای استفاده در اکتشافات بعدی است. به همین دلیل رهیاب مریخ درابتدا به نام رهیاب بررسی محیط مریخ، (Mars Enviromental Survey Pathfidr) با نام اختصاری MESUR نامیده می‌شد.

## مراحل فرود

سفینه بدون گشتن در مدار گرد مریخ، روز چهارم ژوئیه ۱۹۹۷ در مسیر هزلولی خود با سرعتی حدود $7300\ m/s$ مستقیماً به جو مریخ وارد شد. سفینه مادر ۳۰ دقیقه قبل از ورود به جو از فضاپیما جدا شده بود. فضاپیما از ابتدای سقوط خود اندازه‌گیریهای جوی را آغاز کرد. سپر حرارتی فضاپیما سرعت آن را در مدت زمانی حدود ۱۶۰ ثانیه به $400\ m/s$ کاهش داد. یک چتر نجات ۱۲/۵ متری در این لحظه باز شد و سرعت سفینه را $65\ m/s$ کاهش داد. سپر حرارتی ۲۰ ثانیه بعد از باز شدن چتر از سفینه جدا شد. در این لحظه یک ریسمان به طول

۲۰ متر از سفینه آویزان شد. در مدت ۲۵ ثانیه بعد سفینه از پوستهٔ بالایی خود جدا شده و تا انتهای ریسمان پایین آمد. در ارتفاعی حدود ۱/۵ کیلومتر از مریخ رادار ارتفاع سنج سفینه سطح مریخ را احساس کرد. حدود ۸ ثانیه قبل از فرود چهار کیسه هوا در مدتی حدود ۰/۳ ثانیه باز شدند و یک کرهٔ محافظ به قطر ۵/۲ متر را اطراف مریخ‌نشین تشکیل دادند. چهار ثانیه بعد ۳ راکت متصل به پوستهٔ بالایی برای کاهش سرعت روشن شدند و دو ثانیهٔ بعد ریسمان پاره شد و سفینه، که کیسه‌های هوا آن را محاصره کرده بود، رها شد. سفینه حدود ۲ ثانیه بعد و در ساعت UT ۵۷ : ۱۶ روز سیزدهم تیرماه ۱۳۷۶ با سرعتی حدود $18\ m/s$ به سطح برخورد سفینه به طور تقریبی دارای سرعت افقی و عمودی $12/5\ m/s$ بود. بعد از برخورد با سطح سیاره سفینه حدود ۱۵ متر از سطح جدا شد و بعد از ۲/۵ دقیقه با حداقل ۱۵ بار بلند شدن از سطح و غلتش در فاصله‌ای حدود $1\ km$ از محل برخورد اولیه متوقف شد. بعد از توقف کامل کیسه‌های هوا تخلیه شدند و رهیاب سه صفحه فلزی مثلثی شکل شامل باتریهای خورشیدی خود را باز کرد.

محل فرود در ناحیهٔ درّه‌های آرس** در عرض و طول جغرافیایی ۱۹/۳۳N و ۳۳/۵۵W است. این ناحیه یکی از بزرگترین کانالهایی است که در سطح مریخ وجود دارد و به نظر می‌رسد بدلیل یک جریان بسیار عظیم شاره به وجود آمده باشد.

این ایستگاه به یاد کارل ساگان (Carl Sagan)، ایستگاه ساگان نامیده شد.

**مشخصات مریخ نشین:**

نامهای دیگر

- رهیاب MESUR
- ایستگاه یادبود کارل ساگان
- ایستگاه ۲۴۶۶۷

باتریهای خورشیدی با سطح حدود ۲/۵ مترمربع به همراه باتریهای قابل شارژ، انرژی لازم مریخ‌نشین را تأمین می‌کنند. یک کامپیوتر ۳۲ بیتی با ۶۴ مگابایت حافظهٔ ضبط تصاویر و ۴ مگابایت حافظهٔ دستیابی کاتوره‌ای بر آن سوار است. یک سیستم ارسال تصویر، تصاویر محیط اطراف و مریخ‌نورد را به زمین مخابره می‌کند. یکی از وظایف اصلی مریخ‌نشین ایجاد ارتباط میان مریخ‌نورد و زمین است. همچنین مریخ‌نشین به یک ایستگاه هواشناسی مجهز است. تمام تجهیزات اصل مریخ‌نشین در یک واحد مکعب‌مستطیل شکل در وسط صفحات حساس به نور قرار دارد و دوربین عکاسی نیز بر بالای همه در مرکز قرار دارد.

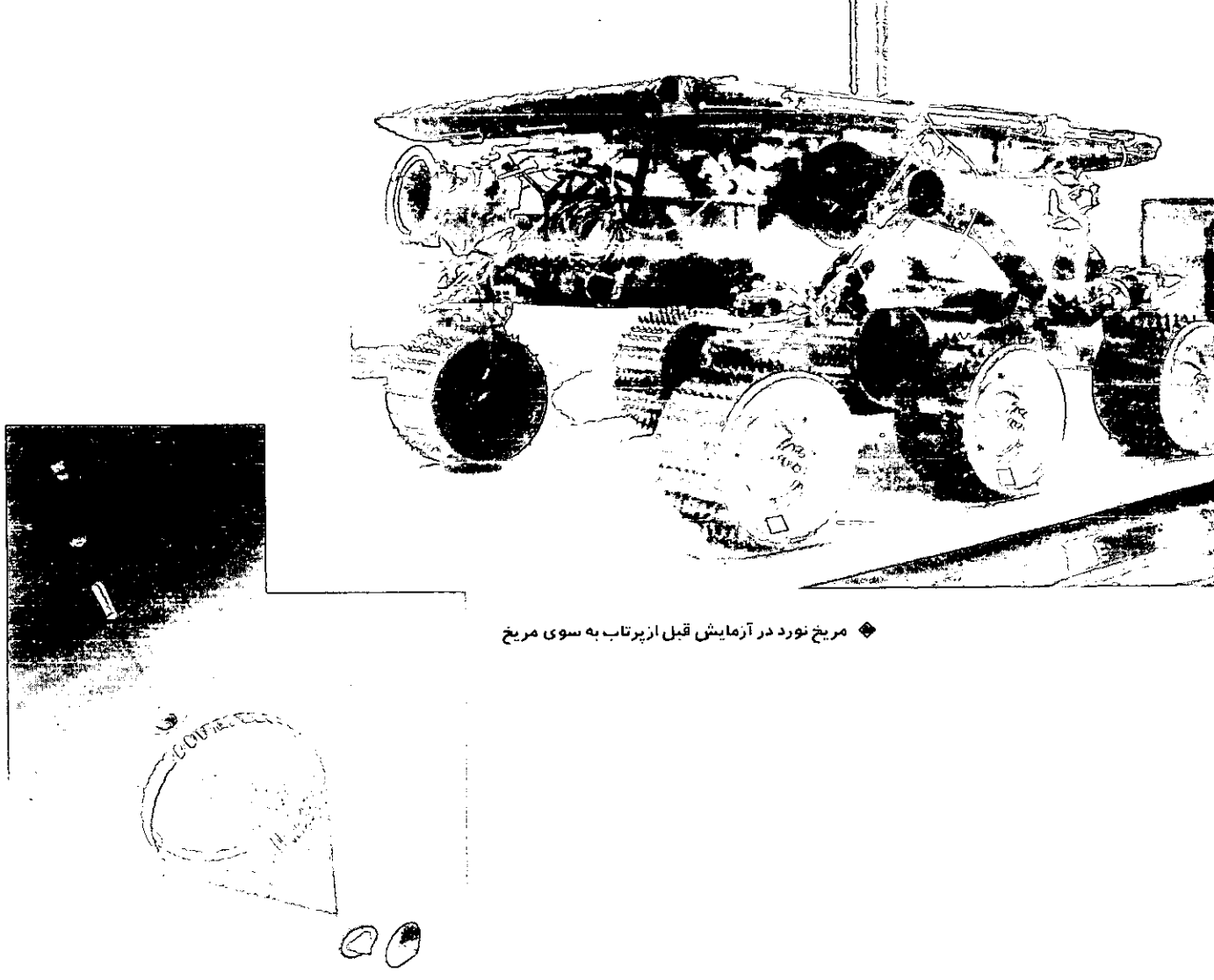
**مشخصات مریخ نورد:**

نام‌های دیگر:

- نقالهٔ رهیاب MESUR
- راکی ۴ (Rocky IV)
- رهگذر (Sojourner)
- MFEX

مریخ‌نورد که خانه‌به‌دوش خوانده می‌شود، یک وسیله نقلیهٔ شش چرخ است. که، ۲۸۰ mm ارتفاع، ۶۳۰ mm طول و ۴۸۰ mm پهنا دارد. خانه‌به‌دوش را یک راننده از زمین کنترل می‌کند که برای این کار از تصاویر ارسالی رهیاب و مریخ‌نورد، هر دو استفاده می‌کند. لازم به ذکر است که به دلیل تأخیر زمانی در ارسال پیامها بین مریخ و زمین (بین ۱۰ تا ۱۵ دقیقه بسته به فاصلهٔ نسبی آنها) مریخ‌نورد بایستی به یک سیستم خود کنترل مجهز باشد تا احتمال اشتباه را کاهش دهد. سیستم کنترل سوار بر مریخ‌نورد یک پردازشگر Intel 80C85، ۸ بیتی است که توانایی پردازش ۱۰۰/۰۰۰ دستور در ثانیه را دارد. انرژی مریخ‌نورد را باتریهای خورشیدی با مساحت $0/2m^2$ تأمین می‌کنند. این باتریها می‌توانند انرژی لازم برای چند ساعت کار در سول* (SOL) را فراهم کنند. در هفت سول اول، مریخ‌نورد ۱۰ متر از رهیاب فاصله گرفت.

مریخ‌نورد مجهز به یک دستگاه تصویربرداری تصاویر سیاه و سفید است. از این تصاویر برای مطالعه اندازه و پراکندگی سنگها روی مریخ استفاده می‌شود. از تصاویر ردّ مریخ‌نورد نیز برای برآورد خصوصیات خاک مریخ استفاده می‌شود. یک طیف‌سنج پرتوی آلفا-پروتون-X برای بررسی ترکیب سنگها و خاک مریخ بر روی آن سوار است.



◆ مریخ نورد در آزمایش قبل از پرتاب به سوی مریخ

| سرعت | ارتفاع | واقعه | زمان |
|---|---|---|---|
| ۶/۱ کیلومتر بر ثانیه | ۸۵۰۰ کیلومتر | جدایی سفینهٔ مادر | ۳۰ دقیقه |
| ۷/۳ کیلومتر بر ثانیه | ۱۳۰ کیلومتر | ورود به جو | ۰ |
| ۶ کیلومتر بر ثانیه | ۴۰ کیلومتر | گرم شدن سپر حرارتی | ۶۴ ثانیه |
| ۴۰۰ متر بر ثانیه | ۸/۶ کیلومتر | باز شدن چتر | ۱۶۳ ثانیه |
| ۱۰۰ متر بر ثانیه | ۶/۵ کیلومتر | جدایی سپر حرارتی | ۱۸۳ ثانیه |
| ۷۰ متر بر ثانیه | ۴/۷ کیلومتر | آویزان شدن ریسمان | ۲۰۸ ثانیه |
| ۶۵ متر بر ثانیه | ۱/۵ کیلومتر | آشکار شدن سطح | ۲۵۵ ثانیه |
| ۶۲ متر بر ثانیه | ۳۰۰متر | باد شدن کیسه های هوا | ۲۷۴ ثانیه |
| ۶۰ متر بر ثانیه | ۵۰ متر | روشن شدن راکتها | ۲۷۸ ثانیه |
| ۰ متر بر ثانیه | ۱۲ متر | رها شدن سفینه و کیسه های هوا | ۲۸۰ ثانیه |
| ۲۰ متر بر ثانیه | ۰ متر | برخورد با سطح | ۲۸۲ ثانیه |


مرجع:
NASA/ National Space Science Data Center. hhtp://WWW. gsfc. nasa. gov
hhtp: //WWW. gsfc. nasa. gov

# مدال اورستد

مدال اورستد، که یادبودی از کار هانس کریستیان اورستد است، بالاترین افتخار جامعهٔ معلمان فیزیک آمریکاست. بنیان این جایزه در سال ۱۳۱۵ (۱۹۳۶ م) گذاشته شد و همه ساله برای خدمات قابل توجه در آموزش فیزیک اهداء می‌شود. امسال دانیل کلپنر[1] به دریافت مدال اورستد مفتخر شد.

دانیل کلپنر درجهٔ لیسانس علوم را در کالج ویلیامز در سال ۱۳۳۲ (۱۹۵۳ م)، درجهٔ لیسانس هنر را از دانشگاه کمبریج انگلستان در سال ۱۳۳۴ (۱۹۵۵ م) دریافت کرد و با استفاده از بورس فولبرایت[2] درجهٔ دکتری خود را از دانشگاه هاروارد در سال ۱۳۳۸ (۱۹۵۹ م) گرفت و به هیئت علمی آن در سال ۱۳۴۱ (۱۹۶۲ م) پیوست. در سال ۱۳۴۵ (۱۹۶۶ م) به انستیتو تکنولوژی ماساچوست منتقل شد و کرسی استادی لستر ولف[3] در فیزیک به او داده شد. او به عنوان رئیس بخش فیزیک اتمی، پلاسما، و مادهٔ چگال در بخش فیزیک سالهای ۱۳۵۵ تا ۵۸ (۷۹ـ۱۹۷۶ م) و در سال ۱۳۶۶ (۱۹۸۷ م) به سمت مدیر آزمایشگاه تحقیقاتی الکترونیک منصوب شد.

استاد کلپنر برای چندین سال عضو پیشرو جامعه فیزیک بوده است، ممتاز در هر دو زمینهٔ آموزش و پژوهش. آنهایی که استاد کلپنر را نمی‌شناسند ممکن است نام او را هرازگاهی در ستون «چارچوب مرجع» در مجلهٔ ***فیزیکز تودی***[4] بیابند.

آنهایی که او را می‌شناسند دانیل کلپنر را فردی با فرهنگ، بابصیرت و خوش‌مشرب می‌دانند. از دیگر نوشته‌هایش ***حسابان سریع*** با همکاری نورمن رامزی[5] است. (وایلی، ۱۳۲۴ ش ـ۱۹۵۵ م). تأثیر او از جامعه سنتی فیزیک بسیار فراتر رفته است و به واسطهٔ سهم او در صفحهٔ علمی نشریهٔ ***نیویورک تایمز*** به عموم مردم رسیده است. او نمایندهٔ ویژگیهایی است که دریافت کنندگان مدال اورستد را از دیگران متمایز می‌کند.

در سال ۱۳۶۹ (۱۹۹۰ م) انجمن فیزیک آمریکا استاد کلپنر را با جایزهٔ اسکار لیلین فیلد[6] مفتخر کرد، و در سال

D. Kleppner

۱۳۷۰ (۱۹۹۱ م) برندهٔ جایزهٔ ویلیام مگارز[7] انجمن اپتیک آمریکا شد. کلپنر به عضویت انجمن فیزیک آمریکا، آکادمی هنر و علوم آمریکا، جامعهٔ آمریکایی پیشبرد علوم و انجمن اپتیک آمریکا برگزیده شده است. به علاوه او عضو آکادمی ملی علوم است.

کار اصلی استاد کلپنر شامل خدمت در انستیتو فیزیک آمریکا به عنوان عضو هیئت مدیره (از سال ۱۳۶۴ ش به بعد ـ ۱۹۹۵ م) کمیتهٔ راهنمای ***فیزیکال ریویو لترز***[8] (از سال ۱۳۶۴ به بعد)، کمیتهٔ اجرائی انجمن فیزیک آمریکا (۱۳۶۴ تا ۶۶ـ۸۸ـ ۱۹۸۶ م) به کمیتهٔ مشورتی ***فیزیکز تودی***، هیئت تحریریهٔ ***فیزیکال ریویو*** (۱۳۶۱ تا ۶۶ ش ۸۸ـ۱۹۸۲ م) و دیگر خدمات برجسته در شورای ملی تحقیق، اتحادیهٔ بین‌المللی فیزیک محض و کاربردی، و آکادمی ملی علوم است. در حالی که این فقط بخشی از خدمات استاد کلپنر است، شاید این کوششها او را وادار کرده است که مطلبی برای «چارچوب مرجع» تحت عنوان «اعترافات یک معتاد به کمیته» بنویسد.

به خاطر سهم او در فیزیک و آموزش فیزیک، به خاطر روشهایی که دانشجویانش را به چالش می‌طلبد، هم در سطح کارشناسی و هم در سطح بالاتر، به خاطر تلاشهای بسیار باارزش او برای ترغیب جامعه در برقراری ارتباط با فیزیک، جامعهٔ معلمان فیزیک آمریکا مفتخر است که مدال اورستد را به دانیل کلپنر اهداء کند.

**مترجم: محمدعلی سعادت بخت**

1. Daniel Kleppner
2. Fulbright Fellowship
3. Lester Wolfe
4. Physics Today
5. Norman Ramsy
6. Edgar Lilienfield
7. William Meggars
8. Physical Review Letters

# در اعماق لکه‌های خورشیدی

کارن ساترل

یک معمای ۸۸ ساله دربارهٔ لکه‌های خورشیدی سرانجام، با استفاده از روش تصویرگیری توموگرافی اپتیکی ماهرانه، حل شد.

لکه‌های خورشیدی منطقه‌های نسبتاً خنک قرص خورشید است که در آنجا کلافهایی از خطوط میدان مغناطیسی هستند که در سطح خورشید نفوذ می‌کنند. برای اولین بار جی. اورشد در سال ۱۹۰۹ متوجه یک پدیدهٔ شگفت‌انگیز شد، که به نقض یکی از قانونهای بنیادی فیزیک، یعنی پایستگی جرم، مربوط می‌شد. ملاحظات طیف‌نمایی لکه‌های خورشیدی جریانی از ماده را نشان می‌دهد که از این سو به آن سوی لکه‌های خورشید در حرکت است و به صورت اسرارآمیزی در لبهٔ خارجی آن ناپدید می‌شود.

اما نقشه‌های جدید یک لکه خورشید نوعی (تصویر سمت راست) که در این گزارش چاپ شده است اسرار این مثلثهای برمودای خورشیدی را برملا می‌سازد. این تصاویر با استفاده از یک روش توموگرافی غیرمستقیم به دست آمده‌اند که در آن پردازش ریاضیاتی داده‌های قطبش اپتیکی دخیل است. نتیجه‌ها، در عمقهای مختلف جوّ خورشید در دو قاب بالایی نشان داده شده‌اند. (پایین‌ترین قاب مربوط به تصویر اپتیکی معمولی لکهٔ خورشیدی است.) آنچه اهمیت دارد این است که این روش نه تنها اطلاعاتی دربارهٔ سرعت مواد در حول و حوش لکه خورشیدی بلکه میدان مغناطیسی آن (که با پیکانها نشان داده شده‌اند) نیز می‌دهد.

این توموگرافی جدید ایجاب می‌کند که خطهای میدان حلقه‌های بسته‌ای را در عمیق‌ترین لایه‌های جوّ، در نزدیکی سطح خورشید، تشکیل دهند. این یک مشاهدهٔ سرنوشت‌ساز است، زیرا به لحاظ نظری مسیر گاز باید از نظر فیزیکی در امتداد این خطهای میدان یا «لوله‌های شار» باشد. و در واقع، در خارجی‌ترین ناحیه‌های لکه، ماده‌ای که وارد می‌شود به شدت با شار مغناطیسی که جهت آن به سمت داخل است همبستگی دارد (ناحیه‌های با سایهٔ آبی). بنابراین سرانجام چاهک مواد برملا شد ـ در لبهٔ لکه، لوله‌های شار مغناطیسی که در ارتفاع کم قرار دارند، گاز را به داخل خورشید می‌کشند، و جریان را از لحاظ طیف‌نمایی نامریی می‌سازند.

اثر اورشد اغلب بحث‌برانگیز بوده است ـ به عنوان مثال، به نظر می‌رسد که برخی مشاهدات اولیه با آن ناسازگار باشند، زیرا این مشاهدات قطع ناگهانی جریان را در لبهٔ لکه را نشان نمی‌دادند. اما اکنون دلیل آن روشن شده است. نکتهٔ کلیدی آن است که کمیتهای فیزیکی (مانند شار مغناطیسی) در جوّ خوشید بر حسب ارتفاع تغییر می‌کنند. اندازه‌گیریهای قبلی کامل نبودند زیرا فقط می‌توانستند از یک لایه خاص نمونه‌برداری کنند، مانند داستان اساطیری که در آن نابینایان فیلی را توصیف می‌کردند. اما روشهای توموگرافی سه بعدی می‌تواند این تغییرات را بکاود، و میدان و جریان جرم در عمیق‌ترین لایه‌های جوّ را اندازه بگیرد.

اکنون با استفاده از ترموگرافی معلوم شده است که در لایه‌های جوّی بالاتر، خطهای مغناطیسی به جای اینکه حلقه‌های بسته‌ای را تشکیل دهند بازند و در ورای حدود مریی لکه امتداد یافته‌اند. بنابراین، در این ارتفاع، جریان نباید به طور ناگهانی در لبهٔ لکه قطع شود که مشاهدات غیرعادی قبلی مربوط به این لایه‌ها را توجیه می‌کند.

بنابراین از بیش از یک نظر می‌توان گفت که جریان اورشد موردی است که اگرچه روشن شده است ولی هنوز جای بحث دارد.

## رصدهای سیاهچاله: تاریکی فراینده

جیمز گلانز

یک گردهمایی اخیر به افتخار شادروان سوبرامانیان چاندراشکر نشان داد که سیاهچاله‌ها در کامپیوترهای نظریه‌پردازان و تخته‌سیاههای آنها شکوفا می‌شوند. اما این اجسام که فرزندان نظریهٔ گرانی اینشتین هستند ـ بنابه یافته‌های ناظران موجودات واقعی در عالم هستند:

رصدکنندگان علامتهای قوی فزاینده‌ای را از سیاهچاله‌ها در مرکز کهکشانها، و در فاصله‌های نزدیکتر، در چشمک‌زنهای متلاطم پرتوی X آشکار می‌سازند. این رصدهای جدید نشان می‌دهد که «موجوداتی که چاندرا بخش مهمی از زندگیش را صرف آنها کرد موجودیت واقعی و محکمی دارند و فقط مفاهیم نظری نیستند.»

به گفته مارتین رمیس از دانشگاه کمبریج «متقاعدکننده‌ترین مورد یک سیاهچاله» اندازه‌گیریهای میکروویو از یک قرص گازی چرخان در مرکز یک کهکشان به نام NGC 4258 است که در فاصلهٔ ۲۰ میلیون سال نوری قرار دارد. دو سال پیش، گروهی متشکل از ماکوتو میوشی از مرکز رصدخانه ملی اخترشناسی ژاپن و جیمز موران از مرکز هاروارد-اسمیتسونین برای اختر فیزیک (CFA) در کمبریج، ماساچوست با استفاده از آرایه طویلی از تلسکوپهای رادیویی NGC 4258 را مشاهده کردند. آنها دریافتند که با برانگیخته شدن مولکولهای آب موجود در قرص، مثلاً با نور ستارگان، آنها می‌توانند برخی از بسامدها را تقویت و به عنوان میزر- معادل میکروویوی لیزر، عمل کنند. با چرخش قرص و دور و نزدیک شدن مادهٔ آن از زمین، امواج میکروویو بلند و کوتاه می‌شوند. اندازهٔ این جابه‌جایی دوپلری، همراه با تصاویر کهکشان، نشان داد که گاز حول یک شیئی تاریک متراکم می‌چرخد که جرم آن در حدود ۳۶ میلیون خورشید است.

به گفتهٔ آنها «این شیئی تاریک و مقیاس آن به اندازه‌ای کوچک است»- با عرض کوچکتر از نیم‌سال نوری- که احتمالاً نمی‌تواند یک خوشهٔ ستاره‌ای را در آن ناحیه پنهان کند.»

این اندازه‌گیریها در هیجدهمین سمپوزیوم اختر فیزیک نسبیتی در تکزاس، که بلافاصله پس از گردهمایی چاندرا برگزار شد، ارائه شد. به گفته این گروه اکنون دو «نامزد پروپا قرص» برای کهکشانهایی وجود دارد که دارای همین طرح دوپلری هستند.

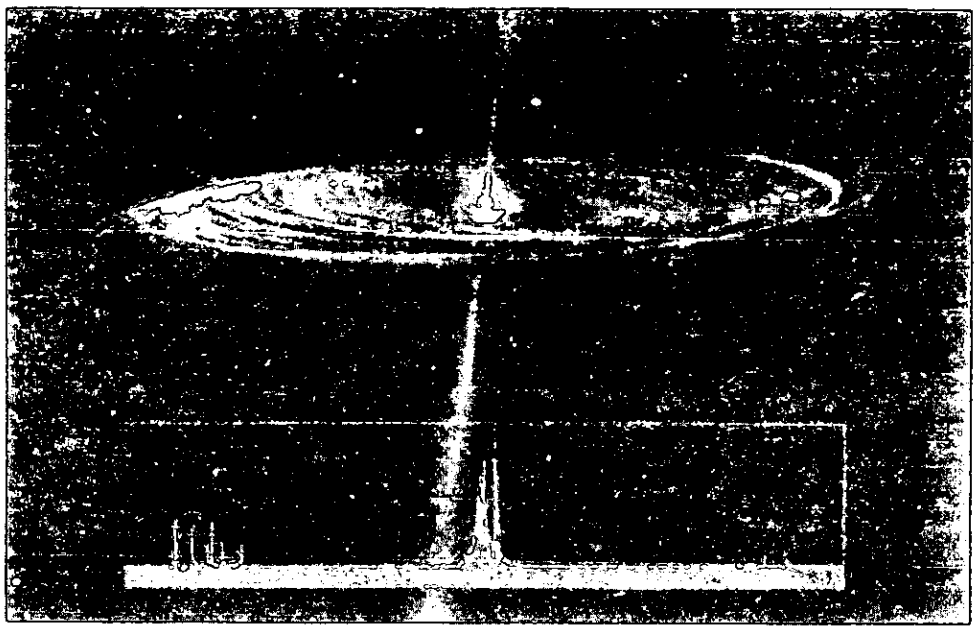
رصدهای ستاره‌ای مشابه نشان می‌دهد که سیاهچاله‌هایی در قلب سایر کهکشانها وجود دارد، اگرچه ستارگان- که نقطه‌هایی پراکنده هستند- نمی‌توانند متوجه میدان گرانشی با پیوستگی هموار یک قرص گازی شوند. اما هنوز، آنچه را که میچل بیگلمان از دانشگاه کلرادو، بولدر، بهترین مورد بعدی برای یک سیاهچاله در نظر می‌گیرد ناشی از اندازه‌گیریهای ستاره‌ای در فاصله نزدیک به زمین (در مرکز راه شیری) است. جابه‌جایی دوپلری در نوری که از قلب راه شیری می‌آید نشان می‌دهد که یک رباینده پر جرم و کوچک در آنجا وجود دارد. اما شکاکان می‌توانند استدلال کنند که اگر یک عدم تقارن به سرعتهای کمتر در عرض صفحه آسمان نسبت به امتداد خط مستقیم نسبت به زمین بینجامد، جرم شیئی مرکزی ممکن است چندان زیاد نباشد. اما ا. اکارت و رینهارد گنزل از انستیتوی ماکس پلانک برای فیزیک برون زمینی در آسمان در مقاله‌ای که در مجلهٔ نی چر در ۳ اکتبر به چاپ رسید «حلقه کمند را به دور هستهٔ کهکشانی مسلم کرد.»

اکارت و گنزل ۳۹ ستاره در نزدیکی قلب کهکشان را برای مدت چند سال ردیابی کردند و نشان دادند که سرعتهای آنها تقریباً در تمام جهتها یکسان است. سرعتها نشان می‌دهند که این ستارگان در مدار یک جرم تاریک برابر چند میلیون خورشید در کسری از مکعبی به ابعاد سال نوری در حرکت‌اند- این چگالی وجود یک سیاهچاله را شدیداً ایجاب می‌کند.

آنچه برای کهکشان معمولی ما حقیقت دارد ممکن است برای بیشتر کهکشانها صادق باشد. در یک مصاحبه مطبوعاتی در ۱۳ ژانویه در انجمن نجوم آمریکا در تورنتو، یک گروه به رهبری داگلاس، ریچستون از دانشگاه میشیگان با استفاده از تلسکوپ فضایی هابل که در مدار زمین قرار دارد آماری از سیاهچاله‌های ۱۵ کهکشان مجاور تهیه کرد. اندازه‌گیریهای دوپلری نشان داده‌اند که در مرکز همه این کهکشانها، ستارگان با آهنگ سرسام‌آوری می‌چرخند، ظاهراً از کشش گرانشی سیاهچاله‌های عظیم با جرمی از میلیونها یا بیلیونها برابر جرم خورشید نیرو می‌گیرند.

اما به گفته ریس، همهٔ این کارها نیازمند این پرسش عمیق‌تر است که «آیا این سیاهچاله‌ها واقعاً ویژگیهایی را دارند که نظریهٔ اینشتین پیش‌بینی می‌کند.» به نظر او پیشرفتهایی حاصل شده است. یکی از آنها مربوط به کار گروهی است که با استفاده از ماهوارهٔ پرتوی X ژاپنی ASCA که داده‌هایی را از کهکشانهای «فعال» گردآوری می‌کند که دارای قلب درخشان اسرارآمیز هستند. طیفهای پرتوی X این قلبها نمایانگر یک فضا- زمان در هم پیچیده است که نظریهٔ اینشتین در نزدیکی یک سیاهچاله، به صورت جابه‌جاییهای بسامد عجیب، پیش‌بینی می‌کند که فقط می‌تواند ناشی از گرانی بسیار شدید باشد.

به گفتهٔ ریچارد موشوتسکی از مرکز پروازهای فضایی گودارد درگرین بلت مریلند، که با گروهی متشکل از آندروفابیان در کمبریج، پل نانداارا در گردارد، و ویاسول



**شرح شکل. برداشت هنرمندانه از یک قرص گاز در مرکز کهکشان NGC 4258. جابه‌جاییهای بسامد در سیگنالهای میزر (تصویر پایین) حاصل از این قرص نشان می‌دهد که چرخش تحت تأثیر یک سیاهچاله غول‌آسا صورت می‌گیرد، که دو جت را نیز به حرکت درمی‌آورد.**

تاناکا که اخیراً از انستیتوی علوم فضایی و فضانوردی در ژاپن بازنشسته شده است کار می‌کرد. این نشانه که ابتدا دو سال قبل گزارش شد، اکنون در بیش از یک دوجین شیئی جدید مشاهده شده است. به نظر او «ما فکر می‌کنیم که این داده‌ها قویترین دلیل بر وجود مؤلفه مفقود در سیاهچاله‌ها- یعنی گرانی شدید هستند.»

اما یک رشته از رصدهای دیگر ASCA که در گردهمایی تورنتو گزارش شد ممکن است این ادعا را جعلی جلوه دهند. یک گروه در CFA اعلام کردند که ممکن است دلیلی برای پرده‌برداری از «افق رویداد» به دست آورده باشند که سیاهچاله‌ها را می‌پوشاند. بنا به معادله‌های اینشتین، هیچ چیز- نه نور و نه ماده- که از یک افق رویداد بگذرد دیگر نمی‌تواند از آن خارج شود. گروه CFA گسیل پرتوی X از نه شیئی را بررسی کردند که نواخترهای پرتوی X نامیده می‌شوند و توان آنها از گازهایی است که از ستاره همدم کنده شده‌اند و به طرف یک جسم آبر چگال- یک ستاره نوترونی یا شاید یک سیاهچاله- کشیده می‌شدند.

نواخترهای پرتوی X مواد را با آهنگ ثابت جذب نمی‌کنند. و بنا به مدلهای نظری وقتی ماده ضروری مخصوصاً رقیق است، آهنگ اتلاف انرژی آن باید کند باشد. زیرا تعداد برخوردها برای اینکه اتمها تا این اندازه انرژی از دست بدهند بسیار کم است. در واقع، این مواد نباید بخش اعظم انرژی خود را قبل از اینکه غوطه‌ور شوند از دست بدهند. انرژی باید بتواند از یک ستاره نوترونی فرار کند، اما در پشت افق رویداد یک سیاهچاله از میان می‌رود. و این گروه دریافتند که سیاهچاله‌های مشکوک در مقایسه با ستاره‌های نوترونی در خلال این دوره‌های شتاب‌گیری آرام به طور غیرمنتظره‌ای کم‌نورند. به گفته رامش نارایان از CFA که این تحلیل را با جفری مک کلینتوک و مایکل گارسیا انجام داد «ما فکر می‌کنیم که برای اولین بار دلیل روشنی به دست آورده‌ایم که افق رویداد واقعاً وجود دارد». و به نظر چارلز بیلین اخترشناس دانشگاه بیل «این مطلب رفتار بسیار عجیبی را وارد اخترشناسی رصدی می‌کند».

مترجم: منیژه رهبر

Science. Vol 275, P 477, 24 January 1997

# بنیاد علمی زیرک زاده

بنیاد علمی زیرک‌زاده به منظور ایجاد موزه و نمایشگاه علوم و تکنولوژی در سال ۱۳۷۲ تشکیل شد. ***سرمایه اولیه این بنیاد از سوی شادروان مهندس احمد زیرک زاده تأمین شده است.***

پس از تأسیس بنیاد به همت دست‌اندرکاران آن در دو ***فرهنگسرای خاوران و بهمن***، نمایشگاههایی برپا شد. هر کدام از این نمایشگاه‌ها زیر نظر یک مدیر و به کمک چند راهنما به کار خود ادامه می‌دهند.

* * *

***در نمایشگاه علوم و فنون فرهنگسرای خاوران*** سالن‌های علوم و فنون- نور و سایه، زیست‌شناسی- اخترشناسی- بازی‌های فکری- نمایشگاه هوایی و فضایی دایر است.

به منظور آموزش و آشنایی با علوم و فنون هوایی بنیاد اقدام به ایجاد باشگاه پرواز نموده است که علاقه‌مندان با ثبت نام در این باشگاه علوم فنون هوایی را آموزش می‌بینند.

***در فرهنگسرای بهمن*** - تالار علوم خواجه نصیرالدین طوسی مجموعه آزمایشهای مربوط به آونگ- امواج و ارتعاشات- الکتریسیته و مغناطیس- مکانیک و سیالات- نور، ... انجام می‌شود. هدف این تالار آشنایی عامه مردم با پدیده‌های علمی و پیشرفتهای تکنولوژی است. این تالار بروی عموم مردم باز است و همه می‌توانند با دستگاهها و وسائل مورد علاقه خود کار کنند. در هر قسمت راهنماها آماده پاسخگویی به سؤالات آنها هستند.

برگزاری مسابقه‌های علمی در محل تالار میان مدارس منطقه‌های مختلف، نمایش فیلمهای علمی، بازدید مدارس به طور دسته جمعی با هماهنگی قبلی مدیر تالار، سخنرانی‌های علمی نیز به وسیله کارشناسان بنیاد انجام می‌شود.

**مطابق گزارش «خبرنامه بنیاد علمی زیرک زاده»**

شماره ۵- مرداد ۱۳۷۶ - آمار بازدیدکنندگان نمایشگاه‌های بنیاد طی مرداد ماه ۱۳۷۶ تعداد ۲۴۹۶ نفر از تالار علوم خواجه نصیرالدین طوسی در ***فرهنگسرای بهمن*** و ۳۰۰۰ نفر از نمایشگاه علوم و فنون در ***فرهنگسرای خاوران*** است. و ***مجتمع علوم و فنون شهر سالم ری*** با همکاری بنیاد علمی زیرک‌زاده در تاریخ ۷۶/۴/۲۴ با حضور معاون محترم رئیس‌جمهور و شهردار محترم تهران افتتاح شده است. بنیاد سعی دارد بر اساس سرمایه اولیه‌ای که از سوی بنیان‌گذار وقف بنیاد شده و با بهره‌گیری از کمکهای اشخاص خیر و نهادهای دولتی و خصوصی یک موزه علوم و تکنولوژی مرکزی در ایران ایجاد کند.

کنفرانس

# تابش

سخنرانی منیژه رهبر
عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

**همهٔ اجسام به واسطهٔ دمایشان تابش می‌کنند. هرچه دما بیشتر باشد طول موج تابش گسیل شده از جسم کوتاهتر است. مطالعهٔ این تابش که آن را تابش گرمایی می‌گویند نقش مهمی در تحول فیزیک داشته است. پلانک برای توجیه این طیف مجبور شد، انرژی نوسانگرهایی که تابش را گسیل می‌دارند کوانتیده کند. این کار مقدمهٔ پیدایش فیزیک کوانتومی شد که انقلابی بزرگ در فیزیک پدید آورد و دیدگاه ما را نسبت به جهان دگرگون کرد. علاوه بر آن آشکارسازی تابش باقی مانده از مهبانگ سبب شد که این نظریهٔ مقبولیت عام یابد و بدین ترتیب هرگونه اظهارنظر دربارهٔ چگونگی پیدایش جهان بر مبنای نظریه‌ای علمی قرار گرفت که تجربه صحت آن را ثابت کرده بود.**

## ۱ ـ مقدمه

ما اغلب اجسام را به واسطه نوری می‌بینیم که از آنها بازتابیده است. اما در دماهای زیاد خود این اجسام تابان می‌شوند، و می‌توان دید که در تاریکی می‌درخشند. رشته لامپ روشنایی و آتش فروزان مثالهایی از این نوع‌اند. اگرچه ما این اجسام را به واسطه نور مریی که گسیل می‌کنند می‌بینیم، اما لازم نیست مدت زیادی کنار بخاری بمانیم تا متوجه شویم که این پرتوها شامل بخش فروسرخ طیف نیز هستند. جالب توجه است که بدانیم فیزیک کوانتومی حاصل مطالعهٔ تابش این اجسام در شرایط آزمایشگاهی است.

تابشی را که یک جسم به واسطهٔ دمایش گسیل می‌کند **تابش گرمایی** گویند.

همهٔ اجسام نه فقط چنین تابشی را گسیل که آن را از محیط اطرافشان جذب هم می‌کند. اگر جسمی از محیط اطرافش داغتر باشد، تابشی بیش از آنچه جذب کرده گسیل می‌کند و بدین ترتیب سرد می‌شود. به طور کلی، اگر آهنگ جذب و گسیل تابش برابر شود به حالت تعادل گرمایی می‌رسیم.

طیف تابش گرمایی یک جسم داغ پیوسته و جزئیات آن به شدت وابسته به دماست. اگر دمای چنین جسمی را به طور یکنواخت بالا ببریم، متوجه دو نکته می‌شویم: (۱) هرچه دما بیشتر باشد تابش گرمایی بیشتری گسیل می‌شود. در ابتدا جسم تیره است، سپس به روشنی می‌درخشد؛ (۲) هرچه دما بیشتر باشد، طول موج بخشی از طیف که با شدت بیشتری می‌تابد کوتاهتر می‌شود. رنگ غالب اجسام داغ از سرخ تیره به نارنجی، زرد و سپس سفید مایل به آبی تغییر می‌کند. از آنجا که خصوصیات طیف به دما بستگی دارد، از تابش یک جسم داغ، مانند فولاد گداخته یا ستاره، می‌توان به دمای آن پی برد، چشم معمولاً رنگی را می‌بیند که متناظر با شدیدترین تابش گسیل شده در ناحیهٔ مریی است.

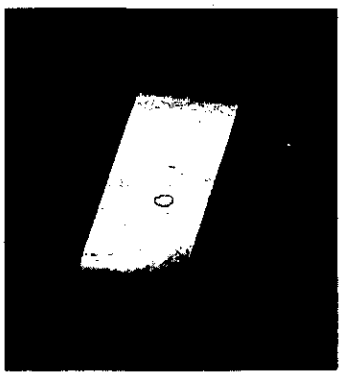
تابش گسیلی از یک جسم داغ که فقط به دما که به ماده‌ای که جسم از آن ساخته شده است، شکل آن، و ماهیت سطح آن نیز بستگی دارد. به عنوان مثال یک سطح صیقلی تنگستن با آهنگ $۲۳/۵ \frac{w}{cm^۲}$ تابش گسیل می‌کند. اما مقدار متناظر برای مولیبدن $۱۹/۲۰ \frac{w}{cm^۲}$ است. در هر دو مورد اگر سطح ناهموار شود این مقدار افزایش می‌یابد. تفاوتهای دیگر در صورتی ظاهر می‌شوند که طول موج تابش گسیل شده را اندازه بگیریم. این جزئیات درک تابش گرمایی را با توجه به ایده‌های فیزیکی دشوار می‌سازد. مطالعه این مورد یادآور پیچیدگیهای ناشی موجود در درک ویژگیهای گازهای حقیقی با توجه به یک مدل سادهٔ اتمی است. می‌دانیم که «مسئلهٔ گازها» با وارد کردن مفهوم گاز کامل حل شد. با همین دید می‌توان مسئلهٔ تابش را با وارد کردن مفهوم «تابشگر ایده‌آل» که تابش گرمایی گسیلی از آن فقط تابع دمای تابشگر باشد، و به عوامل دیگر بستگی نداشته باشد، حل کرد.

## ۲ ـ مدل تابشگر ایده آل

می‌توان با ایجاد یک کاواک در داخل یک جسم به طوری که دیواره‌های کاواک در دمایی یکنواخت باشند یک تابشگر ایده‌آل به وجود آورد. سوراخ کوچکی در دیواره کاواک ایجاد می‌کنیم تا تابش کاواک بتواند برای مطالعه خارج شود. تابش گرمایی حاصل از این تابشگر که **تابش کاواک** نامیده می‌شود طیف ساده‌ای دارد که

ماهیت آن را فقط دمای دیواره تعیین می‌کند و به شکل و اندازهٔ آن بستگی ندارد. تابش کاواک به ما کمک می‌کند تا ماهیت تابش گرمایی را درک کنیم. همان‌طور که گاز کامل سبب شد که ویژگیهای حالت گازی ماده را بفهمیم.

شکل ۱ ـ یک تابشگر کاواکی را نشان می‌دهد که استوانه‌ای از تنگستن با دیواره‌های نازک است. عبور جریان از این استوانه آن را تا دمای التهاب گرم می‌کند. سوراخ کوچکی در دیوارهٔ استوانه ایجاد شده است. چنانکه در تصویر مشاهده می‌شود تابش گسیلی از این سوراخ بسیار شدیدتر از دیواره‌های کاواک است، اگرچه دمای دیواره داخلی و خارجی کم‌وبیش یکسان است.



**شکل ۱ ـ یک استوانهٔ تنگستن تفته که سوراخ کوچکی در دیوارهٔ آن ایجاد شده است. تابشی که از این سوراخ خارج می‌شود تابش کاواک است.**

ویژگیهای تابش کاواک که همگی در آزمایشگاه ثابت شده‌اند به قرار زیرند، و در هر نظریه در این مورد باید به این ویژگیها توجه کرد.

**۱ ـ قانون استفان ـ بولتزمن** توان تابشی کل به ازاء واحد سطح روزنهٔ کاواک که بر روی تمام طول موجها جمعبندی شود را شدت تابندگی گویند. رابطهٔ شدت تابندگی با دما به صورت زیر است:

$$I(T) = \sigma T^4 \qquad (1)$$

که $\sigma = 5/670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2.K^4}$ یک ثابت عمومی به نام ثابت استفان ـ بولتزمن است. کارآیی اجسام داغ معمولاً کمتر از تابشگر کاواکی است و می‌توان رابطه (۱) را به صورت زیر نوشت:

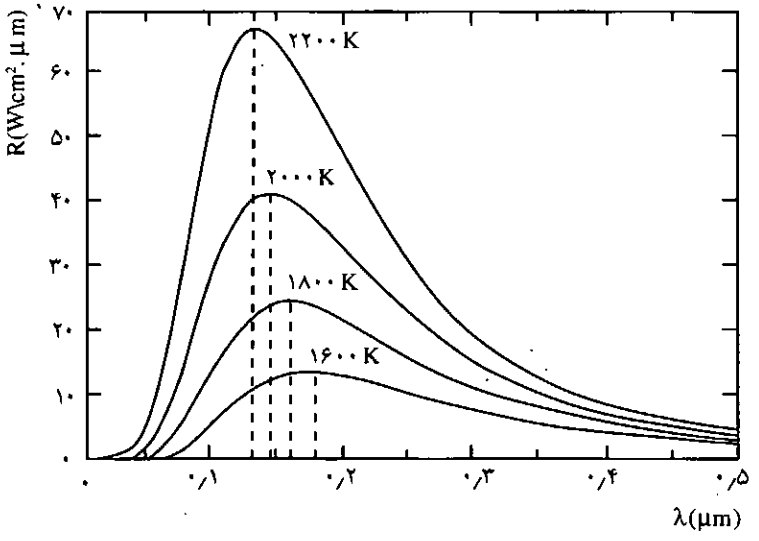
$$I(T) = \varepsilon\sigma T^4 \qquad (2)$$

که $\varepsilon$ کمیت بدون بُعد است که گسیلندگی مادهٔ سطح نامیده می‌شود. برای تابشگر کاواکی $\varepsilon = 1$ است، اما برای سطحهای معمولی گسیلندگی همواره کوچکتر از یک و تابع دماست.

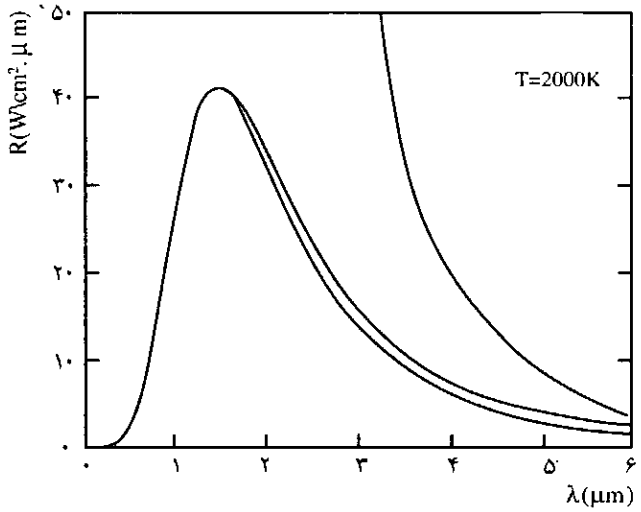
**۲ ـ تابندگی طیفی** تابندگی طیفی $R(\lambda)$ چگونگی تغییر شدت تابش کاواک در دمای معین با طول موج را تعیین می‌کند. این تابع طوری تعریف می‌شود که $R(\lambda)d\lambda$ توان تابشی به ازاء واحد سطحی را بدهد که در نوار طول موج میان $\lambda$ و $\lambda + d\lambda$ قرار دارد. $R(\lambda)$ یک تابع توزیعی آماری است. شدت تابندگی را می‌توان با جمعبندی روی گسترهٔ طول موج (یعنی انتگرال‌گیری) به دست آورد، به طوری که:

$$I(T) = \int^{\infty} . R(\lambda)d\lambda \qquad (3)$$

شکل ۲ تابندگی طیفی تابش کاواک را در دماهای مختلف نشان می‌دهد، با توجه به معادلهٔ (۳) می‌توان شدت $I(T)$ را سطح زیر منحنی تابندگی مربوطه درنظر گرفت. با توجه به این شکل می‌بینیم که با افزایش دما این سطح، همان‌طور که معادلهٔ (۳) پیش‌بینی می‌کند، افزایش می‌یابد.




**شکل ۲ ـ تابندگی طیفی برای تابش کاواک در دماهای مختلف، توجه کنید که با افزایش دما، طول موج تابندگی طیفی بیشینه به مقادیر کمتر منتقل می‌شود.**




**شکل ۳. منحنی پرتابندگی طیفی کاواک را در دمای ۲۰۰۰k نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌های کلاسیکی قانون ریلی-جینز و وین به صورت خط‌چین نشان داده شده است.**

**۳ ـ قانون جابه جایی دین** با توجه به منحنیهای تابندگی می‌بینیم که $\lambda_{max}$ یعنی طول موجی که در آن تابندگی طیفی بیشینه است با افزایش دما کم می‌شود. ویلهلم وین پیش‌بینی کرد که $\lambda_{max}$ تابع $\frac{1}{T}$ است و حاصلضرب $\lambda_{max}T$ یک ثابت عمومی است و تعداد آن را برابر زیر به دست آورد.

$$\lambda_{max}T = ۲۸۹۸\ \mu m.k \qquad (۴)$$

این رابطه را قانون جابه‌جایی وین می‌نامند. وین به خاطر این تحقیق درباره تابش اجسام جایزه نوبل فیزیک را در سال ۱۹۱۱ دریافت کرد.

**۳ ـ قانون تابش پلانک** پلانک درصدد برآمد تا با استفاده از اصول اولیه فیزیک فرمول ساده‌ای به دست آورد که بتوان آن را بر منحنیهای تجربی تابش برازش داد. در سال ۱۹۰۰ میلادی دو فرمول پیشنهادی وجود داشت که هیچکدام از آنها در همه گستره طول موجها بر نتیجه‌های تجربی منطبق نبود.

اولین فرمول را لرد ریلی به دست آورده بود. بعدها انیشتین نیز آن را به طور مستقل به دست آورد و جینز آن را اصلاح کرد. این فرمول منشایی کاملاً کلاسیکی داشت. متأسفانه، این فرمول به هیچ وجه قابل انطباق بر منحنیها نبود و حتی از بیشینه آنها نیز نمی‌گذشت. البته فرمول اصلاح شده ریلی-جینز در گستره طول موجهای بلند بر منحنی منطبق می‌شود. شکل ۳ منحنی تابندگی طیفی تابش کاواک در ۲۰۰۰k را همراه با پیش‌بینی فرمول ریلی-جینز نشان می‌دهد. این برازش خوب در طول موجهای بیش از $۵\cdot\mu m$ رخ می‌دهد که خارج از مقیاس این شکل است. فرمول ریلی-جینز اگرچه کاملاً رضایتبخش نیست، اما بهترین چیزی است که می‌توان از فیزیک کلاسیک به دست آورد.

ویلهلم وین نیز یک فرمول نظری برای تابندگی طیفی به دست آورد. فرمول وی بسیار بهتر است زیرا در طول موجهای کوتاهتر بر منحنی برازش می‌یابد از بیشینه هم می‌گذرد، اما در طول موجهای بلند در انتهای مقیاس انحراف قابل ملاحظه‌ای از نتیجه‌های تجربی پیدا می‌کند. البته فرمول وین بر مبنای نظریه تابش کلاسیکی نبود، بلکه آن را به عنوان یک «حدس» از تشابه میان منحنیهای تابندگی طیفی و منحنیهای توزیع سرعت ماسکول برای مولکولیهای یک گاز به دست آورده بود.

پس تا اینجا دو فرمول وجود داشت که یکی با نتیجه‌های تجربی در طول موجهای بلند و دیگری با نتیجه‌های تجربی در طول موجهای کوتاه سازگار بود. ماکس پلانک با تلفیق این دو فرمول رابطه‌ای به دست آورد که در همه طول موجها بر منحنی تابندگی منطبق بود. این فرمول را پلانک روز ۹ اکتبر سال ۱۹۰۰ در انجمن فیزیک برلین اعلام کرد.

$$R(\lambda) = \frac{a}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{b/\lambda t}-1} \qquad (۵)$$

a و b در رابطه بالا چنان برگزیده می‌شوند تا بهترین برازش به نتیجه‌های تجربی به دست آید. فرمول پلانک اگرچه صحیح بود. اما کاملاً تجربی بود و مبنای نظری محکمی نداشت.

پلانک کوشید تا این فرمول را از فرضهای ساده به دست آورد و در طول چند ماه با تغییر مقادیر ثابت فرمول تابشی به صورت زیر به دست آورد.

$$R(\lambda) = \frac{۲\pi c^۲ h}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{hv\ kt}-1} \qquad (۶)$$

در این فرمول به جای دو ثابت قابل تنظیم کمیتهایی قرار گرفته‌اند که در آنها ثابتهای مختلف دخیل‌اند. این ثابتها عبارت‌اند از **ثابت بولتزمن** k و یک ثابت جدید به نام **ثابت پلانک** h؛ کمیت c سرعت نور است.

با برازش داده‌های تجربی پلانک توانست بهترین مقادیر k و h را به دست آورد. مقادیری که او به دست آورده با اندازه‌های کنونی فقط یک درصد اختلاف دارند.

$$k = ۱/۳۸۱ \times ۱۰^{-۲۳} \ \frac{J}{K}$$

$$h = ۶/۶۲۶ \times ۱۰^{-۳۴} \ \frac{J}{s}$$

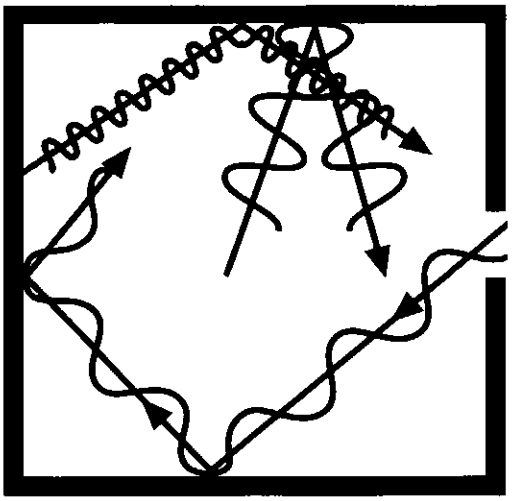
### ۴ ـ کوانتیده کردن انرژی

حال ببینیم پلانک در به دست آوردن قانون تابش خود چه فرضهایی کرد و اهمیت ثابت h که در رابطه ظاهر می‌شود چیست. معاصران پلانک و حتی خود او بلافاصله متوجه اهمیت این فرضها و پیامدهای آن نشدند. در آنچه در زیر می‌آید ما وضعیت را ۶-۷ سال پس از ارائه این فرمول تشریح می‌کنیم.

این مطلب حقیقت دارد که فرض اساسی قانون تابش پلانک ـ کوانتیده بودن انرژی تا قبل از آن تاریخ درک نشده بود. پلانک قانون خود را با توجه به برهم‌کنش تابش موجود در حجم کاواک و اتمهایی که دیواره آن را تشکیل می‌دهند به دست آورد. او فرض کرد که این اتمها نوسانگرهای کوچکی هستند که هریک بسامد مشخصه‌ای دارند. این نوسانگرها به داخل کاواک تابش و از آن انرژی جذب می‌کنند، پس باید بتوان ویژگیهای کاواک را از ویژگیهای نوسانگرهایی که این تابش را تولید می‌کنند به دست آورد.

ریلی برای به دست آوردن فرمول خود فرض کرده بود که تابش کاواک از تعداد زیادی امواج ایستاده تشکیل شده است. شکل ۴ برخی از این امواج را نشان می‌دهد. هریک از این امواج را می‌توان یک مُد نوسان کاواک دانست. وی برای محاسبهٔ شدت تابش به قضیهٔ همپاری انرژی متوسل شد که بنا به آن در حالت ترازمندی گرمایی انرژی میانگین هر مُد تابش KT است. وی با استفاده از این رابطه طیف انرژی را محاسبه کرد. این طیف در شکل ۳ نشان داده شده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود پیش‌بینی آن در طول موجهای کوتاه فاجعه‌آمیز است. در این طول موجها تعداد مُدهای ممکن بینهایت زیادند، و اگر هر مُد دارای انرژی KT باشد، انرژی کل کاواک باید بینهایت شود. این شکست نظریهٔ کلاسیکی را فاصلهٔ فرابنفش می‌گویند.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد. پلانک در سال ۱۹۰۰ فرمولی را یافت که بر نتایج تجربی منطبق می‌شد و سپس درصدد برآمد تا برای فرمول خود توضیحی نظری بیابد.



**شکل ۴ ـ کاواکی که پر از تابش الکترومغناطیسی است. سوراخ موجود در دیوارهٔ کاواک یک جسم سیاه ایده‌آل است.**

او برای به دست آوردن فرمول خود از مکانیک آماری پیشرفته‌ای استفاده کرد که در اینجا به آن نمی‌پردازیم. پلانک اتمهای موجود در دیوارهٔ کاواک را نوسانگرهای هماهنگ درنظر گرفت. حرکتهایی گرمایی کاتوره‌ای این نوسانگرها، سبب گسیل تابش الکترومغناطیسی می‌شود. این تابشها کاواک را پر می‌کنند و با نوسانگرهای بر هم‌کنش می‌کنند. در حالت تعادل گرمایی آهنگ جذب انرژی نوسانگرها با آهنگ تابش برابر می‌شود و نوسانگرها در انرژی تابش موجود در کاواک شریک می‌شوند، و پلانک توانست نشان دهد که در شرایط تعادل، میانگین انرژی تابشی با بسامد $\nu$ با میانگین انرژی یک نوسانگر با انرژی $\nu$ نسبت مستقیم دارد.

در این گامهای اولیه محاسبه پلانک چیزی به جز مکانیک کلاسیک دخیل نبود. اما وی در گامهای بعدی محاسبات خود مجبور شد به نحو بارزی از مکانیک کلاسیک منحرف شود.

**پلانک فرض کرد که نوسانگرهای اتمی نمی‌توانند هر تعداد انرژی E را گسیل یا جذب کنند، بلکه فقط انرژیهایی را گسیل یا جذب می‌کنند که از رابطه زیر به**

دست می آید.

$$E = nh\nu \qquad n = 1, 2, 3, \ldots \qquad (\nu)$$

در رابطهٔ بالا $\nu$ بسامد نوسانگر است. در اینجا بود که ثابت پلانک $h$ برای نخستین بار وارد فیزیک شد. می گوییم که انرژی یک نوسانگر اتمی کوانتیده است و عدد درست $n$ را عدد کوانتومی می گوییم. بنابر معادلهٔ (۷) فاصلهٔ ترازهای انرژی نوسانگر برابر است و بازده میان دو تراز انرژی مقدار $h\nu$ است.

پلانک با استفاده از شرط بالا انرژی میانگین به ازاء هر نوسانگر را به دست آورد و قانون تابش خود را نتیجه گرفت. اگرچه در اینجا وارد جزییات آن نمی شویم، اما می توان فهمید که پلانک چگونه از فاجعهٔ فرابنفش اجتناب کرد. انرژی گرمایی دیواره‌های کاواک به صورت کاتوره‌ای میان همهٔ نوسانگرهای دیواره تقسیم می شود. بسامد بعضی از این نوسانگرها زیاد و بسامد پاره‌ای دیگر کم است. برای نوسانگر با بسامد زیاد کوانتوم انرژی $h\nu$ بزرگ است. اگر نوسانگر در ابتدا خاموش باشد ($n = 0$) نمی تواند به نوسان درآید مگر اینکه یک کوانتوم انرژی به دست آورد. اما چون کوانتوم انرژی مربوط به آن بسیار بزرگ است، اغتشاشات گرمایی کاتوره‌ای برای تأمین آن کافی نیستند، بنابراین نوسانگر خاموش باقی می ماند. بنابراین کوانتیده بودن انرژی مانع از برانگیختگی نوسانگرهای با بسامد زیاد می شود. اگر این نوسانگرها خاموش بمانند، نقشی در ایجاد امواج ایستاده پربسامد نخواهند داشت و فاجعهٔ فرابنفشی به وجود نمی آید.

متأسفانه پلانک نمی توانست هیچ توجیه بنیادی برای این فرض خود بیابد. این فرض فرمولی را می داد که با توزیع انرژی اندازه گیری شده سازگاری کامل داشت، اما با فیزیک کلاسیک ناسازگار بود. این کوانتیده بودن انرژی شباهتی سطحی با کوانتیده بودن بار الکتریکی دارد. اما در حالی که کوانتیده بودن بار الکتریکی با قانونهای فیزیک کلاسیک سازگار است، کوانتیده بودن انرژی چنین نیست. ماکس فون لاوه برنده جایزهٔ نوبل فیزیک سال ۱۹۱۴ که یک دانشجوی پلانک بود نوشته است پس از سال ۱۹۰۰ پلانک سالها کوشید تا شکاف میان فیزیک کلاسیک و فیزیک کوانتومی را در صورتی که نتوانست از میان بردارد، پر کند، یا لااقل پل بزند. این کوششها به جایی نرسید ولی از این نظر ارزش داشت که نشان داد نمی توان آن دو را به هم مربوط کرد:

بگذارید نگاهی به مفهوم کوانتیده بودن انرژی در نوسانگرهای بزرگ مقیاسی چون آونگ بیندازیم. بنابر تجربهٔ روزمرهٔ ما، آونگ می تواند با هر انرژی کلی نوسان کند و نه با بعضی انرژیهای خاص. چون اصطکاک سبب می شود که حرکت آونگ به تدریج کند شود، به‌نظر می رسد که انرژی به صورتی کاملاً پیوسته تلف می شود و نه به صورت «پرشی» یا «کوانتومی» اما اگر توجه کنیم که ثابت پلانک چقدر کوچک است، می فهمیم که در تجربهٔ روزمرهٔ ما دلیلی برای نقض آنچه عقل سلیم می دانیم وجود ندارد. بدیهی است که در آونگ هم جهشها وجود دارند ولی به اندازه‌ای کوچک‌اند که قابل تشخیص نیستند.

ما نظریهٔ کوانتومی را برای حرکت آونگ به کار نمی بریم زیرا نظریهٔ کلاسیک در این مورد به خوبی کار می کند. اکنون می دانیم که نظریهٔ کلاسیک حد نظریهٔ کوانتومی است و این دو نظریه با اصل تطابق به هم مربوط می شوند که بنابر آن:

**نظریهٔ کوانتومی باید در حد اعداد کوانتومی بزرگ با نظریهٔ کلاسیک سازگار باشد.** کوانتیده بودن انرژی در نوسانگرهای بزرگ مقیاس نمایان نیست، همان طور که با تکان دادن دستمان در هوا نمی توانیم بگوییم که دستمان از مولکولها تشکیل شده است. ثابت پلانک را تا آنجا که به دستگاههای کلاسیکی مربوط می شود. می توان صفر درنظر گرفت. در سال ۱۹۰۵ انیشتین نشان داد که با کوانتیده کردن مستقیم انرژی تابش، فرمول پلانک را می توان ساده‌تر فهمید. پلانک فرض کرده بود که انرژی نوسانگرهای موجود در دیوارهٔ کاواک کوانتیده است، اما توزیع انرژی تابش الکترومغناطیسی را پیوسته و هموار درنظر گرفته بود. اما، انیشتین فرض کرد که تابش الکترومغناطیسی از **بسته های گسستهٔ ذره‌مانند انرژی تشکیل شده است**. او فرض کرد که موجی با بسامد $\nu$ جریانی از بسته‌های انرژی کم‌وبیش جایگزیده‌ای است که هر کدام دارای کوانتوم انرژی $h\nu$ هستند و بسته انرژی ذره گونه با بزرگی $h\nu$ را فوتون نامید. بنابراین تابش گرمایی در کاواک، که در آن امواج در همهٔ جهتها حرکت می کنند را می توان یک گاز فوتونی درنظر گرفت. انیشتین با استفاده از مکانیک آماری طیف انرژی این گاز را محاسبه کرد و طیف انرژی جسم سیاه را به دست آورد.

تفاوت بنیادی میان دیدگاههای پلانک و انیشتین در

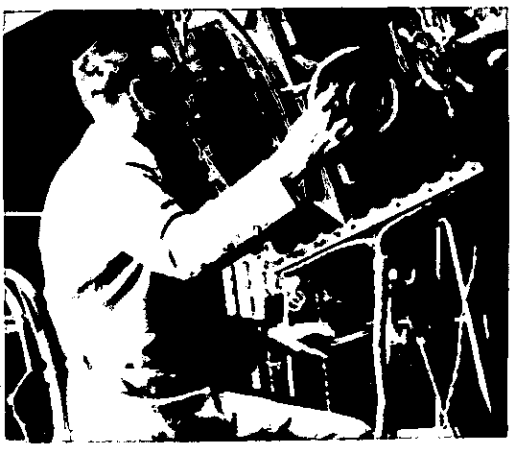
آن است که پلانک فقط تبادل تابش با دیواره‌های کاواک را کوانتیده کرده بود، در حالی که انیشتین خود تابش از کوانتیده کرد. بنابراین، از نظر انیشتین، تابش الکترومغناطیسی بدون توجه به اینکه کجا و چگونه به وجود آمده، همواره کوانتیده است. این تابش نه فقط وقتی توسط نوسانگرهای دیوارهٔ کاواک تولید شده است (مانند تابش گرمایی) بلکه حتی وقتی در خارج از کاواک نیز به وجود آمده، مانند تابش حاصل از شتابگیری بار الکتریکی در آنتن یا فرستندهٔ رادیویی، کوانتیده است. انیشتین با درنظر گرفتن نور به صورتی جریانی از فوتونها توانست اثر فوتوالکتریک را توجیه کند.

## ۴ ـ تابش زمینه کیهانی در ناحیهٔ میکروموج

یکی از اکتشافهای بزرگ این قرن که بشر به کمک آن توانست به چگونگی پیدایش جهان پی ببرد، نظریهٔ انبساط جهان بود. این کشف را ادوین هابل در سالهای ۱۹۲۰ انجام داد. وی که سحابیها را بررسی می‌کرد با تفکیک ستارگان موجود در این سحابیها متوجه شد که کهکشانهایی مانند راه شیری از صدها بیلیون ستاره تشکیل شده‌اند. اما شگفت‌انگیزتر این بود که هابل متوجه شد کهکشانها از یکدیگر و از ما دور می‌شوند و هرچه فاصلهٔ کهکشان از ما زیادتر باشد، سرعت عقب‌نشینی آن بیشتر است. یعنی اگر فاصلهٔ کهکشان از زمین $d$ و سرعت عقب‌نشینی آن $v$ باشد، بنابر قانون هابل داریم:

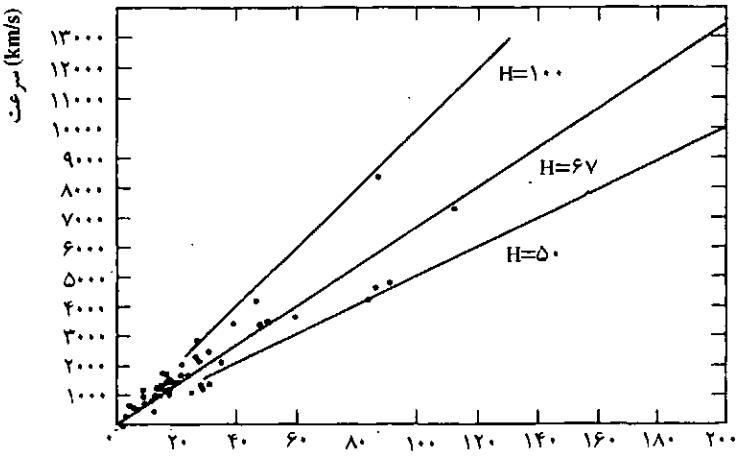
$$v = Hd \qquad (۸)$$

که در آن $H$ مقداری ثابت است که پارامتر هابل نامیده می‌شود.



ادوین هابل (۱۸۸۹ـ۱۹۵۳) رصدهای وی با تلسکوپهای بزرگ

**وجود کهکشانها را آشکار ساخت و او نخستین کسی بود که اندازه و فاصلهٔ آنها را اندازه گرفت. این کشف وی که کهکشانها از یکدیگر دور می‌شوند یکی از هیجان‌انگیزترین و مهمترین اکتشافهای در تاریخ اخترشناسی است.**




**شکل ۵. تغییر سرعت کهکشانها بر حسب فاصله. خط راست قانون هابل را برای مقادیر مختلف پارامتر هابل H (بر حسب $\frac{km/s}{Mpc}$) نشان می‌دهد.**

شکل ۵ نمودار تغییر سرعت عقب‌نشینی کهکشانها را بر حسب فاصلهٔ آنها نشان می‌دهد. اگرچه نقطه‌ها تا اندازه‌ای پراکنده‌اند (در درجه اول به علت عدم قطعیت در فاصله‌های اندازه‌گیری شده)، اما ارتباطی خطی میان سرعت عقب‌نشینی و فاصله را نشان می‌دهند. شیب خط بهترین مقدار پارامتر هابل را به صورت زیر می‌دهد.

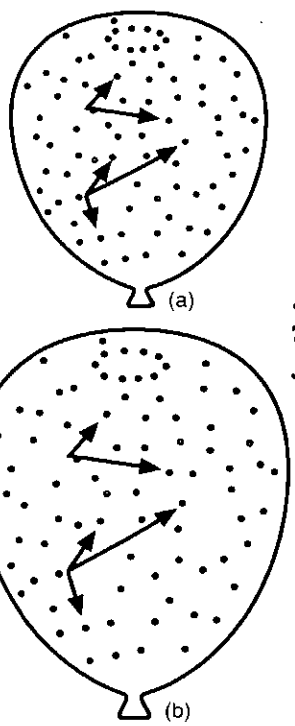
$$H = ۶۷ \frac{km/s}{Mpc}$$

یک پارسک (pc) که معیاری از فاصله‌های کیهانی است برابر ۳٫۲۶ سال نوری است. عدم قطعیت در پارامتر هابل زیاد است و گسترهٔ داده‌ها میان $۵۰-۱۰۰ \frac{km/s}{Mpc}$ تغییر می‌کند. پارامتر هابل دارای بُعد عکس زمان است و $H^{-1}$ سن جهان را می‌دهند. بهترین مقدار پارامتر هابل سن جهان را برابر با $۵\times۱۰^{۹}$ سال می‌دهد.

مدلی از انبساط جهان در شکل ۶ نشان داده شده است. توجه کنید که بدون توجه به اینکه چه نقطه‌ای را به عنوان مبداء برگزینیم، خواهیم داشت.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{d_1}{d_2} \qquad (۹)$$

و اگر نقطه‌ای را روی بادکنک مشخص کرده و سپس آن را باد کنیم، مشاهد می‌کنیم که نقطه‌های دیگر از آن دور می‌شوند، و هرچه فاصلهٔ یک نقطه از نقطهٔ موردنظر بیشتر باشد، فاصله سریعتر زیاد می‌شود.




**شکل ۶ ـ با باد کردن بادکنک، هر ناظر در سطح آن رابطهٔ سرعت ـ فاصله‌ای به صورت قانون هابل را مشاهده می‌کند.**

هابل سرعت عقب‌نشینی کهکشانها را از انتقال به سرخ دوپلری نور گسیل شده از آنها اندازه گرفت. داده‌های وی نشان داد که انبساط جهان را واقعیتی باید درنظر گرفت که تجربه آن را تأیید کرده است. در واقع جامعهٔ علمی این نظریه را از زمان پیشنهاد آن پذیرفته است. اما دو توجیه برای این انبساط می‌تواند وجود داشته باشد:

۱ ـ اگر کهکشانها از یکدیگر دور می‌شوند، پس در گذشته دور باید به یکدیگر نزدیکتر بوده باشند، پس جهان در گذشته چگالتر بوده است، و اگر به اندازهٔ کافی به عقب برگردیم، نقطه‌ای با چگالی نامتناهی را خواهیم یافت. این فرض «مهبانگ» است که جورج گاموف و همکارانش پیشنهاد کردند.

۲ ـ چگالی جهان همواره یکسان بوده است، با دور شدن کهکشانها از یکدیگر مادهٔ اضافی به طور پیوسته در فضای خالی میان کهکشانی خلق می‌شود تا چگالی را ثابت نگهدارد. این فرض «حالت پایای» فرد هریل و دیگران است. کهکشانهای جدیدی که از این مادهٔ نوین به وجود می‌آیند، سبب می‌شوند که جهان نه فقط از تمام نقطه‌ها، بلکه در همهٔ زمانها یکسان به‌نظر آید.

در سالهای ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ هردو نظریهٔ حامیان خود را داشت (توجه کنید که هردو نظریه اصل پایستگی انرژی را نقض می‌کنند، اولین نظریه در یک زمان مشخص با نامتناهی شدن مقدار انرژی، و دیگری در همهٔ زمانها با خلق انرژی به میزان کم). در سال ۱۹۶۰، با پیدایش اخترشناسی رادیویی و آشکارسازی تابش زمینهٔ میکروویو که باقیماندهٔ تابش مهبانگ است، نظریهٔ مهبانگ پیشگام مدلهای کیهانشناسی شد.

## ۵ ـ تابش زمینهٔ کیهانی در ناحیهٔ میکروموج

وقتی گازی منبسط شد سرد می‌شود. این مطلب در مورد جهان نیز صادق است، هرچه و هرچه بیشتر به عقب برگردیم با جهان داغتر و چگالتری روبه‌رو می‌شویم. اگر ساعت کیهانی را به اندازهٔ کافی عقب ببریم، در می‌یابیم که در جهان اولیه دما و چگالی به صورت باور نکردنی زیاد بوده است. می‌توان تصور کرد که در جهان متراکم جهان پر از تابش بوده است و طول موج این تابش با انبساط جهان بلند شده است، پس باید این تابش اکنون نیز وجود داشته باشد. این تابش را **تابش زمینهٔ کیهانی** می‌نامند.

این تابش زمینه را آرنونپزیاس و رابرت ویلسون از آزمایشگاههای بل در سال ۱۹۶۵ کشف کردند. آنها در حالی که یک آنتن میکروویو را برای برقراری ارتباط با ماهواره آزمایش می‌کردند (شکل ۷) متوجه یک «نوفهٔ» زمینهٔ آزار دهنده شدند که بدون توجه به جهت آنتن همواره وجود داشت. سرانجام آنها متوجه شدند که چیزی را که آشکار می‌کنند در واقع باقیماندهٔ تابش جهان اولیه است، و به خاطر این کشف خود جایزهٔ نوبل فیزیک سال ۱۹۷۸ را دریافت کرد.

این تابش زمینه دارای طیف جسم سیاه است و اندازه‌گیریهای شدت این تابش در طول موجهای مختلف (شکل ۸) نشان می‌دهد که این طیف به خوبی بر قانون تابش پلانک در دمای $2/735\ K$ منطبق می‌شود. این داده‌ها شامل اندازه‌گیریهایی است که اخیراً با ماهواره‌ها

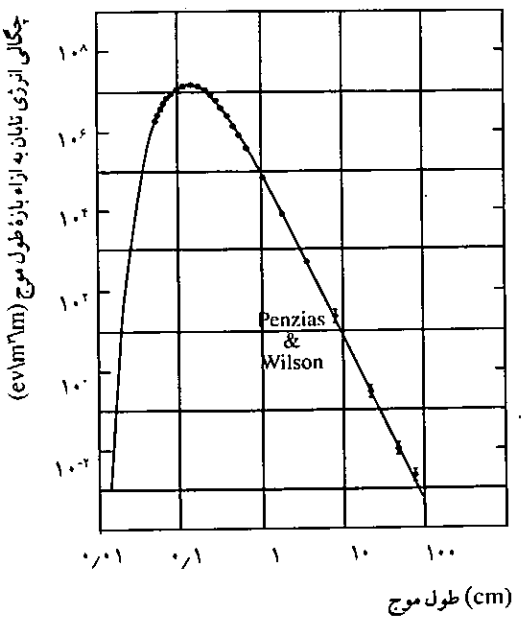
در مدار زمین انجام گرفته است و در آن جذب در جو زمین حذف شده است.

**شکل ۷ـ آرنوپنزیاس (راست) و رابرت ویلسون، در مقابل آنتن بزرگی ایستاده‌اند که با آن برای اولین بار تابش زمینه میکروموج را آشکار ساختند.**

اندازه‌گیری شدت تابش میکروموج زمینه در جهتهای مختلف نشان می‌دهد که شدت این تابش در همهٔ جهتها یکسان است و به نظر نمی‌رسد که از هیچ نقطهٔ معینی در فضا در چشم گرفته باشد، بلکه به طور یکنواخت فضا را پر کرده است. مطالعات اخیر در این زمینه نشان دهندهٔ نوسان دمای $10^{-5}$ K را در نواحی مختلف است که نشان می‌دهد توزیع ماده در جهان اولیه یکنواخت نبوده است و این غیریکنواختی به چگالش ستارگان و کهکشانها انجامیده است.

چگالی انرژی و چگالی عددی فوتونها را می‌توان با استفاده از قانون تابش پلانک به دست آورد. تعداد این فوتونها ۴۰۰ فوتون در سانتیمتر مکعب و چگالی انرژی در حدود $0/25 \frac{ev}{cm^3}$ به دست می‌آید. بدین ترتیب انرژی هر فوتون در حدود $0/00063 ev$ به دست می‌آیند و شگفت‌انگیز نیست که متوجه حضور آنها نشویم.

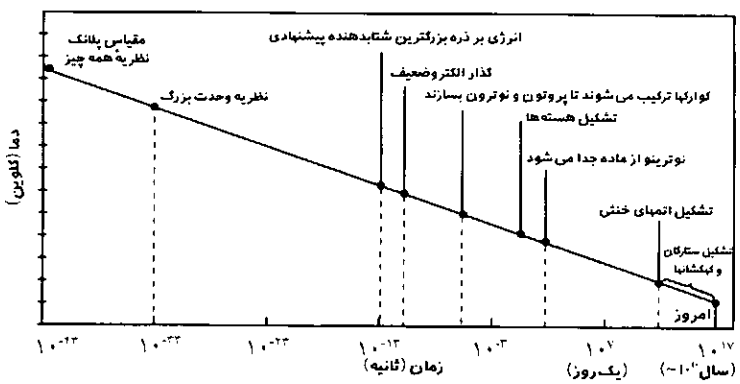
**شکل ۸ـ طیف طول موجهای تابش زمینه کیهانی. خط پرطیف جسم سیاه پلانک برای $T = 2/735$ K است.**




## ۶ـ کیهانشناسی مهبانگ

نظریهٔ کیهانشناختی که با دو یافتهٔ تجربی (قانون هابل و تابش زمینه) بهترین سازگاری را دارد کیهانشناسی مهبانگ است. بنابراین نظریه جهان در حدود ۱۰ـ۲۰ بیلیون سال پیش از حالتی با چگالی و دمای بسیار زیاد آغاز شده است. در این زمان هیچگونه کهکشان یا ماده

به صورتی که اکنون می‌شناسیم وجود نداشته است، بلکه جهان اولیه از انواع گوناگون ذره‌ها و پادذره‌ها و تابش تشکیل شده بود. اگر باز هم به عقب برگردیم به زمانی می‌رسیم که مادهٔ موجود در جهان فقط از کوارکها و لپتونها تشکیل شده بود. البته، چون تاکنون کوارک آزاد مشاهده نشده است، چیز چندانی دربارهٔ برهم‌کنش کوارکها نمی‌دانیم و نمی‌توانیم این جهان بسیار ابتدایی را توصیف کنیم. اگر بتوانیم باز هم در این سه نفوذ کنیم و به زمانهای آغازین‌تر بنگریم، سرانجام در $10^{-43}$ s به یک سد بنیادی می‌رسیم. در ورای این زمان، نظریهٔ کوانتومی و گرانشی به طور ناامید کننده‌ای درهم پیچیده‌اند و هیچکدام از نظریه‌های کنونی نمی‌توانند سرنخی دربارهٔ ساختار جهان در پیش از این زمان بدهد. زمان $10^{-43}$ s را زمان پلانک می‌نامند. تحولات جهان پس از مهبانگ در شکل ۹ نشان داده شده‌اند.




**شکل ۹ ـ تاریخچهٔ گرمایی جهان، با آغاز از $10^{-43}$ ثانیه پس از مهبانگ تا امروز نشان می‌دهد که هسته‌های بسیار سبک تقریباً یک دقیقه پس از مهبانگ، و عناصر سنگینتر دهها میلیون سال پس از مهبانگ در داخل ستارگان تولید شده‌اند.**

بنابر نظریه مهبانگ جهان از یک تکینگی با جرم و دمای نامتناهی آغاز و بر اثر انبساط به‌تدریج سرد شد. با فرضهای منطقی دربارهٔ آهنگ انبساط می‌توان رابطهٔ میان دما و زمان پس از تشکیل جهان را به صورت زیر به دست آورد:

$$T = \frac{1/5\times10^{10}\,s^{\frac{1}{2}}.k}{t^{\frac{1}{2}}} \qquad (10)$$

در رابطه بالا T دما بر حسب کلوین و t زمان بر حسب ثانیه است.

تابش در جهان اولیه از فوتونهای پرانرژی تشکیل شده بود که انرژی میانگین آنها در دمای T را می‌توان تقریباً kT درنظر گرفت. برهم‌کنش تابش و ماده را می‌توان با دو فرایند زیر نشان داد.

پادذره + ذره ↔ فوتونها

فوتونها ↔ ذره + پادذره

پس فوتونها می‌توانند تولید زوج کننده در این فرایند انرژی فوتون بر جرم سکون ذره پادذره تبدیل می‌شود. ذره و پادذره هم می‌توانند بر اثر نابودی تبدیل به فوتون شوند. در هر مورد انرژی فوتون باید لااقل برابر جرم سکون ذره پادذره باشد. با استفاده از این مدل می‌توان مراحل تکوین جهان را به صورت زیر برآورد کرد:

$t = 10^{-6}$ s در این زمان با استفاده از معادلهٔ (۱۰) خواهیم داشت $kT = 1300$ Mev, $T = 1/5\times10^{13}$ K

و اگر جهان را بسته و متناهی فرض کنیم، شعاع آن به اندازه $\frac{2/713}{1/5\times10^{13}} = 1/8\times10^{-13}$ از شعاع کنونی جهان ($10^{26}$ m) (کوچکتر و در حدود اندازه کنونی منظومهٔ شمسی بوده است ($10^{13}$ m). در این زمان جهان از $e^-, p^-, p\ \pi^+, \pi^-, \pi, \mu^+, \mu^-, e^+$, و شاید ذرات دیگر $\pi$ به اضافه فوتونها، نوترینوها، و پادنوترینوها تشکیل شده بود. از آنجا که تولید زوج و نابودی آن هر دو رخ می‌داد، تعداد ذرات تقریباً با تعداد پاد ذرات برابر بود. به‌علاوه، تعداد فوتونها تقریباً با تعداد پروتونها و الکترونها برابر می‌بود.

در این زمان نسبت پروتون به نوترون تقریباً نزدیک به ۱ بوده است.

$t = 10^{-3}$ s بین $10^{-6}$ s تا $10^{-3}$ s دما از $(kT = 1300\ \text{Mev})\ 1/5\times10^{13}$ K به $(kT = 13\ \text{Mev})\ 1/5\times10^{11}$ K فرو افتاد، و جهان با ضریب ۱۰۰ بزرگتر شد. فوتونها در این زمان دیگر نمی‌توانند پیونها و موئونها را تولید کنند، زیرا طول عمر این ذرات از $10^{-3}$ s کوتاهتر است. در نتیجه این ذرات به الکترون، پوزیترون و نوترینو واپاشیدند.

تولید نوکلئون-پادنوکلئون دیگر عملی نیست، اما نابودی نوکلئون-پادنوکلئون ادامه دارد. در این زمان عدم

تعادل اندک (۱ قسمت در $10^9$) میان ماده-پادماده به وجود می‌آید. در این بازه همه پادماده و بخش اعظم ماده (۹۹/۹۹۹۹۹۹ درصد) نابود شده‌اند، اما تولید الکترون-پوزیترون همچنان ادامه دارد. پس جهان متشکل است از $e^+, e^-, n, p$ توترینو، و فوتون، نسبت نوترون به پروتون در حدود ۱ باقی است.

$t = 1s$ بین $10^{-3}$ تا 1s دما از $1/5 \times 10^{11} K$ $(kT = 13 Mev)$ به $1/5 \times 10^{10} K$ $(kT = 1/3 Mev)$ فرو می‌افتد.

در این بازه عامل بولتزمن $e^{\Delta E/kt}$ که نسبت پروتون به نوترون را تعیین می‌کند و در آن $\Delta E$ اختلاف جرم سکون پروتون و نوترون است از ۱ منحرف می‌شود. در این زمان نوکلئونها از ۷۳ درصد پروتون و ۲۷ درصد نوترون تشکیل شده‌اند. در این دوران انرژی نوترینوها (۱/۳ Mev) دیگر برای واکنش $\nu_e^- + p \rightarrow n + e^+$ کافی نیست. زیرا برای این واکنش انرژی نوترینو باید بیش از ۱/۸ Mev باشد. پس برهم‌کنش مادهٔ با نوترینوهای آغازین دیگر صورت نمی‌گیرد. از این پس نوترینوها جهان را پر می‌کنند و همراه با انبساط جهان سرد می‌شوند. چگالی این نوترینوهای آغازین تقریباً با فوتونهای ریزموج برابر و دمای آنها اندکی کمتر است.

$t = 6s$ بین 1s تا 6s دما به $T = 5 \times 10^9 k$ و $kT = 0/5 Mev$ میانگین انرژی فوتونها کم می‌شود و دیگر برای تولید الکترون-پوزیترون کافی نیست. نابودی الکترون-پوزیترون ادامه دارد. در نتیجه همهٔ پوزیترونها و تقریباً همهٔ الکترونها (۹۹/۹۹۹۹۹۹ درصد) نابود می‌شوند. انرژی الکترونها دیگر برای تبدیل پروتون به نوترون در واکنش $e^- + P \rightarrow n + \nu_e$ کافی نیست، و در نتیجه تنها فرآیند برهم‌کنش ضعیف که در تعداد نسبی پروتونها و نوترونها مؤثر است واپاشی نوترون با نیمه عمر ۱۰ دقیقه است که تا این زمان روی نداده است. تعداد نوکلئونها در این زمان ۸۴ درصد پروتون و ۱۶ درصد نوترون است. ترکیب جهان پس از $t = 6s$ از N پروتون، همین تعداد الکترون، و $0/2N$ نوترون تشکیل می‌شود. دیگر پوزیترون و پادنوکلئونی به‌جا نمانده است. زیرا نابودی ذره-پادذره میزان نوکلئونها را بسیار کم کرده است. در حالی که تعداد فوتونها ثابت مانده است. در این زمان در حدود $10^9 N$ فوتون وجود دارد (و همین تعداد نوترینو). از این پس زمان تشکیل هسته‌هاست.

از $t = 6s$ تا $t = 250$ دوترونها تشکیل می‌شوند. در این بازهٔ زمانی بجز انبساط و کاهش دما واقعه مهم دیگری در جهان به وقوع نمی‌پیوندد. پس از $t = 250$ دو ترونها با پروتونها ترکیب می‌شوند و هسته‌های $^4He, ^3H, ^3He$ را تشکیل می‌دهند. در $t = 250 s$، تعداد ۱۶ درصد نوترون اولیه در $t = 6 s$ بر اثر واپاشی بتازا به ۱۲ درصد کاهش یافته است. در این زمان جهان به طور عمده از H و $^4He$ تشکیل شده است.

این نقطه از تحول جهان آغاز دوران طولانی و بی‌حادثه سردشدن است که پس از آن برهم‌کنش قوی دیگر اهمیت چندانی ندارد.

گام نهایی در تکامل جهان اولیه، تشکیل هیدروژن خنثی و اتمهای هلیم از $^4He, ^3H \rightarrow ^2H, ^1H$ و الکترونهای آزاد است. برای هیدروژن این واقعه هنگامی رخ می‌دهد که انرژی فوتونها به کمتر از $13/6 ev$ کاهش یافته باشد، زیرا در غیر این صورت اتمهای خنثی که تشکیل شده‌اند بلافاصله یونیده می‌شوند. انرژی $E_\gamma = 13/6 ev$ انرژی با دمای $T = 6000 K$ متناظر است که در $t = 6/1 \times 10^{12} s = 190000 y$ رخ می‌دهد. این برآورد کاملاً درست نیست. زیرا در آن فقط چگالی انرژی تابش موجود در جهان را درنظر گرفتیم. با سرد شدن جهان، نقش ماده در چگالی انرژی کلی مهم می‌شود و بنابراین دما کندتر از آنچه انتظار داریم کاهش می‌یابد. وجود ماده این زمان را به $700000 y$ افزایش می‌دهد که در خلال آن دما با ضریب ۲ به $T = 3000 K$ کاهش یافته است.

پس از تشکیل اتمهای خنثی، عملاً ذره بارداری در جهان وجود ندارد، و میدان تابش برای یونیده کردن اتمها کافی نیست. از این پس، نیروی الکترومغناطیسی نیز در شکل دادن به تحول جهان نقش عمده‌ای ندارد، و در تحولات بزرگ مقیاس جهان، گرانی نقش اصلی را

دارد.

از این مدل تحول جهان بر اساس مهبانگ روشن نیست که ستارگان و کهکشانها چگونه تشکیل شده‌اند. مخلوط یکنواخت ماده و تابش می‌تواند به طور نامحدود منبسط و سرد شود، بدون اینکه به چگالیهای برسد که برای تشکیل ستارگان لازم است. در هنگام تولید و نابودی ذره‌ها و پادذره‌ها در جهان اولیه نوسانهای کوچکی در چگالی به وجود می‌آمد، چون ذره‌ها و پادذره‌ها در یک نقطه از میان می‌رفتند و در محل دیگر تولید می‌شوند. طبق یکی از نظریه‌های موجود در جهان آغازین دوران انبساط سریعی موجود است که می‌توانسته این نوسانهای کوچک را تقویت کند.

در سال ۱۹۹۲ ماهواره COVE که اطلاعات دقیقی درباره طیف تابش زمینه میکروویو (شکل ۱۰) گردآوری می‌کرد، نوسانهایی را در دمای زمینه مشاهده کرد. این نوسانها از مرتبه $3\times10^{-5}$ K هستند اما نشان می‌دهند که توزیع ماده و انرژی در جهان آغازین یکنواخت نبوده است.

شده‌اند و نیروی گرانشی لازم را برای جذب اتمهای هیدروژن و هلیم فراهم ساختند. توضیح درست هرچه باشد، مشاهده این نوسانها در دمای تابش زمینه وسیله‌ای است که به کمک آن می‌توانیم شرایط جهان آغازین را مستقیماً مشاهده کنیم.

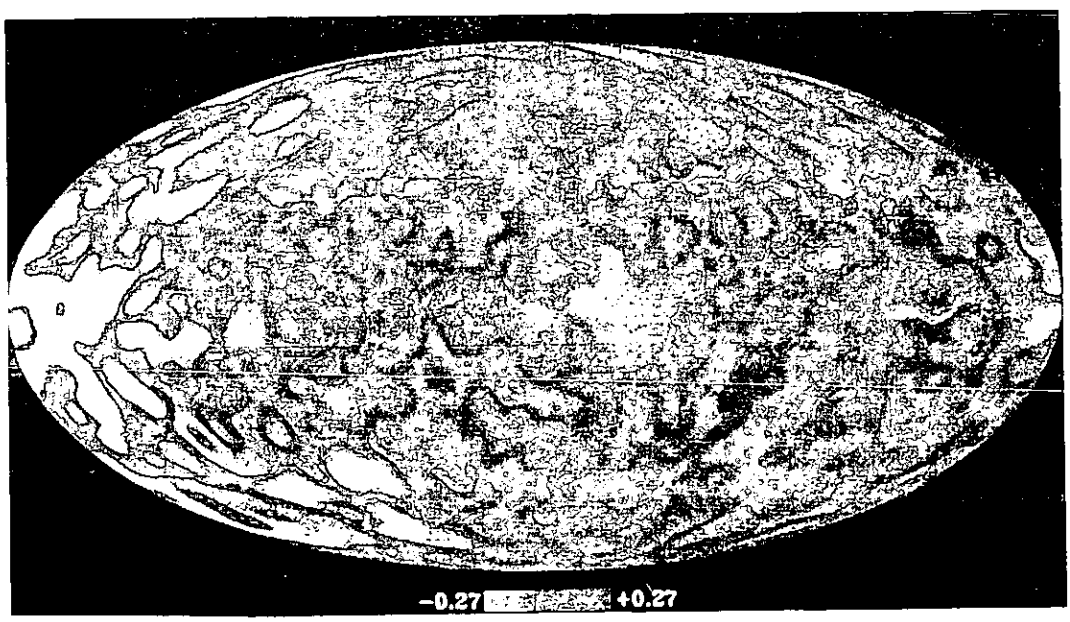

منابع:

1- Resnik, Halliday, Krane, "Physics", 4th. ed. vol II, Jone wiley 1992.

2- Krane, "Modern Physics", 2 th. ed. Jone wiley, 1996.

3- Ohanian, "Principles of Physics", Norton, 1994.

4- Bueche and Jerde, "Principles of Physics", 6 th. ed. Mc Graw Hill, 1995.


**شکل ۱۰. نقشه زمینهٔ میکروموجی آسمان که توسط ماهوارهٔ COVE تهیه شده است. سایه‌ها نشان دهندهٔ نوسان دمای $\pm 0/00003$ K هستند. تصور می‌رود که مادهٔ تاریک در نواحی سردتر جمع و سبب جذب گاز هیدروژن گردیده که به تشکیل کهکشانها انجامیده است.**

سازوکار دقیقی که این نوسانها را به تشکیل کهکشانها مربوط کند هنوز مشخص نشده است؛ یک توضیح ممکن این است که ماده تاریک اولیه در نقطه‌های «سرد» جمع

سؤالات دبیران

# پاسخ به برخی از سئولات درزمینهٔ فیزیک مکانیک

سخنرانی محمد خرمی
عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

**ـ آیا شتاب گرانش از مرکز تا سطح زمین ثابت است؟**

پاسخ: شتاب گرانش ازمرکز تاسطح زمین ثابت نیست. درواقع اگر فرض کنیم که زمین تقارن کروی دارد (یعنی چگالی جرم آن فقط تابع فاصله از مرکز زمین است) می توان نتیجه گرفت که

$$g(r)=\frac{GM(r)}{r^2}$$

که در آن $M(r)$ یعنی جرم بخشی از زمین که درون کره‌ای به شعاع $r$ و به مرکز زمین قرار دارد. اگر چگالی زمین ثابت باشد (که نیست) از معادلهٔ بالا نتیجه می شود که

$$g(r)=\frac{4\pi}{3}G\rho r$$

یعنی شتاب با فاصله از مرکز زمین متناسب است.

توجه کنید که این رابطه فقط برای $r$های کوچکتر از شعاع زمین درست است. برای $r$های بزرگتر، $M(r)$ همان جرم زمین می شود و

$$g=\frac{GM}{r^2}=\frac{4\pi}{3}G\rho\frac{R^3}{r^2}$$

پس شتاب گرانش نه درون زمین و نه بیرون آن ثابت نیست. البته رابطهٔ خطی شتاب گرانش با $r$ هم درست نیست زیرا فرض ثابت بودن چگالی زمین نادرست است، امّا رابطهٔ اول باتقریب خوبی درست است (لااقل برای نقاط عمیق که اثر پستی و بلندیهای سطح زمین چندان مهم نیست).

**ـ اخیراً صحبت در مورد انتقال ماده از جایی به جایی دیگر توسط تبدیل ماده به انرژی و سپس برعکس می باشد آیا این صحبتها علمی میباشند؟ و اگر بله**

توضیح بفرمائید.

پاسخ: خیر این صحبتها علمی نیست. درتبدیل ماده به انرژی و برعکس محدودیتهای شدیدی هم ازنظر نظری و هم ازنظر عملی وجود دارد. به‌طور ساده می‌توان گفت که درهیچیک از این تبدیلها مثلاً مجموع تعداد پروتونها و نوترونهای موجود تغییر نمی‌کند. ممکن است یک نوترون به‌پروتون و ذراتی دیگر وابپاشد (چنانچه درواپاشی بتا چنین چیزی روی می‌دهد) یاپروتون باجذب الکترون به‌الکترون و ذراتی دیگر تبدیل شود (که درهمجوشی هسته‌ای تبدیل هیدروژن به‌هلیم رخ می‌دهد) اما درهمهٔ این موارد مجموع تعداد پروتونها و نوترونها ثابت است. درهمهٔ چیزهایی که ما به‌عنوان مادهٔ معمولی می‌شناسیم تعداد بسیار زیادی پروتون و نوترون وجود دارد، که درواقع بخش عمدهٔ جرم ماده را تشکیل می‌دهند. بااین کسر عمدهٔ جرم ماده هیچ کاری نمی‌توان کرد. به‌همین علت است که درراکتورهای هسته‌ای، و نیز دربمبهای هسته‌ای هم فقط مقدار اندکی از ماده قابل تبدیل به‌انرژی است (درحدود یک درصد). علاوه‌براین بازسازی ساختار ماده از روی انرژی کاری عملاً ناشدنی است. بنابراین، این صحبتها تخیلی‌اند نه عملی.

**ـ لختی نیرو است یا جرم ماده؟**

پاسخ: هرجسم مادی خاصیتی دارد که آن را جرم، لختی، یاجرم‌لختی می‌نامند. این کمیت همان چیزی است که باعلامت $m$ در قانون دوم نیوتون ظاهر می‌شود:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

به‌عبارت دیگر، قانون دوم نیوتون می‌گوید که اولاً شتابی که جسم می‌گیرد همواره درجهت نیرو (برآیند نیروها)ی وارد برآن است و ثانیاً نسبت اندازهٔ این نیرو به‌شتاب برای هر جسم مقداری ثابت است. این مقدار ثابت را جرم یالختی می‌نامند. چنان‌که از رابطهٔ بالا برمی‌آید، جرم کمیتی اسکالر است، و هرچند نوعی مقاومت دربرابر تغییر حرکت را نشان می‌دهد (هرچه جرم بزرگتر باشد شتاب، به‌ازای نیروی معین، کوچکتر می‌شود) اما نیرو نیست.

چیزی که باعث می‌شود جرم، یالختی را به‌عنوان «مقدار ماده» بگیرند خاصیت فزونوری جرم است. بااستفاده از قانون سوم نیوتون می‌توان دید که اگر دوجسم را به‌هم ببندیم (چنان‌که شتاب آنها یکی شود)، جسم حاصل مانند جسمی رفتار می‌کند که جرم آن مجموع جرمهای دوجسم اول است:

$$\vec{F} + \vec{F}_{۲\to۱} = m_۱\vec{a}$$

$$\vec{F}_۲ + \vec{F}_{۱\to۲} = m_۲\vec{a} \qquad \vec{F}_۲ + \vec{F}_۲ = (m_۱ + m_۲)\vec{a}$$

در اینجا $\vec{F}_۲$ یعنی نیروی خارجی وارد بر $m_۱$ و $\vec{F}_{۲\to۱}$ یعنی نیرویی که $m_۲$ بر $m_۱$ وارد می‌کند. به‌این ترتیب، جرم جسم مرکب مجموع جرمهای دوجسم سازندهٔ آن است. اما توجه کنید که گفتن این که جرم «مقدار ماده» است هیچ دردی را دوا نمی‌کند، فقط ممکن است این توهم را پیش آورد که گویا ما دقیقاً می‌دانیم مقدار ماده چیست و جرم همان است. درواقع ما مقدار ماده را تعریف نکرده‌ایم، درحالی که جرم را می‌توانیم از روی قانون دوم نیوتون تعریف کنیم. به‌طورخلاصه، جرم، یالختی، یاجرم‌لختی کمیتی اسکالر است که درقانون دوم نیوتون ظاهر می‌شود، و این خاصیت را دارد (به‌خاطر قانون سوم نیوتون) که فزونور است. قانون دوم نیوتون روشی عملی برای سنجش جرم اجسام به‌دست می‌دهد (کافی است نسبت شتابهای دوجسم مختلف را که تحت یک نیرو قرار دارند بسنجیم. عکس این نسبت، نسبت جرم آن دو است). بنابراین لزومی ندارد که بخواهیم جرم را برحسب کمیت (احیاناً تعریف نشده) دیگری مثل «مقدار ماده» بیان کنیم.

**ـ دقت ورنیه یا درجه بندیهای مختلف چگونه محاسبه می‌شود؟**

پاسخ: فرض کنید که دقت خط‌کش کولیس (یعنی کوچکترین درجهٔ آن) $d$ باشد. ورنیه معمولاً به‌این صورت طراحی می‌شود که طولی برابر با $(N-۱)$ برابر d را به $N$ قسمت، تقسیم می‌کنند. دراینجا $P$ و $N$ اعدادی صحیح‌اند. دراین صورت طول هر درجهٔ ورنیه $\frac{N}{p}$

$\frac{N-1}{N}pd$ است. حال اگر درجهٔ $q$ ورنیه دقیقاً برخط کش منطبق شود، طول اضافه‌ای که به‌دست می‌آید.

$$q[Pd - Pd\frac{N-1}{N}] = q\frac{Pd}{N}$$

است. بنابراین، دقت ورنیه می‌شود $\frac{Pd}{N}$ یا $\frac{d}{N/P}$، که همان کوچکترین درجهٔ خط کش تقسیم بر تعداد قسمتهای ورنیه است.

**ـ اصطکاک و ضریب اصطکاک**

پاسخ: اصطکاک جامد با جامد پدیده‌ای پیچیده است اما خوشبختانه مدلهای پدیده‌شناختی مؤثری وجود دارد که آن را توصیف می‌کنند. در گام اول اصطکاک جامد با جامد به‌دو نوع تقسیم می‌شود. یکی نوع لغزشی و دیگری نوع غلتشی. آنچه که در بیشتر کتابهای درسی مورد بررسی قرار می‌گیرد اصطکاک لغزشی است. نیروی اصطکاک لغزشی سعی میکند که دو سطح تماس نسبت به‌هم ساکن شوند. بسته به‌اینکه واقعاً چنین شود یا نه، این اصطکاک نیز به‌دو نوع ایستایی و جنبشی تقسیم می‌شود. اگر سطح $A$ نسبت به‌سطح $B$ ساکن باشد، نیروی اصطکاک لغزشی بین این دو از نوع ایستایی است.

مقدار و جهت این نیرو فقط با دانستن جنس دو سطح و نیروی عمودی بین آن دو به‌دست نمی‌آید. در واقع به‌جای دانستن این نیرو یک قید داریم که همان صفر بودن سرعت سطح A نسبت به‌B است. اما براین نیروی اصطکاک قیدی وجود دارد و آن اینکه اندازهٔ این نیرو از حد معینی بیشتر نمی‌شود. این حد معین برابر است با اندازهٔ نیروی عمود بر سطح ضرب در ضریبی که تابع جنس دو سطح است:

$$(f_S)_{max} = \mu_s N$$

این ضریب را ضریب اصطکاک ایستایی می‌نامند.

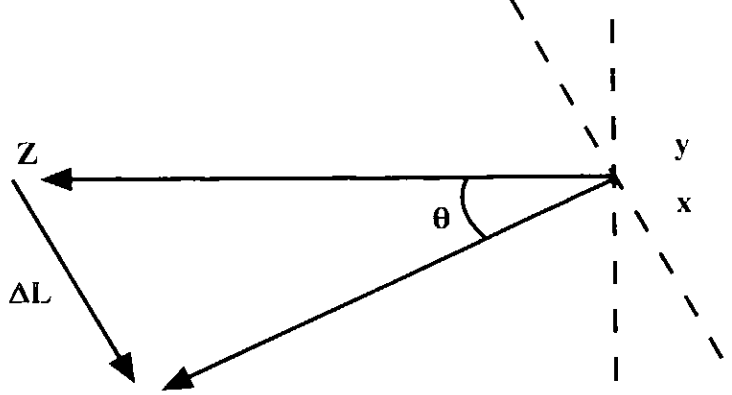
اگر سطح A نسبت به‌B ساکن نباشد، اصطکاک لغزشی بین این دو از نوع جنبشی است. در این صورت اندازه و جهت نیرو مشخص است. اندازهٔ این نیرو برابر است با $\mu_k$ (ضریب اصطکاک جنبشی) ضرب در نیروی عمود بر سطح. جهت نیروی وارد بر سطح $A$ در خلاف جهت سرعت $A$ نسبت به‌$B$ است:

$$\vec{f}_k = -\mu_k \frac{\vec{v}_A - \vec{v}_B}{|\vec{v}_A - \vec{v}_B|} N$$

تأکید دوبارهٔ این نکته بد نیست که نیروی اصطکاک ایستایی فقط با دانستن نیروی عمود بر سطح و سرعت نسبی سطوح به‌دست نمی‌آید. در این حالت این نیرو نامعین است، اما به‌جای آن یک قید وجود دارد که ساکن بودن $A$ نسبت به $B$ است. علی‌الاصول با این قید می‌توان مسئله را حل کرد و در آنها از روی شتابها اندازه و جهت $\vec{f}_k$ را حساب کرد. اما در حالت جنبشی اندازه و جهت نیروی اصطکاک معین است.

**ـ چرا تعادل دینامیکی بیشتر از تعادل استاتیکی است؛ مثل یک چرخ که وقتی در حال غلتش است پایدارتر از حالتی است که در حال سکون است.**

پاسخ: من منظور از تعادل دینامیکی و استاتیکی را درست درک نکردم. اما با توجه به‌مثال تصور می‌کنم منظور این است که چرا تغییر جهت اجسام در حال دوران مشکلتر از اجسام ساکن است. همان چرخ در حال دوران را در نظر بگیرید. فرض کنید که چرخ در سطح $xy$ قرار دارد. جهت $y$ جهت قائم است و چرخ در صفحه با سرعت زاویه‌ای $\omega$ می‌چرخد. در این صورت بردار تکانهٔ زاویه‌ای این چرخ در جهت محور $z$ است. اندازهٔ این بردار برابر است با $I\omega$، که در آن $I$ لختی دورانی چرخ حول محور آن است. اکنون فرض کنید که چرخ به‌اندازهٔ زاویهٔ $\theta$ کج شود. در این صورت بردار تکانهٔ زاویه‌ای آن به‌اندازهٔ زاویهٔ $\theta$ نسبت به‌حالت قبل تمایل پیدا می‌کند:




به‌این ترتیب، اختلاف تکانهٔ زاویه‌ای این حالت با حالت قبل می‌شود

$$\Delta L = 2L\sin\frac{\theta}{2} = 2I\omega\sin\frac{\theta}{2}$$

اگر $\theta$ کوچک باشد، $\Delta\vec{L}$ قائم است. پس برای اینکه چرخ کج شود گشتاوری در راستای قائم لازم است:

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \simeq \frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t}$$

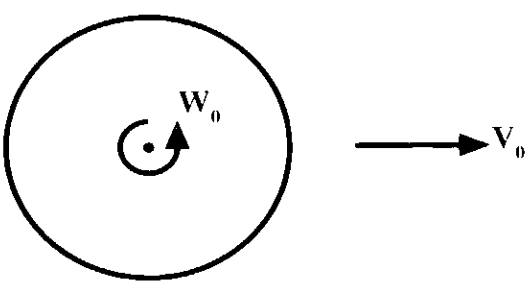
هرچه $\omega$ بزرگتر باشد این گشتاور بیشتر است. پس هرچه $\omega$ بزرگتر باشد، چرخ پایدارتر است، یعنی مشکلتر تغییر جهت می‌دهد.

**- حرکت یک بومرنگ در یک فضای عادی (هوا) طبق چه معادله‌ای تحلیل و پاسخگویی می‌شود؛ (می‌دانیم که چگالی محیط و سیال سیستماتیک بومرنگ در نوع مسیر حرکت نقش اساسی دارد.)**

پاسخ: به‌طور کلی این حرکت با معادلات مکانیک شاره‌ها و معادلهٔ قانون دوم نیوتون برای حرکت مرکز جرم بومرنگ و رابطهٔ تغییر تکانهٔ زاویه‌ای با گشتاور برای حرکت دورانی بومرنگ حول مرکز جرم خود توصیف می‌شود. تحلیل کمی و دقیق حرکت بومرنگ پیچیده است، اما با فرضهای ساده‌کننده‌ای می‌توان به‌طور کیفی مشخصهٔ منحنی شدن مسیر آن را توضیح داد: بومرنگ شکل نامتقارنی دارد، به‌طوری که هوایی که از اطراف آن می‌گذرد در یک طرف مسیر بیشتری را می‌پیماید، مثل شکل بال هواپیما که هوایی که از روی آن می‌گذرد مسیر بزرگتری را می‌پیماید تا هوایی که از زیر آن می‌گذرد. اکنون بومرنگی را در نظر بگیرید که در حال پرواز است. به‌جای اینکه فرض کنیم بومرنگ در حال پرواز است، می‌توانیم آن را ساکن بگیریم و هوا را در حال حرکت به طرف آن بگیریم. چون هوایی که از یک طرف می‌گذرد مسیر بلندتری را می‌پیماید، سرعت هوا در این طرف بیشتر می‌شود. بنابراین، طبق قانون برنولی، فشار هوا در این طرف کمتر می‌شود. این نیرویی جانبی به‌وجود می‌آورد که مسیر بومرنگ را از خط راست منحرف می‌کند. اختلاف فشار طرفین متناسب با چگالی هواست. بنابراین، هرچه چگالی هوا بیشتر باشد اثر انحنای مسیر بیشتر است، یعنی شعاع مسیر کوچکتر می‌شود.

**- یک کرهٔ کوچک (یا استوانه) را با سرعت اولیهٔ $\omega_0$ در راستای محور افقی زمین به چرخش درمی‌آوریم و سپس آن را در روی زمین قرار می‌دهیم. با فرض بودن اصطکاک ($\mu_k$ و $\mu_s$) چرا این شیئی ابتدا به طرف ما و سپس در جهت مخالف به حرکت عادی خود ادامه می‌دهد.**

پاسخ: من درست متوجه سئوال نشدم. چیزی که به‌نظر خودم می‌رسد، که امیدوارم به‌نظر سئوال کننده مربوط باشد، این است که کره‌ای را با سرعت زاویه‌ای و سرعت خطی روی سطح زمین رها کنیم. مثل موقعی که یک توپ پنگ‌پنگ را از بالای آن روی زمین هل می‌دهیم.




به‌چنین کره‌ای سه نیرو وارد می‌شود. یکی نیروی وزن، یکی نیروی عمود برسطح، و یکی نیروی اصطکاک. نیروی عمود برسطح با نیروی وزن برابر است، چون کره حرکت عمودی ندارد: $N=mg$

نیروی اصطکاک جنبشی است، زیرا نقطهٔ تماس کره با سطح متحرک است. درواقع در لحظهٔ اولیه، با توجه به جهتهای روی شکل، سرعت نقطهٔ تماس می شود $v_0 + r\omega_0$ به‌طرف راست. پس نیروی اصطکاک به‌طرف چپ است. از اینجا

$$f_k = -\mu_k mg = ma \Rightarrow a = -\mu_k g$$

که درآن $a$ شتاب جسم به‌طرف راست است ($a$ منفی است پس جسم واقعاً به‌طرف چپ شتاب می‌گیرد). نیروی اصطکاک ضمناً یک گشتاور حول مرکز جرم هم ایجاد می‌کند:

$$-r\mu_k mg = I\frac{d\omega}{dt} \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} = -\frac{\mu_k gmr}{I}$$

دراینجا $I$ لختی دورانی کره حول محور دوران گذرنده از مرکز آن است. از اینجا نتیجه می‌شود که

$$v = v_0 - \mu_k gt$$

$$\omega = \omega_0 - \frac{\mu_k gmrt}{I}$$

این وضعیت ادامه دارد تاآنجاکه سرعت نقطهٔ تماس $(v + r\omega)$ صفر شود. دراین لحظه

$$v_0 + r\omega_0 - \mu_k gt\left(1 + \frac{mr^2}{I}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \mu_k gt = \frac{v_0 + r\omega_0}{1 + \frac{mr^2}{I}}$$

$$v = \frac{\frac{mr^2}{I}v_0 - r\omega_0}{1 + \frac{mr^2}{I}}$$

$$w = \frac{\omega_0 - \frac{mr^2}{I}v_0}{\frac{1 + mr^2}{I}}$$

از این لحظه به‌بعد نیروی اصطکاک صفر می‌شود و جسم باسرعت و سرعت زاویه‌ای ثابت به‌حرکت خود ادامه می‌دهد. اکنون توجه کنید که اگر $\omega_0$ از حد معینی $\left(\frac{mr}{I}v_0\right)$ بزرگتر باشد، $v$ منفی است، یعنی جسم برمی‌گردد. دراین حالت جهت دوران کره همان جهت اولیه است اما سرعت زاویه‌ای آن کم شده است. برعکس، اگر $\omega_0$ از حد بالا کوچکتر باشد. جهت حرکت کره همان جهت اولیه است، اما سرعت آن کم شده است، و درمقابل جهت دوران کره معکوس شده است.

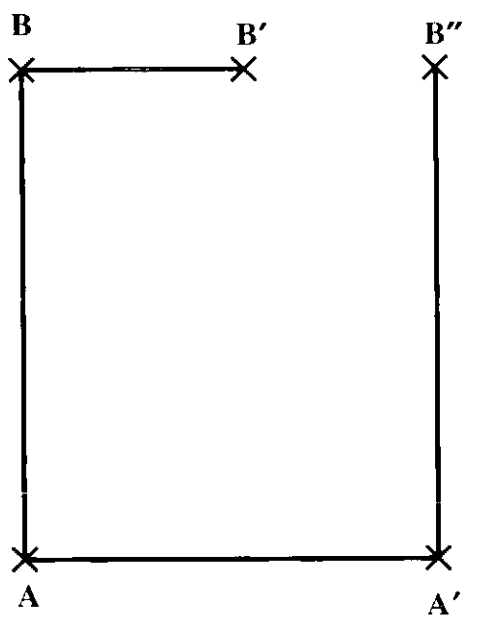
**ـ یک کرهٔ توپر را با نخ (با جرم ناچیز) از یک نقطه آویزان کرده‌ایم. حال اگر به کره درحالتی که به اندازهٔ زاویهٔ $\varphi$ از راستای قائم منحرف شده است با سرعت زاویه‌ای $\omega$ حرکت کند با توجه به هولونوم یا غیر هولونوم این سیستم از روش محاسبهٔ معادلات حرکت چگونه بررسی و تحلیل می‌شود؛ (محاسبهٔ ریاضی)**

پاسخ: راستش من چیز زیادی از سئوال دستگیرم نشد. اولاً نفهمیدم $\omega$ حول چه محوری است، مثلاً محور قائم یا ریسمان. ثانیاً نفهمیدم که کره دور مرکز خودش می‌چرخد یا مرکز آن قرار است حول چیزی دوران کند. ثالثاً نمی‌دانم مقصود سئوال‌کننده از هولونوم یا غیر هولونوم بودن چیست؛ هولونوم یا غیر هولونوم بودن کدام قید مطرح است؟*

**ـ گلوله‌ای را در راستای شمال و جنوب (یعنی روی صفحهٔ نیمروزان) به سوی شمال پرت می‌کنیم. آیا درهمان راستای شمال و جنوب به زمین برخورد می‌کند یا به سمت راست وی به سمت چپ منحرف می‌شود؟ چرا؟ (فرض می‌کنیم در نیم کرهٔ شمالی هستیم).**

پاسخ: گلوله، چه‌آن را به‌طرف شمال پرتاب کنیم و چه به‌طرف جنوب، به‌طرف راست منحرف می‌شود. طریقهٔ سادهٔ دیدن این موضوع آن است که فرض کنید گلوله به شمال پرتاب شود، مثلاً درشکل زیر ازنقطهٔ A به‌طرف B پرتاب شود. گلوله درلحظهٔ پرواز، علاوه‌برسرعتی درجهت A به B، سرعت حرکت وضعی زمین درنقطه A را هم دارد. بنابراین نسبت به‌یک چارچوب لخت درجهت شمال حرکت نمی‌کند بلکه به‌طرف شرق منحرف می‌شود. فرض کنید طی مدتی که گلوله مسافتی جنوبی شمالی به‌اندازهٔ AB را می‌پیماید، نقطه A به‌نقطهٔ $A'$ رسیده باشد (نسبت به‌یک چارچوب مرجع لخت. به‌این ترتیب گلوله به‌جای اینکه درنقطهٔ B فرود آید به‌همان اندازهٔ $AA'$ به‌طرف شرق منحرف می‌شود و درنقطهٔ $B''$ (از دید یک ناظر لخت) فرود می‌آید. درهمین مدت نقطهٔ B هم از دید یک ناظر لخت حرکت کرده است و

به‌نقطه $B'$ رسیده است. اما چون B شمالیتر از Aاست، سرعت حرکت وضعی زمین در B کمتر از A است. پس $BB' < AA'$. از اینجا نتیجه می‌شود که $B''$ درطرف شرق $B'$ قرار دارد. پس پرتابه‌ای که به‌طرف شمال پرتاب شود به‌طرف شرق منحرف می‌شود. اکنون فرض کنید که پرتابه به‌سوی جنوب پرتاب شود. بابحثی مشابه بالا معلوم می‌شود که دراین حالت مقصد بیش‌از محل فرود پرتابه به‌طرف شرق جابه‌جا شده است. پس دراین‌حالت پرتابه (نسبت به‌زمین) به‌طرف غرب منحرف شده است. به‌این‌ترتیب، چه‌پرتابه به‌شمال پرتاب شود و چه‌به‌جنوب، به‌طرف راست مسیر منحرف می‌شود. بابحث مشابهی دیده می‌شود که پرتابه‌ها درنیمکره‌جنوبی به‌طرف چپ مسیر منحرف می‌شوند.



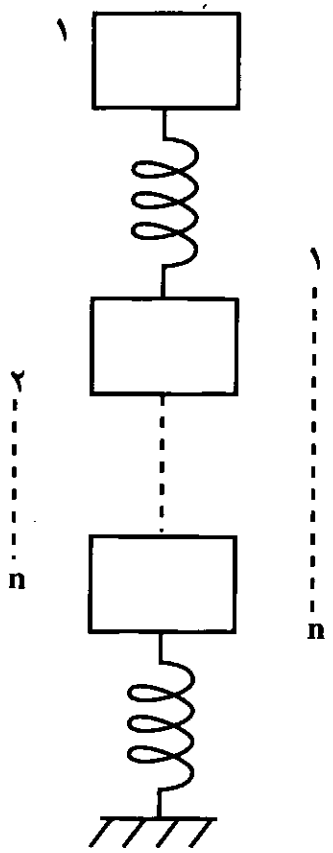

بحث دقیقتر این موضوع به‌این شکل که در چارچوب مرجع داوری، مثل سطح زمین هنوز می‌توانیم قانون دوم نیوتون را بنویسیم، اما به‌شرط آن‌که نیروهای لختی (یامجازی) معینی را هم به‌نیروهای واقعی سیستم اضافه کنیم. یکی از این نیروهای لختی نیروی مرکز گریز است، که به‌شکل $\vec{F} = m\vec{\omega} \times (\vec{r} \times \vec{\omega})$ نوشته می‌شود: $\vec{\omega}$ سرعت زاویه‌ای زمین و $\vec{r}$ بردارد مکان ذره (درچارچوب زمین) است. نیروی دیگر نیروی کوریولیس است که به‌شکل $\vec{F} = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}$ نوشته می‌شود: $\vec{v}$ سرعت ذره نسبت به‌زمین است. این نیروی اخیر مسئول انحراف ذره است و به‌سادگی می‌توان دید که جهت آن بابحث کیفی بالا تطابق دارد.

**- فرق بین نیروی وزن و نیروی گرانی چیست؟**

پاسخ: من فقط یکی نیرو مشابه باعبارتهای بالا می‌شناسم و آن نیرویی است که درمیدان گرانشی به‌اجسام وارد می‌شود به نظر من این دوتا فرقی باهم ندارد.

**- درشرایط عادی اندامهای بدن انسان درحالت تغییرشکل یافته هستند یا خیر؟ در موقع سقوط آزاد چطور؟**

پاسخ: بدن انسان، مثل تقریباً هرجسم‌دیگری، خاصیت کشسانی دارد. معنی‌این گفته آن است که اگر بخشی از بدن انسان به‌بخش دیگری نیرو وارد کند، باید بدن کشیده، یافشرده شده باشد. ساده‌ترین مدلی که این خاصیت بدن‌انسان را توصیف می‌کند، مدلی است که درآن بدن انسان را به‌شکل فنری یکنواخت، اما باجرم، درنظر بگیریم. اکنون فرض کنید که این فنر به‌شکل قائم روی سطح زمین ایستاده باشد. توصیف فنر باجرم یکنواخت ساده‌تر می‌شود اگر به‌جای آن مجموعه‌ای از n فنر مشابه‌بدون جرم بگیریم که بین آنها n جرم‌مشابه قرار گرفته است:




باتوجه به‌شکل، روشن‌است که تغییر طول فنر iام

$$\Delta xi = \frac{img}{k}$$

است. دراینجا m جرم هرجسم و k ضریب سختی هر فنر است.

باافزایش تعداد تقسیمها مدل دقیقتر می‌شود. اکنون فرض کنید که جرم کل بدن انسان $M$، قد فشرده نشده‌اش $L$، و ضریب سختی کل بدن انسان به‌عنوان یک فنر $K$ باشد. باتوجه به‌تقسیم فنر به‌$n$ بخش مساوی، و تقسیم جرم به‌$n$ بخش مساوی، داریم

$$k = nK \ , m = \frac{M}{n}$$

$$\frac{\Delta x_i}{L/n} = \frac{\frac{1}{n}Mg}{LK} = \frac{\rho lg}{B}$$

دراینجا: $B = LK$ ثابتی بابعد نیروست که آن را مدول یانگ جسم می‌نامیم. $\rho$ چگالی طولی جرم، و $l$ طولی از بدن انسان است که دربالای نقطهٔ موردبررسی قراردارد به‌این ترتیب، رابطه بالا می‌شود.

$$\frac{\Delta x}{\Delta l} = \frac{\rho lg}{B}$$

دراینجا نسبت طرف چپ تغییر طول نسبی عنصری به‌طول $\Delta l$. عبارت بالا نشان می‌دهد که بدن انسان اصولاً فشرده می‌شود، و مقدار نسبی این فشردگی برابر است باوزن بالای نقطهٔ مشاهده تقسیم بر مدول یانگ. شکل دقیق رابطهٔ بالا می‌شود.

$$\frac{dx}{dl} = \frac{\rho lg}{B}$$

از این رابطه می‌توان انتگرال گرفت تغییر طول کل بدن انسان را به‌دست آورد:

$$x = \int_0^L \frac{\rho lg}{B} dl = \frac{\rho L^2 g}{2B} \Rightarrow \frac{x}{L} = \frac{Mg}{2B}$$

عبارت طرف چپ فشردگی نسبی طول بدن است که برابر است بانصف نسبت وزن بدن به‌مدول یانگ.

اکنون فرض کنید که بدن درحال سقوط آزاد باشد. دراین صورت برآیند نیروهای وارد بر $i$ جرم‌اول برابر است با $img$ (زیرا شتاب مجموعه $g$ است)، که همان وزن این مجموعه است. پس فنرها نیرویی وارد نمی‌کنند و تغییر طولشان صفر است. نتیجهٔ این حرف آن است که درحالت سقوط آزاد، بدن انسان کشیده، یا فشرده، نیست.

**ـ درحالت عادی قد انسان بلندتر است یا درحالت سقوط آزاد؟**

پاسخ: این سئوال کاملاً مشابه سئوال فشردگی اندامهای بدن انسانی است. درحالت عادی بدن انسان فشرده می‌شود پس قداً انسان درحالت سقوط آزاد بلندتر است.

**ـ چرا اجسام شکننده وقتی به زمین سختی برخورد می کنند می شکنند؟**

پاسخ: ترکیب دوعامل است که باعث شکنندگی اجسام می‌شود. یکی سخت بودن جسم (یعنی تغییر طول کم آن بااعمال یک نیروی معین) و دیگری کم‌بودن نیرویی (تنشی) که جسم می‌تواند تحمل کند بدون آنکه بشکند. جسم شکننده‌ای که به‌زمین برمی‌خورد، به‌خاطر سختی خود تغییر طول بسیار کمی می‌یابد. که معنی آن این است که جسم، پس‌از شروع برخورد، درفاصلهٔ کوتاهی متوقف می‌شود. کل کاری که دراین مدت به‌جسم داده می‌شود برابر است با(منهای) انرژی

جنبشی جسم پیش از برخورد، چون جسم در مسافت بسیار کوتاهی متوقف می شود، نیروی بسیار زیادی به آن وارد می شود. هرچه سختی جسم بیشتر باشد، این نیرو بزرگتر است، و هرچه حد کشسانی جسم کمتر باشد، احتمال اینکه این نیرو از آن تجاوز نکند بیشتر می شود. که دراین صورت جسم می شکند.

**- چرا وسایل شکننده را برای انتقال در خاک اره قرار می دهند؟**

پاسخ: این سئوال به سئوال علت شکنندگی اجسام مربوط است. فرض کنید که ضربه‌ای به جعبه حاوی جسم وارد شود، مثلاً با افتادن جعبه روی زمین سخت. اگر جسم مستقیماً به زمین برخورد کند ممکن است بشکند، اما با پوشش خاک اره، یا هر مادهٔ نرم دیگر، جسم مسافت بیشتری می پیماید تا متوقف شود (زیرا می تواند خاک اره را جابه‌جا کند). به این ترتیب، عامل اول مؤثر در شکنندگی اجسام حذف می شود، یعنی نیرویی که در اثر ضربه به جسم وارد می شود کمتر از حالتی می شود که ضربه مستقیم است.

**- چرا در جرثقیلها فنر مخصوصی (کمک فنر) بین طناب فولادی و قالب به کار می رود؟**

پاسخ: من درست معنی این عبارتها را نفهمیدم. نمی دانم منظور از قالب و کمک فنر چیست.

**- چرا وقتی که ما قاشق چای را هم می زنیم نیروی گریز از مرکز بر تفالهٔ چای اثر نمی کند و تفاله ها در وسط جمع می شوند؟**

پاسخ: دو نکته در اینجا وجود دارد. یکی اینکه نیروی گریز از مرکز مثل یک گرانش مؤثر به طرف لبه‌های ظرف عمل می کند. در نتیجه مواد سبکتر به طرف مرکز ظرف می روند و مواد سنگینتر به طرف لبه‌ها. اگر چگالی تفاله کمتر از چای باشد، تفاله باید به طرف مرکز برود.

اما تفاله‌های سنگینتر، یعنی آنهایی که در حالت عادی در کف ظرف قرار می گیرند هم، پس از اینکه به هم زدن چای متوقف می شود به طرف مرکز می روند. در اینجا عامل دیگری دخالت می کند و آن اینکه پس از توقف به هم زدن، چای در نزدیک لبه‌های ظرف به سرعت متوقف می شود، اما در مرکز ظرف نه، نتیجهٔ این پدیده جریان مؤثری به طرف مرکز ظرف است، که تفاله‌ها را به این سمت می راند.

**- با یک مثال چگونگی تبدیل انرژی به ماده را توضیح دهید.**

پاسخ: یک مثال ساده تبدیل پرتوی گاما به زوج الکترون- پوزیترون است. پرتوهای گامایی که وارد جو زمین می شوند در مجاورت هسته‌های ماده به زوج الکترون- پوزیترون تبدیل می شود. دراین کار به اندازهٔ $\frac{2\times 0/511\ MeV}{c^2}$ یعنی به اندازهٔ دو برابر جرم الکترون، جرم تولید می شود.

* پرسش کنندگان گرامی باید از طرح پرسشهای مبهم پرهیز کنند.

# تصاویر یک جسم واقع بین دو آینهٔ متقاطع

**اهواز ـ ۹ تا ۱۱ فروردین ماه ۱۳۷۶**

**محمد فرهاد رحیمی**
**عضو هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد**

**تعداد تصاویر در آینه های متقاطع**

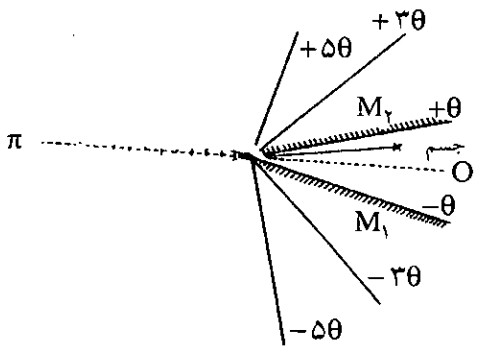
معمولاً در کتابهای درسی زاویهٔ بین دو آینه را در محاسبه تعداد تصاویر برابر $\phi, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$ می‌گیرند. اگر به فرض زاویهٔ بین دو آینه برابر $2\theta$ باشد، فرمولی که برای تعداد تصاویر ارائه می‌دهند (مثلاً کتاب فیزیک عمومی تألیف هالیدی و رزنیک سال ۱۹۷۰، صفحهٔ ۶۹۸) به صورت زیر است.

$$N = \frac{360^\circ}{2\theta} - 1$$

که برای زاویه‌های $2\theta = 120^\circ, 2\theta = 72^\circ$ می‌بایست تعداد تصاویر به ترتیب برابر $N=4$ و $N=2$ باشد در حالی که تعداد تصاویر بسته به مکان جسم متفاوت است. برای روشن شدن مطلب فرض می‌کنیم دو آینهٔ M1 و M2 با هم زاویهٔ حادهٔ $2\theta$ بسازند. در مختصات قطبی مسطح به فرض آینه‌های M1 و M2 به ترتیب زوایای $+\theta, -\theta$ با محور $o\pi$ بسازند. همچنین فرض می‌کنیم جسم A در نزدیکترین فاصله با آینه M2 باشد. تصویر این جسم در پشت M1 زاویهٔ $-3\theta$ با محور $\phi\pi$ می‌سازد. (به علت تقارن) این اولین بازتاب است. پس: فاصله زاویه‌ای $(-\theta, -3\theta)$ اولین فضای تصویری پشت M1 است. همین‌طور فاصلهٔ زاویه‌ای $(+\theta, +3\theta)$ اولین فضای تصویری پشت M2 ناشی از فاصلهٔ زاویه‌ای $(-\theta, +\theta)$ است.

در دومین بازتابها، فاصلهٔ زاویه‌ای $(-3\theta, -5\theta)$ ناشی از فاصلهٔ زاویه‌ای $(+\theta, +3\theta)$ تشکیل می‌شود و از این‌رو دومین فضای تصویری پشت M1 است.

همین‌طور فاصله $+3\theta, +5\theta$ فضای تصویری ناشی از فاصلهٔ $-\theta, -3\theta$ است و دومین فضای تصویری پشت M2 است.



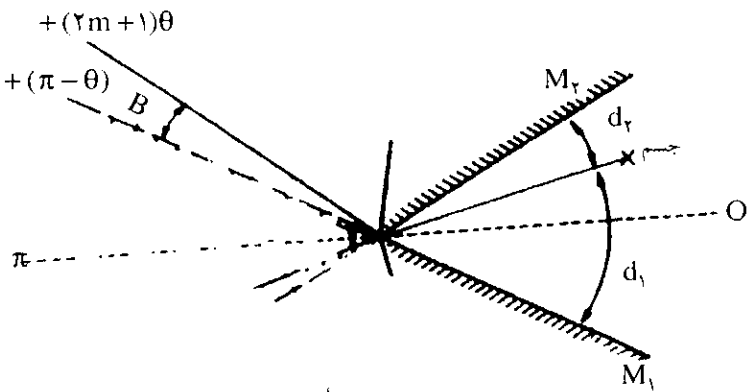

در بازتابهای متوالی $(-5\theta, -7\theta)$ سومین فضای

تصویری پشت M1 و $(-\gamma\theta, -\gamma\theta)$ **چهارمین** فضای تصویری پشت M1 و بالاخره به طور کلی $-(\gamma m-1)\theta \leftrightarrow -(\gamma m+1)\theta$

m امین فضای تصویری پشت M1 هستند. m=1,2,3,... و بازتابهای

$$+(\gamma m-1)\theta \leftrightarrow +(\gamma m+1)\theta, \ldots\ldots (+\gamma\theta, +\gamma\theta)(+\delta\theta, +\gamma\theta)$$

عبارت از سومین، چهارمین و mامین فضای تصویری پشت M2 هستند. حال کمیتی مثل زاویه $\beta$ تعریف می‌کنیم که امتداد آینه مثلاً M1 با راستای $+(\gamma m+1)\theta$ بسازد داریم:




در انتهای زنجیرهٔ تشکیل فضای تصویری در بازتابهای متوالی ممکن است $\beta$ به یکی از سه حالت زیر باشد:

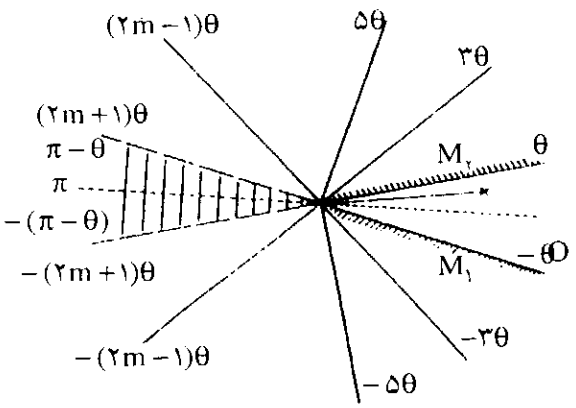
$$\beta > \theta \quad , \quad \beta < \theta \quad , \quad \beta = 0$$

حال به بحث در هر یک از موارد فوق بر حسب زاویهٔ جسم با M1 و M2 و زاویه $\beta$ می‌پردازیم.

در واقع برای اینکه از جسمی در یک آینه تصویری داشته باشیم، باید جسم در میدان دید جلوی آینه باشد. مثلاً برای اینکه از جسمی در آینه M1 تصویر داشته باشیم، باید mامین فضای تصویری پشت M2 در میدان دید آینه M1 باشد.

### مورد الف) $\beta = 0$

در این حال راستاهای $-(\gamma m+1)\theta, +(\gamma m+1)\theta$ دقیقاً در امتداد آینه‌های M1 و M2 هستند و مطابق شکل فاصلهٔ زاویه‌ای $+(\pi-\theta), -(\pi-\theta)$ در فضای تصویری یکسان از فاصلهٔ $(+\theta, -\theta)$ خواهد بود. یعنی **(m+1)** امین فضای تصویری پشت M1 و (m+1) امین فضای تصویری پشت M2 در فاصلهٔ زاویه‌ای $+(\pi-\theta) \leftrightarrow -(\pi-\theta)$ روی هم می‌افتد. [(تا مرتبه mام با هم مختلف بودند و mامین فضای تصویری پشت M2 مترادف با فاصله زاویه‌ای $\theta(\gamma m+1)$ بود)]




چون فقط یک جسم بین دو آینه قرار دارد پس فقط یک تصویر در هر یک از $(\gamma m+1)$ فضای تصویری در تمام سطح خواهیم داشت. یعنی:

**تعداد کل تصاویر = N=2m+1**

در واقع (m+1) فضای تصویری پشت هر یک از دو آینه تشکیل می‌شود ولی چون تصویر (m+1)ام پشت M1 و M2 بر هم منطبق می‌شوند، از این رو این (m+1)ام فقط به عنوان یک تصویر به نظر می‌رسد و روی هم می‌شود (2m+1) نه (2m+2).

در حالت خاصی که جسم روی نیمساز دو آینه واقع باشد تصاویر نیز روی نیمسازهای فضاهای تصویری قرار می‌گیرند (یعنی در هر فضای تصویری فقط دارای یک تصویر می‌باشیم، به طوری که تعداد تصاویر برابر با تعداد فضاهای تصویر می‌شود).

از طرفی چون زاویه بین هر دو $\theta(\gamma m+1)$ برابر $\gamma\theta$

$\frac{360^\circ}{\gamma\theta}$ است، پس تعداد این $\gamma\theta$ ها در $360^\circ$ برابر

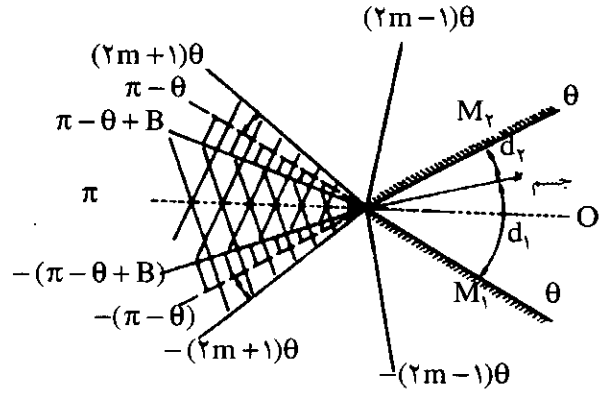
خواهد بود. اگر تعداد $(\gamma\theta)$ ها مضرب صحیحی از $360^\circ$ باشد تعداد تصاویر از رابطهٔ زیر به دست می‌آید. همان مورد آشناست:

$$N = (\frac{360^\circ}{\gamma\theta}) - 1 =$$

تعداد تصاویر

**مورد ب)** $0 < \beta < \theta$

در این حالت (m+1)امین فضای تصویری پشت M2 در فاصلهٔ زاویه‌ای $(2m+1)\theta \leftrightarrow -(\pi-\theta+\beta)$ و (m+1)امین فضای پشت M1 در فاصلهٔ $+(\pi-\theta+\beta) \leftrightarrow -(2m+1)\theta$ خواهد بود.




پس قسمتی از دو فضای تصویری در ناحیه $+(\pi-\theta+\beta), -(\pi-\theta+\beta)$ که از مرتبه (m+1)ام هستند همپوشی می‌کنند. تا وقتی فقط یک جسم وجود دارد در فاصله $+(2m+1)\theta, -(2m+1)\theta$ دارای دو تصویر در بازتاب مرتبه (m+1)ام خواهیم بود.

در این حال نیز فاصلهٔ زاویه‌ای $+(\pi-\theta), -(2m+1)\theta$ در جلوی M1 و ناحیه $[-(2m+1)\theta, -(\pi-\theta)]$ را در جلوی M2 خواهیم داشت.

بازتابهای دیگر توسط M1 و M2 باعث همپوشی **فضای تصویری (m+2)ام** در پشت M1 در فاصلهٔ زاویه‌ای $+(\pi-\theta) \leftrightarrow +(\pi-\theta+\beta)$ و فضای تصویری پشت M در فاصلهٔ $-(\pi-\theta), -(\pi-\theta+\beta)$ خواهند شد.

در این حال نیز فضاهای تصویری هم پوشیدهٔ متناظر، با قسمتهای مختلف از زاویهٔ بین دو آینه $(-\theta, +\theta)$ هستند و تصویرهای (m+1)ام و (m+2)ام از یکدیگر قابل تشخیص هستند.

اگر جسم در فاصلهٔ نزدیک (یا روی) M1 و M2 نباشد و مثلاً زاویهٔ $\alpha_1$ با آینه M1 و زاویه $\alpha_2$ با آینه M2 بسازد. در صورتی که $\beta > \alpha_2$ باشد تصویر جسم در بازتاب (m+2)ام بین $-(\pi-\theta), -(\pi-\theta+\beta)$ قرار می‌گیرد. و اگر $\beta > \alpha_1$ باشد، تصویر جسم در بازتاب (m+2)ام بین $+(\pi-\theta), +(\pi-\theta+\beta)$ خواهد افتاد. ولی به هر حال هر دو با هم برای یک جسم رخ نخواهد داد.

اگر $\alpha_s$ زاویه کوچکتر در بین دو زاویه $\alpha_1$ و $\alpha_2$ باشد می‌توان نتیجه گرفت که تعداد تصویرها برابر می‌شوند با:

برای $\beta < \alpha_s$ داریم: **تعداد تصاویر** $N=2(m+1)=$

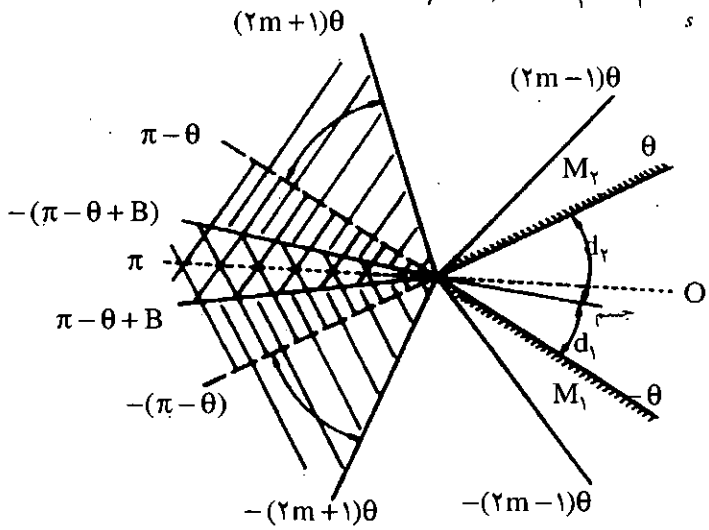
برای $\beta < \alpha_s$ داریم: **تعداد تصاویر** $N=2(m+1)+1=$

**مورد ج)** $\beta \geq \theta$

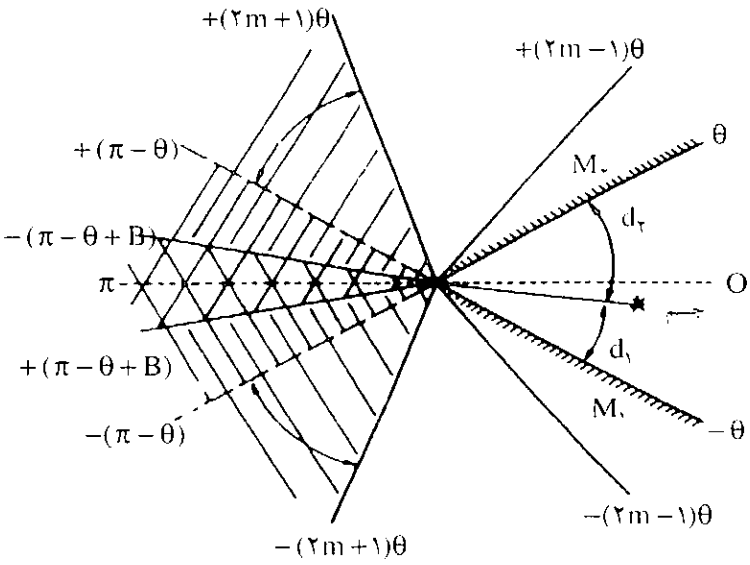
مورد $\beta = \theta = \alpha_s$ مطرح نمی‌شود.

برای نزدیک آینه M1 داریم $\alpha_1 < \theta$ و برای نزدیک به M2 داریم: $\alpha_2 > \theta$

برای جسم روی نیمساز بین دو آینه، تصاویر نیز روی نیمساز فضاهای تصویری قرار می‌گیرند. در این حال $\beta = 0, \theta = \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_s$




به مانند مورد (ب) چون $\alpha_s < \theta < \beta$ است یک جسم می‌بایست حداقل یک تصویر در **(m+2)** امین بازتاب داشته باشد که این تصویر یا در فاصلهٔ زاویه‌ای $+(\pi-\theta) \leftrightarrow +(\pi-\theta+\beta)$ یا در فاصلهٔ زاویه‌ای $-(\pi-\theta) \leftrightarrow -(\pi-\theta+\beta)$ است.




اگر $\alpha_L$ زاویه بزرگتر در بین $\alpha_1$ و $\alpha_2$ باشد و $\beta > \alpha_L$

پس تصویر (m+2)ام می بایست در هر دو فاصله

$+(\pi-\theta) \leftrightarrow +(\pi-\theta+\beta)$ ، $(\pi-\theta) \leftrightarrow -(\pi-\theta+\beta)$

قرار گیرد. ناحیه هاشور خورده صلیب دار (ضربدری) معرف همپوشی دو فضای تصویری از مرتبه **(m+2)**ام است [در قسمت ب ناحیه روی هم افتاده ضربدری از مرتبه (m+1)ام بود].

در شکل بالا همپوشی فضای تصویری (m+2) ام و (m+1)ام نیز ملاحظه می شود. (ناحیه دو هاشوره).

بنابراین:

برای $\beta < \alpha_L$ و

**تعداد تصاویر =N=2(m+1) +1**

برای $\beta > \alpha_L$ و

**تعداد تصاویر =N=2(m+2)**

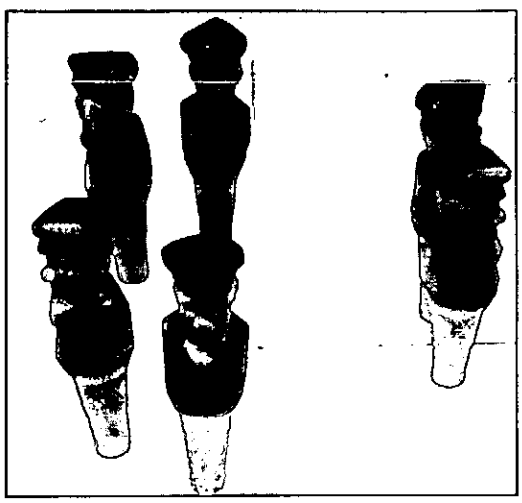
پس فرمول $N = \frac{۳۶۰}{۲\theta} - ۱$ فقط برای موردی که $\frac{۳۶۰}{۲\theta}$ یک عدد صحیح باشد معتبر است (مورد خاص حالت الف) معمولاً N یا تعداد تصویرها به عنوان حداکثر تعداد تصاویر کامل شناخته شده است که قابل تمیز از یکدیگر است و به راحتی مشاهده می شوند. به طور کلی فضای تصویری پشت یک آینه توسط مرز زاویه‌ای که این آینه با نقطه مشاهده می سازد، محدود می شود. تصویرهای متشکله در خارج از این مرز نمی توانند از این نقطه خاص مشاهده شوند.

**خلاصه:**

تعداد تصویرهایی که در بین دو آینه متقاطع دیده می شوند بستگی به مکان جسم نسبت به دو آینه دارد. به فرض دو آینه M1 و M2 به ترتیب زاویه‌های $-\theta, +\theta$ با محور قطبی مسطح بسازند. در پشت M1 فاصلهٔ زاویه‌ای $(-\theta, -۳\theta)$ اولین فضای تصویری و $(-۳\theta, -۵\theta)$ دومین و $-(۲m+۱)\theta, -(۲m-۱)\theta$ عبارت از mامین فضای تصویری را تشکیل می دهند. و در پشت M2 فواصل زاویه‌ای $(+۳\theta, +۵\theta)$ و $(+۵\theta, +۷\theta)$ و $(۲m+۱)\theta$ و $(۲m-۱)\theta$ نیز mامین فضای تصویری پشت M2 را می سازند. اگر زاویه بین امتداد آینه M1 و M2 را با راستای $\pm(۲m+۱)\theta$ به $\beta$ نشان دهیم، یعنی $\beta = (\pi-\theta) - (۲m+۱)\theta$ در انتهای زنجیره فضاهای تصویری در بازتابهای متوالی ممکن است $\beta = ۰$ یا $\beta < \theta$ یا $\beta > \theta$ باشد.

+ برای $(\beta = ۰)$ راستاهای $\pm(۲m+۱)\theta$ برای mامین فضای تصویری پشت M1 و M2 دقیقاً در امتداد آینه‌های M1 و M2 و می افتند به طوری که بعد از آن، یعنی (m+1) امین فضای تصویری پشت M1 و M2 که در فواصل زاویه‌ای $\pm(\pi-\theta)$ هستند، بر هم منطبق می شوند.

چون (m+1) فضای تصویری پشت هر یک از دو آینه تشکیل می شود ولی تصویر (m+1)ام پشت M1 و هم چنین پشت M2 بر هم منطبق می شوند، لذا این



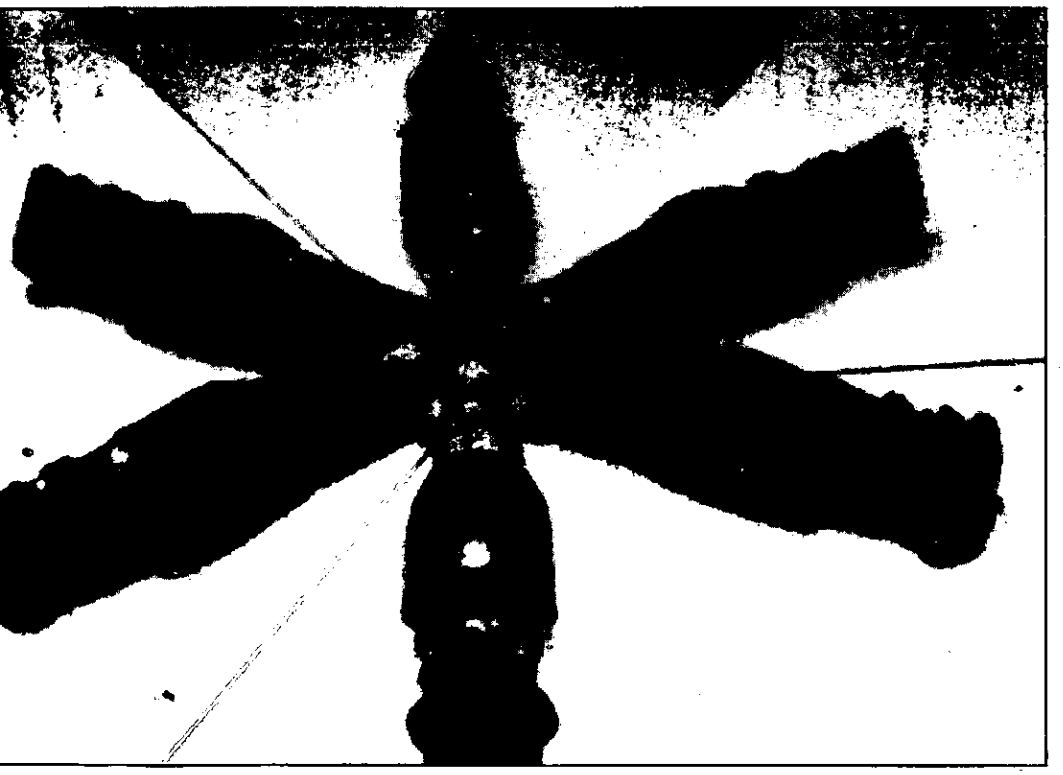
(m+1)ام فقط به عنوان یک تصویر تلقی می‌شود و روی‌هم می‌شود (2m+1) تصویر نه (2m+2) تصویر.
در حالت خاصی که جسم روی نیمساز دو آینه قرار می‌گیرد تصویرها نیز روی نیمسازهای فضاهای تصویری قرار می‌گیرند، یعنی در هر فضای تصویری فقط دارای یک تصویر هستیم، به طوری‌که تعداد تصویرها برابر تعداد فضاهای تصویری می‌شود. از طرفی زاویه بین هر دو راستای $\theta(1 \pm 2m)$ برابر $2\theta$ است و تعداد این $2\theta$ها در $360^\circ$ درجه برابر $\frac{360^\circ}{2\theta}$ است، پس تعداد تصاویر همان رابطه معروف $N = \frac{360^\circ}{2\theta} - 1$ خواهد بود.

+ برای $\beta < \theta$ در این حال بخشی از دو فضای تصویری که از مرتبه (m+1)ام هستند همپوشی می‌کنند و در فاصله زاویه‌ای $\pm(2m+1)\theta$ دارای دو تصویر خواهیم بود. بازتابهای دیگر باعث همپوشی فضای تصویری (m+2)ام در پشت M1 و M2 خواهند شد. البته تصاویر (m+1)ام و (m+2)ام از یکدیگر قابل تشخیص خواهند بود.

اگر زاویه‌ای که خط و اصل بین جسم، «به فرض نقطه‌ای شکل»، و نقطهٔ محل تلاقی دو آینه با امتداد آینه‌های M1 و M2 می‌سازد را به $\alpha_1$ و $\alpha_2$ نشان دهیم و $\alpha_s$ زاویه کوچکتر در بین $\alpha_1$ و $\alpha_2$ باشد، تعداد تصاویر برای $N = 2(m+1), \beta < \alpha_s$ و برای $\beta > \alpha_s$ برابر $N=2(m+1)+1$ خواهد بود.

+ برای $\beta > \theta$ نیز جسم دارای حداقل یک تصویر در (m+2)امین بازتاب است.

اگر $\alpha_L$ زاویه بزرگتر در بین $\alpha_1$ و $\alpha_2$ باشد مقادیری از فضاهای تصویری (m+1)ام و (m+2)ام همپوشی می‌کنند. برای $\beta < \alpha_L$ تعداد تصاویر برابر $N=2(m+1)+1$ و برای $\beta > \alpha_L$ تعداد تصویرها $N=2(m+2)$ خواهد بود. به طور کلی فضای تصویری پشت یک آینه توسط مرزی زاویه‌ای که این آینه‌ها با نقطه مشاهده می‌سازند محدود می‌شود و تصویرهای متشکله در خارج از این مرز نمی‌توانند از این نقطه خاص مشاهده شوند. به عنوان مثال برای $2\theta = 72^\circ$ اگر جسم روی نیمساز دو آینه قرار گیرد ۴ تصویر مشاهده می‌شود ولی اگر نزدیک و حدوداً چسبیده به آینه‌های M1 یا M2 قرار گیرد ۵ تصویر مشاهده می‌شود.



مرجع

G. D. Freier , "University Physics"
Appleton- Centure- Corfts, New- york, 1965 p. 436

# نحوهٔ انتخاب اعضای تیم المپیاد فیزیک ایران چگونه است؟

محمدرضا اجتهادی

در پی سؤالات دانش‌آموزان در رابطه با چگونگی انتخاب تیم المپیاد فیزیک ایران خلاصه‌ای از مراحل گزینش دانش‌آموزان و دوره‌های آماده‌سازی آنان در زیر آورده شده است.

هر ساله طی بخشنامه‌ای از سوی باشگاه دانش‌پژوهان جوان که مسؤلیت گزینش و آماده‌سازی دانش‌آموزان تیم‌های المپیادهای علمی کشور را عهده‌دار است، به تمام ادارات کل آموزش و پرورش خواسته می‌شود تا دانش‌آموزان برتر مشغول به تحصیل در سال سوم آموزش متوسطه برای شرکت در آزمون مرحله اول المپیاد فیزیک به باشگاه معرفی شوند. تنها شرط برای معرفی، گذراندن واحدهای مشخصی از دروس ریاضی و فیزیک سالهای اول و دوم و سوم دبیرستان و داشتن معدل حداقل ۱۶ در این دروس است. این امتحان در ماههای آخر زمستان برگزار می‌شود. سؤالها چند گزینه‌ای، و یا مسائل کوتاهی هستند که فقط به پاسخ آنها نمره داده می‌شود.

با این امتحان تعدادی دانش‌آموز (کمتر از ۱۰۰۰ نفر) جهت شرکت در آزمون مرحله دوم انتخاب می‌شوند. از پذیرفته‌شدگان مرحله اول دعوت می‌شود که در امتحان مرحله دوم که تشریحی است و در ضمن یک سؤال تجربی ساده نیز دارد شرکت کنند. این امتحان بطور معمول در بهار برگزار می‌شود. با استفاده از نتایج این امتحان و امتحان مرحله اول تعداد حدود چهل نفر دانش‌آموزان برتر ایران در درس فیزیک انتخاب می‌شوند و برای شرکت در اردوی تابستانی از آنها دعوت بعمل می‌آید.

در طی این اردو دانش‌آموزان ضمن شرکت در کلاسهای آموزش نظری و عملی در تعداد بسیاری امتحانهای رقابتی نظری و تجربی شرکت می‌کنند و بکمک نتایج این امتحانها اعضای تیم هفت نفرهٔ فیزیک در پایان اردو مشخص می‌شوند. البته تمامی دانش‌آموزان شرکت کننده در اردو مدالی به یادگار از این اردو می‌گیرند و با خاطرهٔ بیاد ماندنی و دوستانی جدید به دبیرستانهای خود جهت ادامه تلاش و تحصیل بازمی‌گردند.

ولی وضعیت برای اعضای تیم هفت نفره المپیاد کمی متفاوت است. این دانش‌آموزان از اکنون بایستی خود را برای رقابت جهانی آماده کنند. امتحان‌های طولانی مدت نظری و تجربی (گاهی بیش از ۵ ساعت متوالی) انتظار این دوستان را می‌کشد. و آنچه پنج نفر منتخب در تیم اعزامی را تعیین می‌کند نتایج همین امتحانها است. به قول یکی از سرپرستان تیم‌های خارجی در المپیادهای جهانی شاید دلیل موفقیت تیم ایران در سالها اخیر، نحوه گزینش اعضای تیم و تعداد زیاد امتحانهای رقابتی برای این گزینش باشد.

* دکتر کامران وفا عضو هیأت علمی دانشگاه هاروارد است.

## دانش آموزان عزیز تیم المپیاد فیزیک

**موفقیت درخشان شما را در المپیاد فیزیک امسال تبریک می‌گویم. این موفقیت باید به آنهایی که کمترین شکی در مورد استعداد و پشتکار ایرانیان در عرصهٔ علم در سطح بین‌المللی دارند ثابت کرده باشد که در خطا هستند. امیدوارم این پیروزی را به عنوان اولین گام در فراگیری و پیشبرد علم شیرین فیزیک تلقی کنید. ما به کمک همکارانی با همت و استعداد شما نیازمند هستیم.**

**با آرزوی موفقیت شما**

**کامران وفا***

# ایران در المپیادهای جهانی فیزیک

تهیه و تنظیم: محمود بهمن آبادی

در سالهای اخیر تیم المپیاد فیزیک ایران درخشش چشم گیری در مسابقات علمی المپیاد جهانی فیزیک داشته است. ضمن آنکه احتمالاً خوانندگان عزیز از رتبه‌های تیمی و مدالهای بدست آمده از طریق جراید آگاه شده‌اند در زیر نتایج تیم ایران در دو سال گذشته با جزئیات بیشتری آورده می‌شود:

طبق روال معمول در المپیاد جهانی فیزیک دانش‌آموزان باید در دو آزمون تجربی و نظری شرکت کنند. این دو آزمون در دو روز مجزا برگزار می‌شود. تعداد سؤالها در آزمون نظری سه سؤال و در آزمون تجربی دو سؤال است. هر سؤال ۱۰ امتیاز دارد و در نتیجه آزمون نظری ۳۰ امتیاز و تجربی ۲۰ امتیاز از ۵۰ امتیاز کل مسابقه را بخود اختصاص می‌دهند. هر تیم از ۵ دانش‌آموز تشکیل می‌شود و در نتیجه بیشترین امتیاز تیمی ممکن ۲۵۰ است.

(جای نتایج تیم ایران)

مقایسه این نتایج نشان میدهد که، ضمن کاهش متوسط نمرهٔ تجربی و افزایش متوسط نمرهٔ نظری، نمرهٔ نهایی تیم و همچنین تعداد مدالهای تیم طی این دو سال تغییر نکرده است. اما آنچیزی که نتایج المپیاد امسال را برجسته‌تر می‌کند، موفقیت آقای سیدمهدی انوری در هر دو امتحان نظری و تجربی و کسب نتایج خوب در هر دو امتحان است. با این نمرات ایشان موفق به کسب رتبه اول جهان در این مسابقه شدند. در سالهای گذشته دانش‌آموزانی در تیم ایران بوده‌اند که نتایج بهتری نسبت به ایشان در امتحان تجربی و یا نظری داشته‌اند ولی موفقیت در هر دو امتحان لازمهٔ پیروزی مطلق است.

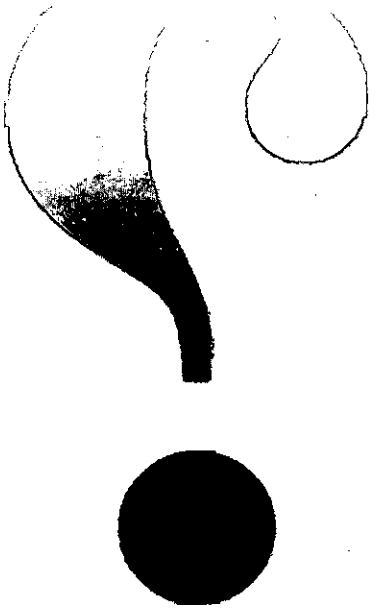
المپیاد جهانی فیزیک، ۱۳۷۵، نروژ

| نام | نظری | تجربی | نمره کل | مدال |
|---|---|---|---|---|
| سینا ولدخان | ۲۴/۵ | ۱۷/۵ | ۴۲ | طلا |
| نیایش افشردی | ۳۰ | ۱۰/۵ | ۴۰/۵ | نقره |
| فرزین حبیب‌بیگی | ۲۲/۵ | ۱۵/۵ | ۳۸ | نقره |
| کاوه خجسته لاکلایه | ۲۰/۵ | ۱۷/۵ | ۳۸ | نقره |
| علی فرهنگ‌مهر | ۲۱ | ۱۵ | ۳۶ | نقره |
| جمع تیمی | ۱۱۸/۵ | ۷۶ | ۱۹۴/۵ | رتبه چهارم جهان مشترکاً با تیم ویتنام |

المپیاد جهانی فیزیک، ۱۳۷۶، کانادا

| نام | نظری | تجربی | نمره کل | مدال |
|---|---|---|---|---|
| سیدمهدی انوری | ۲۹/۷۵ | ۱۷/۵ | ۴۷/۲۵ | طلا* |
| فرزاد پرورش | ۲۳/۵ | ۱۶ | ۳۹/۵ | نقره |
| سیدمهدی فاضلی | ۲۷/۵ | ۹ | ۳۶/۵ | نقره |
| رضا سالم | ۲۵ | ۱۱ | ۳۶ | نقره |
| محمد صدیقی | ۲۰/۷۵ | ۱۴ | ۳۴/۷۵ | نقره |
| جمع تیمی | ۱۲۶/۵ | ۶۷/۵ | ۱۹۴/۵ | رتبه سوم جهان |

* آقای سیدمهدی انوری با این امتیاز نفر اول جهان در سال ۱۳۷۶ شدند.



# آشنایی با انجمن بین المللی ارزیابی موفقیت تحصیلی (IEA)

# و سومین مطالعه بین المللی ریاضیات و علوم (TIMSS)

احمد احمدی

قسمت دوم

ابعاد سه‌گانه چارچوبهای برنامه درسی TIMSS عبارت‌اند از:

*محتوا*، *انتظار عملکردی* و *دیدگاهها*. در چارچوب علوم مقوله‌های اصلی در جدول‌های زیر آمده‌اند.

**بعد محتوا**

علوم زمینی
علوم زیستی
فیزیک
علوم، تکنولوژی و ریاضیات
تاریخ علم و تکنولوژی
محیط و منابع طبیعی
ماهیت علوم
علوم و رشته‌های دیگر

**بعد انتظارات عملکردی**

فهمیدن
ساختن نظریه، تجزیه و تحلیل و حل مسأله
به‌کارگیری ابزارها، روشهای عادی و فرآیندهای علمی
تحقیق دربارهٔ طبیعت
برقراری ارتباط

**بعد دیدگاهها**

نگرشها
مشاغل
مشارکت
افزایش علاقه
ایمنی
عادات ذهن

**از ۱۳۵ سؤال آزمون علوم**

۱۶ درصد زمین‌شناسی، ۳۰ درصد زیست‌شناسی، ۳۰ درصد فیزیک (۲۸ سؤال چندگزینه‌ای، ۹ سؤال کوتاه پاسخ و ۳ سؤال پاسخ باز) ۱۴ درصد شیمی و ۱۰ درصد محیط و مفاهیم دیگر مورد سنجش قرار گرفت.

**مقایسهٔ حجم مطالب** (اطلاعات عمومی در مورد آموزش کشورهای شرکت‌کننده در مطالعه):

مقایسهٔ حجم مطالب ارائه شده در پایه‌های مختلف تحصیلی در کشورهای شرکت‌کننده نشان می‌دهد که کشورهای فرانسه، استرالیا و ایران موضوعهای درسی علوم را با افزایش پایه‌های تحصیلی (از آغاز ابتدایی تا پایان دبیرستان) افزایش می‌دهند. به عبارت دیگر حجم مطالب در پایه‌های تحصیلی، رشد کاملاً فزاینده دارد. برخی از کشورها مبحث‌های علوم را برای کتابهای درسی پایه‌های اولیهٔ دوره ابتدایی برنامه‌ریزی نکرده‌اند. از جمله می‌توان کشورهای: آرژانتین (۲ پایه)، بلژیک (۴ پایه)، بلغارستان (پایه اول) چک (۲ پایه)، ژاپن (۲ پایه اول)، فیلیپین (۲ پایه اول)، رومانی (پایه اول) فدراسیون روسیه (پایه اول) و سنگاپور (۲ پایه اول) نام برد.

در برخی دیگر از کشورهای شرکت‌کننده در مطالعه برای سالهای آخر دوره دبیرستان مطالب کمتری در زمینه علوم برنامه‌ریزی و ارائه می‌شود. کشورهایی که از این راهبرد به طور چشمگیری پیروی می‌کنند می‌توان به کشورهای: بلغارستان، کانادا، جمهوری خلق چین، جمهوری چک، آلمان، یونان، کره، نیوزیلند، نروژ، پرتغال، اسلواک، سوئد و ایالات متحده اشاره کرد. این کشورها در واقع بار آموزشی را برای دانش‌آموزان در آستانه ورود به آموزش عالی کاهش می‌دهند

**نتایج آزمون علوم**

در نمودار شماره یک و دو متوسط عملکرد دانش‌آموزان کشورهای مختلف در هر دو پایه (دوم راهنمایی و سوم راهنمایی) با یکدیگر مقایسه شده است. در این

نمودار تفاوتهای معنی‌دار بین کشور با علامت «فلش» مشخص شده است. علامت ↑ یعنی عملکرد کشور مندرج در سطح از عملکرد کشور مندرج در ستون بیشتر است. علامت ↓ یعنی عملکرد کشور مندرج در سطر از عملکرد کشور مندرج در ستون کمتر است. علامت ○ یعنی تفاوت دو کشور معنی‌دار نیست.

(جداول ۱ و ۲) صفحات ۵۴-۵۷

متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان به مجموعه سؤالهای علوم برای ۸ کشور بالای جدول رتبه‌بندی و ۸ کشور پایین آن به تفکیک پایه و جنس همراه با خطای معیار اندازه‌گیری در جدول زیر آمده است. در پایه پایین بیشترین درصدها به ترتیب مربوط به دانش‌آموزان کشورهای: کره‌جنوبی، سنگاپور، ژاپن، جمهوری چک، اسلوانیا، بلغارستان، هلند و بلژیک بخش آلمانی زبان- و کمترین درصدها به ترتیب نزولی توسط دانش‌آموزان کشورهای: دانمارک، ایران، لتونی، پرتغال، قبرس، لیتوانی، کلمبیا و آفریقای جنوبی کسب شده است.

جدول ۳، صفحه ۵۸

متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان پایه بالا در آزمون علوم برای هشت کشور بالا و پایین جدول را نیز می‌توانید از جدول بالا به دست آورید.

در نمودار ۴ متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان ایرانی پایه دوم و سوم و کشورهای شرکت‌کننده در پایه پایین و بالا با توجه به محتوای آزمون علوم آمده است.

نمودار ۴، صفحه ۵۸

### «عملکردهای مورد انتظار»

عملکردهای مورد انتظار به رفتاری گفته می‌شود که در انجام یا پاسخگویی به یک سؤال از دانش‌آموز انتظار می‌رود. مثلاً فهمیدن اطلاعات پیچیده، به کارگیری اصول علمی برای حل مسایل کمی، انجام آزمایش معمولی و یا طراحی تحقیق ... هر یک از سؤالهای آزمون علوم عملکرد مورد انتظار خاصی را اندازه‌گیری می‌کنند. درصد پاسخ صحیح دانش‌آموزان به سؤالهای مربوط به هر عملکرد مورد انتظار به صورت مستقل محاسبه و سپس متوسط درصد پاسخهای صحیح هر سطح از سطوح مختلف عملکردها مورد انتظار محاسبه گردیده است.

در جدول ۵ ضریب دشواری سؤالهای آزمون علوم با توجه به سطح عملکرد دانش‌آموزان دورهٔ راهنمایی آمده است.

جدول ۵، صفحه ۵۹

### «محتوای سؤالهای فیزیک»

در این مجموعه مفاهیم مربوط به مبحثهای انرژی و فرآیندهای فیزیکی، تبدیلهای فیزیکی، نیروها و حرکت ماده و ساختمان آنان سنجیده شده است. این مفاهیم به وسیلهٔ ۴۰ سؤال اندازه‌گیری شده است. متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان پایه پایین کشورهای شرکت‌کننده به این مجموعه ۵۰ درصد با خطای معیار ۰/۱ و دانش‌آموزان پایه بالا ۵۵ درصد با خطای معیار ۰/۱ محاسبه شده است. متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان ایرانی در پایه پایین (دوم راهنمایی) ۴۰/۸ درصد (با خطای معیار ۰/۷) و پایه بالا (سوم راهنمایی) ۴۸ درصد (با خطای معیار ۰/۷) است، دانش‌آموزان پسر ایرانی در پایهٔ پایین به طور متوسط ۴۳/۳ درصد (با خطای معیار ۰/۹) و دانش‌آموزان دختر همین پایه ۳۷/۵ درصد (با خطای معیار ۱) از سؤالها را صحیح پاسخ داده‌اند. در پایه بالا متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان پسر ۵۱ درصد (با خطا معیار ۱) و دانش‌آموزان دختر ۴۴/۴ درصد (با خطای معیار ۰/۸) گزارش شده است. متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان به آزمون فیزیک برای ۸ کشور بالای جدول رتبه‌بندی و ۸ کشور پایین جدول، به تفکیک پایه و جنس و نیز همراه با خطای معیار اندازه‌گیری در جدول زیر آمده است.

جدول ۶، صفحه ۶۰

به طور کلی درصد پاسخهای صحیح پسران پایه پایین به سؤالهای آزمون فیزیک در ۴ کشور بالاتر از ۶۰ درصد، در ۲۴ کشور بین ۵۰ تا ۶۰ درصد و در ۱۱ کشور پایین‌تر از ۵۰ درصد است و درصد پاسخهای صحیح پسران پایه بالا در ۱۹ کشور بالاتر از ۶۰ درصد، در ۱۸ کشور بین ۵۰ تا ۶۰ و در ۴ کشور پایین‌تر از ۵۰ درصد گزارش شده است.

عملکرد مورد انتظار از دانش‌آموزان در آزمون فیزیک با ۴۰ سؤال در چهار سطح «فهمیدن»، «ساختن نظریه، تجزیه و تحلیل و حل مسأله»، «به کارگیری ابزارها، روشهای عادی و فرآیندهای علمی» و «تحقیق دربارهٔ طبیعت» اندازه‌گیری شده است. جدول ۷ عملکرد دانش‌آموزان را در این چهار سطح نشان می‌دهد.

جدول ۷، صفحه ۶۰

از مقایسه اطلاعات گردآوری شده در ارتباط با

مجموعه سؤالهای فیزیک می‌توان نتیجه گرفت:

۱ـ رتبه کشورها در مجموعه فیزیک ثابت بوده و حداکثر در مواردی تا چهار رتبه جابه‌جایی اتفاق افتاده است.

۲ـ ردیفهای اول جدول رتبه‌بندی را سه کشور سنگاپور، ژاپن و کره‌جنوبی تکمیل کرده‌اند و ردیف‌های آخر آن اختصاص به کشورهای کلمبیا و آفریقای جنوبی دارد.

۳ـ در تمام موارد متوسط عملکرد دانش‌آموزان پایه بالا از متوسط عملکرد دانش‌آموزان پایه پایین بیشتر است.

۴ـ در بیشتر کشورها متوسط عملکرد دانش آموزان پسر از متوسط عملکرد دانش آموزان دختر بیشتر بوده است.

۵ـ در پایه پایین متوسط عملکرد دانش‌آموزان ۱۰ کشور در مجموعه سؤالهای فیزیک از متوسط عملکرد دانش‌آموزان این کشورها در کل آزمون بیشتر، در ۹ کشور کمتر و در ۲۰ کشور تقریباً مساوی است. ایران از جمله کشورهایی است که عملکرد دانش‌آموزان پایه دوم دورهٔ راهنمایی در آزمون فیزیک تقریباً مساوی با عملکرد آنان در کل آزمون علوم گزارش شده است.

۶ـ در پایه بالا متوسط عملکرد دانش‌آموزان ۷ کشور در مجموعه سؤالهای فیزیک از متوسط عملکرد دانش‌آموزان این کشورها در کل آزمون بیشتر، در ۹ کشور کمتر و در ۲۵ کشور تقریباً مساوی است. عملکرد دانش‌آموزان ایرانی پایه سوم راهنمایی در آزمون فیزیک بیشتر از عملکرد آنان در کل آزمون علوم است.

۷ـ قانون افزایش درصد عملکرد به موازات افزایش پایه و کاهش آن بر اثر افزایش پیچیدگی سطح عملکرد مورد انتظار برای شرکت‌کنندگان در آزمون مجموعه فیزیک صادق است.

۸ـ آموخته‌های دانش آموزان ایرانی دست کم یکسال آموزشی با آموخته‌های کشورهای شرکت‌کننده در آزمون تفاوت دارد. به عبارت دیگر متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان ایرانی پایه بالا در این مجموعه ۴۸ درصد و برای دانش‌آموزان پایه پایین کشورهای شرکت‌کننده ۵۰ درصد است.

۹ـ بازده جریان رشد یاددهی-یادگیری دانش‌آموزان ایرانی بیشتر از دانش‌آموزان کشورهای شرکت‌کننده در آزمون است. به این معنی که افزایش درصد پاسخهای صحیح از پایه پایین به پایه بالا برای ایران ۶/۳ و برای کشورهای شرکت‌کننده ۵ درصد است.

**«نمونه سؤالهای مجموعه فیزیک»**

P۲ـ اگر چراغ قوه‌ای را نزدیک دیوار نگه‌داریم یک دایره کوچک روشن روی دیوار تشکیل می‌شود و اگر آن را دور نگه‌داریم یک دایره بزرگ. آیا اگر چراغ‌قوه دور از دیوار باشد نور بیشتری به دیوار می‌رسد؟

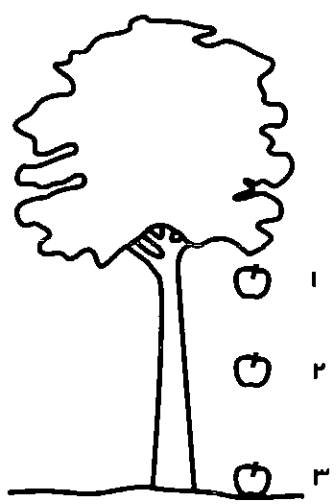
آری...

نه...

پاسخ خود را توضیح دهید.

محتوای سؤال-مفهوم «نور» که یکی از زیرمبحثهای انرژی و فرآیند فیزیکی» را در سطح «ساختن نظریه، تجزیه و تحلیل و حل مسأله» از طریق «به کارگیری اصول علمی برای غنی‌تر ساختن توضیحات» اندازه‌گیری می‌کند. جدول زیر راهنمای کدگذاری پاسخهای سؤال P2 و درصد پاسخهای هر پایه را نشان می‌دهد. (در ایران) جدول۸، صفحه۶۱

K۱۷ـ این شکل یک سیب را که از درخت به زمین می‌افتد نشان می‌دهد. در کدامیک از سه موقعیت نیروی جاذبه بر سیب تأثیر می‌گذارد.




الف- فقط ۲ ب- ۱ و ۲

ج- ۱ و ۳ د- ۱ و ۲ و ۳ (*)

محتوای سؤال مفهوم «انواع نیرو» که یکی از موضوعهای مبحث «نیروها و حرکت» است را در سطح

«فهمیدن اطلاعات ساده» اندازه‌گیری می‌کند.

متوسط پاسخهای صحیح دانش‌آموزان ایرانی پایه دوم ۵۰/۹ و پایه سوم ۵۰/۸ درصد محاسبه شده است. میانگین درصد پاسخ صحیح در سطح کشورهای شرکت‌کننده برای پایه پایین ۴۹/۲ درصد و برای پایه بالا ۵۴/۶ درصد گزارش شده است.

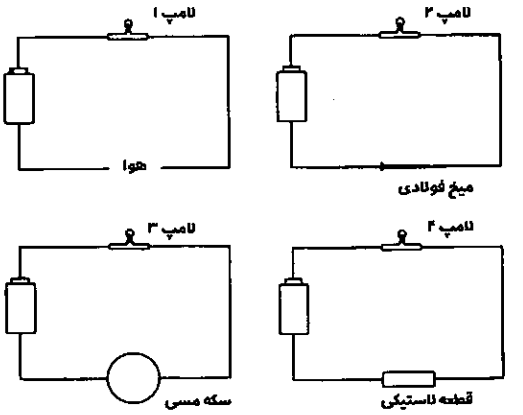
K۱۳ ـ شکلهای زیر یک باتری چراغ‌قوه و یک لامپ را نشان می‌دهد که با یک تکه سیم به یک شی دیگر وصل شده‌اند.

کدام یکی از لامپها روشن می‌شوند.

الف ـ لامپ ۱ و ۲ ب ـ لامپ ۲ و ۳ (*)

ج ـ لامپ ۳ و ۴ د ـ لامپ ۱ و ۲ و ۳

هـ ـ لامپ ۲ و ۳ و ۴




محتوای سؤال مفهوم «الکتریسیته» که از زیرمجموعه‌های «انرژی و فرآیندهای فیزیکی» است را اندازه‌گیری می‌کند. متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان ایرانی پایه دوم ۵۹ درصد و پایه سوم ۵۹/۱ درصد محاسبه شده است. میانگین پاسخ‌های صحیح در سطح کشورهای شرکت‌کننده برای پایه پایین ۶۶/۸ و پایه بالا ۷۰/۳ درصد گزارش شده است.

L۴: ماشین A و ماشین B برای تمیز کردن یک مزرعه به کار گرفته شده‌اند. جدول زیر مساحت زمینی را که هر یک از این ماشینها می‌تواند در یک ساعت تمیز کند و مقدار بنزینی را که هر یک از آنها مصرف می‌کند نشان می‌دهد.

جدول L۴

| | مساحت زمین تمیز شده در یک ساعت | بنزین مصرف شده در یک ساعت |
|---|---|---|
| ماشین A | ۲ هکتار | $\frac{۲}{۳}$ لیتر |
| ماشین B | ۱ هکتار | $\frac{۱}{۲}$ لیتر |

کدام ماشین در تبدیل بنزین به کار با صرفه‌تر است؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

سؤال مربوط به «انواع انرژی، منابع و تغییرات انرژی» است.

(درصد پاسخها متأسفانه در دست نبوده است)

L۷: سرنشینان دو قایق روی آب می‌توانند با فریاد کشیدن با یکدیگر صحبت کنند. چرا سرنشینان دو سفینه در فضا با همان فاصله نمی‌توانند با فریاد کشیدن با هم صحبت کنند؟

الف. صدا در فضا بیشتر منعکس می‌شود.

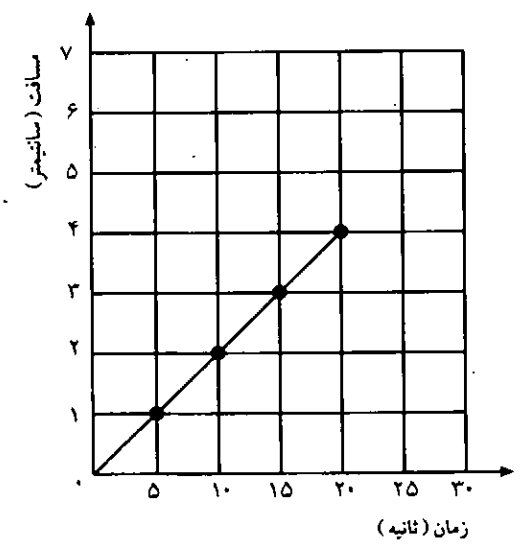
ب. فشار هوا در داخل سفینه بسیار زیاد است.

ج. سفینه در فضا سریعتر از صدا حرکت می‌کند.

د. در فضا هوایی وجود ندارد که صدا از آن طریق منتقل شود (*)

سؤال مفهوم «صدا و ارتعاش و محیط انتشار» آنها را می‌سنجد. درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان ایرانی پایه دوم ۶۲/۱ درصد و پایه سوم ۶۴/۶ درصد محاسبه شده است. میانگین درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان کشورهای شرکت‌کننده برای پایه پایین ۶۶/۸ درصد و برای پایه بالا ۷۰/۳ درصد گزارش شده است.

P۱ ـ نمودار زیر مقدار مسافتی را نشان می‌دهد که یک مورچه روی یک خط مستقیم طی کرده است.



اگر این مورچه حرکت خود را به همین ترتیب ادامه دهد بعد از ۳۰ ثانیه چقدر راه رفته است؟

الف. ۵ سانتی‌متر  ب. ۶ سانتی‌متر (*)

ج. ۲۰ سانتی‌متر  د. ۳۰ سانتی‌متر

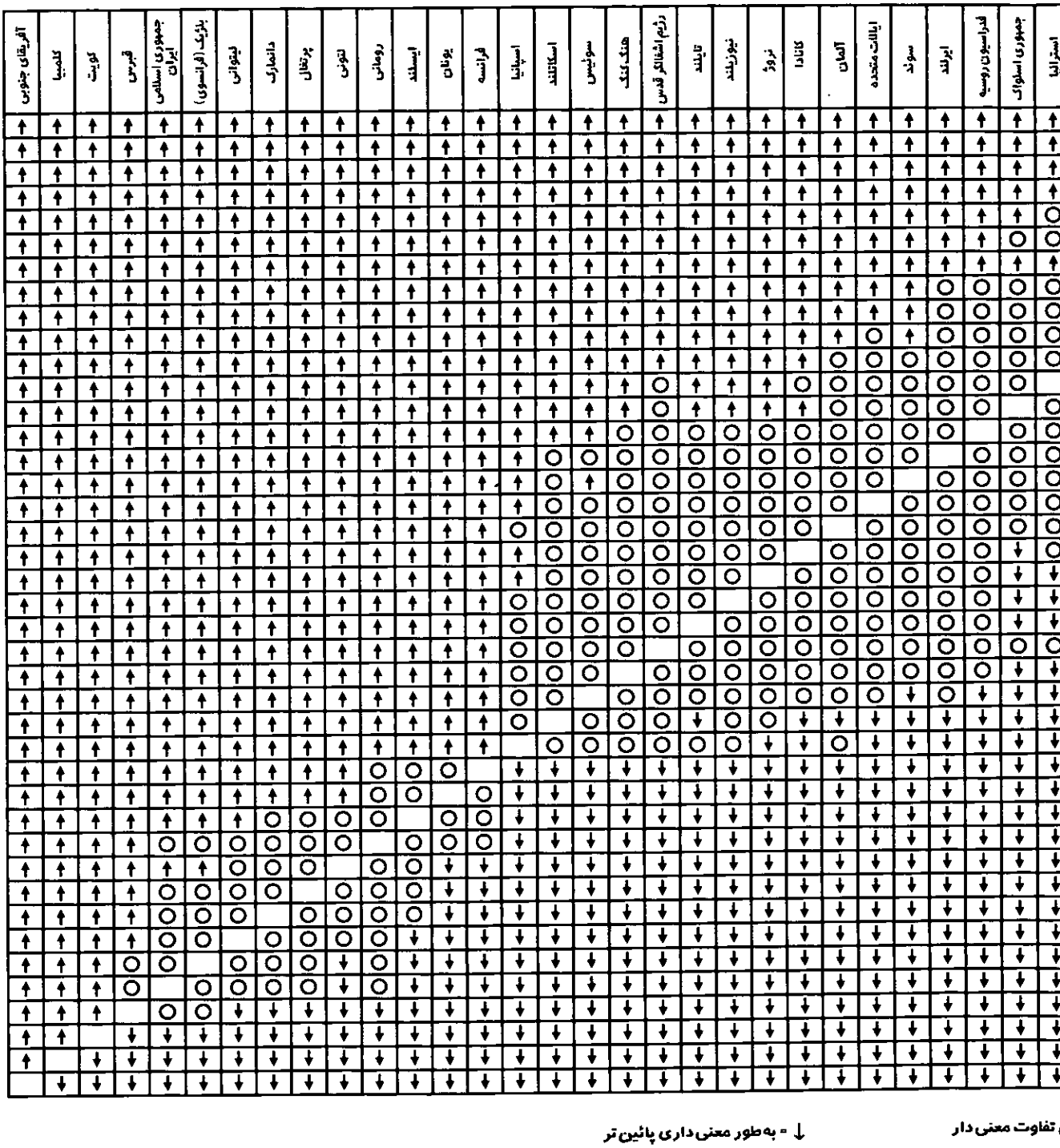
سؤال، مفهوم «زمان، فضا و حرکت» در زیرمجموعه «نیرو و حرکت» را در سطح «به کارگیری ابزارها، روشهای عادی و فرآیندهای علمی» از طریق «تفسیر اطلاعات» اندازه‌گیری می‌کند.

میانگین پاسخ دانش‌آموزان ایرانی پایه دوم ۴۷/۳ درصد و پایه سوم ۶۴/۸ درصد محاسبه شده است. میانگین درصد پاسخ دانش‌آموزان کشورهای شرکت‌کننده در آزمون برای پایه پایین ۷۸ درصد و برای پایه بالا ۸۲/۵ درصد گزارش شده است.

| کشورها | سنگاپور | جمهوری چک | ژاپن | کرهٔ جنوبی | بلغارستان | هلند | اسلوانی | اطریش | مجارستان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱. سنگاپور | | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۲. جمهوری چک | ↓ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ |
| ۳. ژاپن | ↓ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۴. کرهٔ جنوبی | ↓ | ○ | ↓ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ |
| ۵. بلغارستان | ↓ | ○ | ↓ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ۷. هلند | ↓ | ○ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ |
| ۷. اسلونی | ↓ | ○ | ↓ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ |
| ۸. اطریش | ↓ | ○ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ |
| ۹. مجارستان | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| ۱۰. انگلستان | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ۱۱. بلژیک (آلمانی زبان) | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ۱۲. استرالیا | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ↓ | ○ | ○ |
| ۱۳. جمهوری اسلواک | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ↓ | ○ | ○ |
| ۱۴. فدراسیون روسیه | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ |
| ۱۵. ایرلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ |
| ۱۷. سوئد | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۱۷. ایالات متحده | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۱۸. آلمان | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۱۹. کانادا | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۰. نروژ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۱. نیوزیلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۲. تایلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۳. رژیم اشغالگر قدس | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۴. هنگ کنگ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۵. سوئیس | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۶. اسکاتلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۷. اسپانیا | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۸. فرانسه | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۹. یونان | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۰. ایسلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۱. رومانی | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۲. لتونی | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۳. پرتغال | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۴. دانمارک | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۵. لیتوانی | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۶. بلژیک (فرانسوی) | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۷. جمهوری اسلامی ایران | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۸. قبرس | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۹. کویت | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۴۰. کلمبیا | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۴۱. آفریقای جنوبی | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |

↑ = به طور معنی داری بالاتر

## جدول شمارهٔ ۱ـ مقایسه‌های چندگانهٔ پیشرفت در آزمون علوم پایهٔ سوم راهنمایی



## جدول شمارهٔ ۲ ـ مقایسه های چندگانهٔ پیشرفت در آزمون علوم پایهٔ دوم راهنمایی

| کشورها | سنگاپور | کرهٔ جنوبی | جمهوری چک | ژاپن | بلغارستان | اسلوئی | بلژیک (آلمانی) | اطریش | مجارستان | هلند | انگلستان | جمهوری اسلواک | ایالات متحده | استرالیا | آلمان | کانادا |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ـ سنگاپور | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۲ـ کرهٔ جنوبی | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۳ـ جمهوری چک | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۴ـ ژاپن | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۵ـ بلغارستان | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۶ـ اسلوئی | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۷ـ بلژیک (آلمانی زبان) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ۸ـ اطریش | ↓ | ↓ | ○ | ↓ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ |
| ۹ـ مجارستان | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ |
| ۱۰ـ هلند | ↓ | ↓ | ○ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ |
| ۱۱ـ انگلستان | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ۱۲ـ جمهوری اسلواک | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ۱۳ـ ایالات متحده | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ |
| ۱۴ـ استرالیا | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ |
| ۱۵ـ آلمان | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ |
| ۱۶ـ کانادا | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| ۱۷ـ هنگ کنگ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ۱۸ـ ایرلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ۱۹ـ تایلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ۲۰ـ سوئد | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ |
| ۲۱ـ فدراسیون روسیه | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ |
| ۲۲ـ سوئیس | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۳ـ نروژ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۴ـ نیوزیلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۵ـ اسپانیا | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۶ـ اسکاتلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۷ـ ایسلند | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۸ـ رومانی | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۲۹ـ فرانسه | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۰ـ یونان | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۱ـ بلژیک (فرانسوی) | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۲ـ دانمارک | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۳ـ جمهوری اسلامی ایران | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۴ـ لتونی | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۵ـ پرتغال | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۶ـ قبرس | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۷ـ لیتوانی | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۸ـ کلمبیا | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |
| ۳۹ـ آفریقای جنوبی | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ |

↑ = به‌طور معنی‌داری بالاتر ○ = بدون تفاوت معنی‌دار

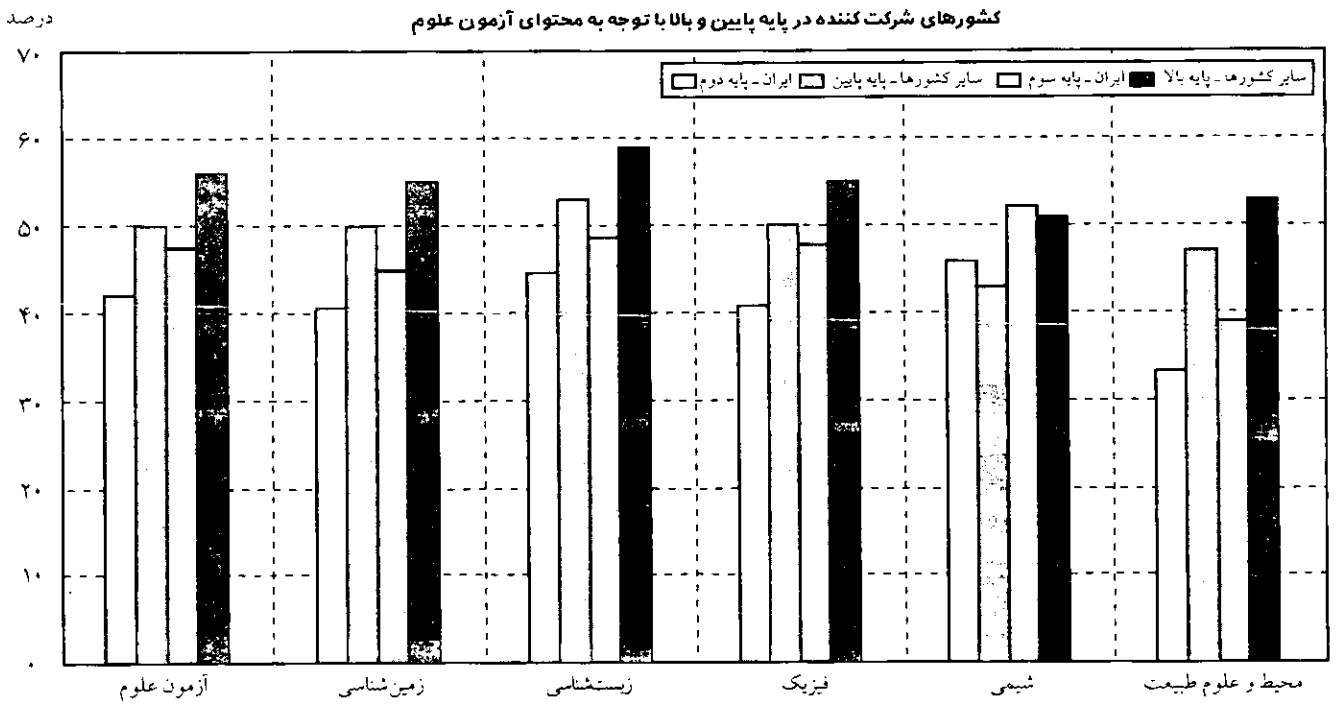
| تایلند | سوئد | فدراسیون روسیه | سوئیس | نروژ | نیوزیلند | اسپانیا | اسکاتلند | ایسلند | رومانی | فرانسه | یونان | بلژیک (فرانسوی) | دانمارک | جمهوری اسلامی ایران | لتونی | پرتقال | قبرس | لیتوانی | کلمبیا | آفریقای جنوبی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ○ | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ○ | ○ | | ↑ |
| ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | ↓ | |

معنی داری پائین تر

## جدول شماره ۳: رتبه‌بندی کشورهای شرکت‌کننده در آزمون علوم به تفکیک پایه و جنس بر حسب متوسط درصد پاسخهای صحیح در مجموعه سؤالهای علوم

| | پایه پایین (پایه دوم راهنمایی) | | | | | | | | پایه بالا (پایه سوم راهنمایی) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | هر دو جنس | | پسر | | | دختر | | | هر دو جنس | | پسر | | | دختر | | |
| رتبه | کشور | متوسط | خطا | کشور | متوسط | خطا | کشور | متوسط | خطا | کشور | متوسط | خطا | کشور | متوسط | خطا | کشور | متوسط | خطا |
| ۱ | کره جنوبی | ۶۱/۴ | ۰/۴ | کره جنوبی | ۶۳/۰ | ۰/۵ | سنگاپور | ۶۰/۸ | ۱/۵ | سنگاپور | ۶۹/۶ | ۱ | سنگاپور | ۷۰/۶ | ۱/۲ | سنگاپور | ۶۸/۶ | ۱/۱ |
| ۲ | سنگاپور | ۶۱/۴ | ۱/۲ | سنگاپور | ۶۲/۱ | ۱/۴ | کره جنوبی | ۵۸/۸ | ۰/۶ | کره جنوبی | ۶۵/۵ | ۰/۳ | کره جنوبی | ۶۷/۲ | ۰/۵ | ژاپن | ۶۳/۸ | ۰/۴ |
| ۳ | ژاپن | ۵۹/۲ | ۰/۳ | جمهوری چک | ۶/۳ | ۰/۷ | ژاپن | ۵۸/۲ | ۰/۳ | ژاپن | ۶۵/۳ | ۰/۳ | جمهوری چک | ۶۶/۹ | ۰/۸ | کره جنوبی | ۶۳/۵ | ۰/۵ |
| ۴ | جمهوری چک | ۵۸/۱ | ۰/۸ | ژاپن | ۶۰/۲ | ۰/۴ | بلغارستان | ۵۷/۱ | ۱/۲ | جمهوری چک | ۶۴/۱ | ۰/۸ | ژاپن | ۶۶/۷ | ۰/۵ | بلغارستان | ۶۲/۲ | ۱/۱ |
| ۵ | اسلوانیا | ۵۷/۳ | ۰/۵ | بلژیک | ۵۸/۹ | ۰/۷ | جمهوری چک | ۵۶/۱ | ۰/۹ | هلند | ۶۲/۳ | ۱ | هلند | ۶۱/۳ | ۱/۲ | جمهوری چک | ۶۱/۲ | ۱/۱ |
| ۶ | بلغارستان | ۵۶/۴ | ۱ | اسلوانیا | ۵۸/۶ | ۰/۶ | اسلوانیا | ۵۶ | ۰/۶ | جمهوری اسلواک | ۶۱/۷ | ۰/۵ | اسلوانیا | ۶۴ | ۰/۶ | هلند | ۶۰/۳ | ۱/۱ |
| ۷ | هلند | ۵۵/۹ | ۰/۷ | انگلستان | ۵۷/۳ | ۱ | بلژیک | ۵۵/۳ | ۰/۷ | بلغارستان | ۶۱/۷ | ۱ | اطریش | ۶۳/۲ | ۰/۷ | انگلستان | ۵۹/۸ | ۰/۷ |
| ۸ | بلژیک | ۵۷ | ۰/۵ | مجارستان | ۵۷ | ۰/۸ | هلند | ۵۴/۸ | ۰/۸ | اطریش | ۶۱/۵ | ۰/۷ | مجارستان | ۶۲/۴ | ۱/۷ | اطریش | ۵۹/۸ | ۱/۵ |
| ۳۲ | دانمارک | ۴۲/۱ | ۰/۴ | یونان | ۴۵/۱ | ۰/۷ | دانمارک | ۴۲/۱ | ۰/۶ | | | | | | | | | |
| ۳۳ | ایران | ۴۱/۹ | ۰/۶ | پرتغال | ۴۳/۴ | ۰/۵ | لیتونی | ۴۰/۲ | ۰/۶ | | | | | | | | | |
| ۳۴ | لیتونی | ۴۱/۷ | ۰/۵ | ایران | ۴۳/۴ | ۰/۷ | ایران | ۴۰ | ۰/۹ | پرتغال | ۴۹/۹ | ۱ | بلژیک | ۵۱/۷ | ۱ | لیتونی | ۴۸/۳ | ۰/۶ |
| ۳۵ | پرتغال | ۴۱/۳ | ۰/۵ | لیتونی | ۴۳/۱ | ۰/۷ | قبرس | ۳۹/۹ | ۰/۵ | رومانی | ۴۹/۸ | ۰/۸ | لیتوانی | ۵۱/۲ | ۰/۸ | دانمارک | ۴۷/۹ | ۰/۸ |
| ۳۶ | قبرس | ۴۰ | ۰/۴ | قبرس | ۴۰ | ۰/۶ | پرتغال | ۳۹/۲ | ۰/۵ | لیتوانی | ۴۸/۹ | ۰/۷ | رومانی | ۵۰/۶ | ۰/۹ | پرتغال | ۴۷/۵ | ۰/۶ |
| ۳۷ | لیتوانی | ۳۷/۵ | ۰/۷ | لیتوانی | ۳۸ | ۰/۷ | لیتوانی | ۳۷/۱ | ۰/۸ | ایران | ۴۷/۴ | ۰/۶ | ایران | ۴۹/۳ | ۰/۸ | لیتوانی | ۴۷/۱ | ۰/۸ |
| ۳۸ | کلمبیا | ۳۵ | ۰/۷ | کلمبیا | ۳۷/۱ | ۰/۹ | کلمبیا | ۳۲/۸ | ۰/۸ | قبرس | ۴۶/۶ | ۰/۴ | قبرس | ۴۶/۴ | ۰/۴ | کویت | ۴۶/۷ | ۰/۷ |
| ۳۹ | آفریقای جنوبی | ۲۵/۵ | ۱ | آفریقای جنوبی | ۲۶/۶ | ۱/۳ | آفریقای جنوبی | ۲۴/۸ | ۰/۹ | کویت | ۴۲/۷ | ۰/۹ | کلمبیا | ۴۰/۳ | ۱/۴ | ایران | ۴۵ | ۰/۸ |
| ۴۰ | | | | | | | | | | کلمبیا | ۳۸/۷ | ۰/۸ | کویت | ۳۸/۹ | ۱/۱ | کلمبیا | ۳۷/۱ | ۰/۸ |
| ۴۱ | | | | | | | | | | آفریقای جنوبی | ۲۶/۷ | ۱/۳ | آفریقای جنوبی | ۲۸/۳ | ۱/۸ | آفریقای جنوبی | ۲۵ | ۱/۲ |

### نمودار شمارهٔ ۴ ـ متوسط درصد پاسخهای صحیح دانش‌آموزان ایرانی پایه دوم و سوم و کشورهای شرکت‌کننده در پایه پایین و بالا با توجه به محتوای آزمون علوم



**جدول شماره ۵: ضریب دشواری سؤالهای آزمون علوم با توجه به سطح عملکرد دانش‌آموزان دوره راهنمایی**

| کد | سطح انتظار عملکرد | تعداد سؤال | عملکرد ایران (درصد) | | عملکرد کشورها (درصد) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | پایه پایین (درصد) | پایه بالا (درصد) | پایه پایین (درصد) | پایه بالا (درصد) |
| ۲۱ | فهمیدن | ۹۴ | ۴۶ | ۵۲ | ۵۴ | ۵۹ |
| ۲۱۱ | اطلاعات ساده | ۵۴ | ۴۹ | ۵۳ | ۵۳ | ۵۸ |
| ۲۱۲ | اطلاعات پیچیده | ۴۰ | ۴۴ | ۴۹ | ۵۳ | ۵۸ |
| ۲۲ | ساختن نظریه، تجزیه و تحلیل و حل مسأله | ۲۸ | ۴۰ | ۴۵ | ۴۷ | ۵۲ |
| ۲۲۱ | خلاصه کردن و استنباط اصول علمی | ۳ | ۳۸ | ۴۳ | ۴۸ | ۵۲ |
| ۲۲۲ | بکارگیری اصول برای حل مسایل کمی | ۶ | ۳۰ | ۳۳ | ۴۲ | ۴۸ |
| ۲۲۳ | بکارگیری اصول علمی برای غنی تر ساختن توضیحات | ۱۷ | ۴۵ | ۵۱ | ۵۰ | ۵۵ |
| ۲۲۴ | ترکیب کردن، تفسیر کردن و بکارگیری | ۱ | ۴۵ | ۵۰ | ۵۰ | ۵۳ |
| ۲۲۵ | تصمیم گیری | ۱ | ۳۰ | ۳۷ | ۳۸ | ۴۴ |
| ۲۳ | بکارگیری ابزارها، روشهای عادی و فرایندهای علمی | ۸ | ۲۸ | ۳۵ | ۴۹ | ۵۸ |
| ۲۳۲ | انجام آزمایشهای معمولی | ۲ | ۳۶ | ۴۹ | ۶۱ | ۶۷ |
| ۲۳۳ | جمع آوری داده ها | ۲ | ۲۱ | ۲۶ | ۴۹ | ۵۶ |
| ۲۳۴ | سازمان بندی و نمایش داده ها | ۱ | ۲۳ | ۲۲ | ۳۴ | ۳۷ |
| ۲۳۵ | تفسیر داده ها | ۳ | ۲۸ | ۳۷ | ۵۶ | ۶۰ |
| ۲۴ | تحقیق درباره طبیعت | ۵ | ۲۰ | ۲۷ | ۳۵ | ۴۱ |
| ۲۴۱ | شناسایی سؤالها برای تحقیق | ۱ | ۲۰ | ۲۹ | ۴۵ | ۵۲ |
| ۲۴۲ | طراحی تحقیق | ۴ | ۲۰ | ۲۷ | ۳۲ | ۳۸ |
| | جمع | ۴۲ | ۴۲ | ۴۷ | ۵۰ | ۵۶ |

## جدول شماره ۶ - رتبه‌بندی کشورهای شرکت کننده در آزمون علوم به تفکیک و پایه و جنس بر حسب متوسط درصد پاسخهای صحیح در مجموعه سؤالهای فیزیک

| | پایه پایین (پایه دوم راهنمایی) | | | | | | | | پایه بالا (پایه سوم راهنمایی) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | هر دو جنس | | | پسر | | | دختر | | هر دو جنس | | | پسر | | | دختر | |
| رتبه | کشور | متوسط درصد | خطای معیار | کشور | متوسط درصد | خطای معیار | کشور | متوسط درصد | خطای معیار | کشور | متوسط درصد | خطای معیار | کشور | متوسط درصد | خطای معیار | کشور | متوسط درصد | خطای معیار |
| ۱ | ژاپن | ۶۳٫۳ | ۰٫۴ | ژاپن | ۶۵ | ۰٫۶ | ژاپن | ۶۱٫۸ | ۰٫۵ | سنگاپور | ۶۸٫۹ | ۰٫۸ | سنگاپور | ۷۰٫۶ | ۱ | سنگاپور | ۶۷٫۲ | ۱ |
| ۲ | سنگاپور | ۶۳٫۳ | ۱ | سنگاپور | ۶۵ | ۱٫۲ | سنگاپور | ۶۱٫۷ | ۱٫۴ | ژاپن | ۶۶٫۶ | ۰٫۳ | ژاپن | ۶۷٫۹ | ۰٫۵ | ژاپن | ۶۵٫۲ | ۰٫۴ |
| ۳ | کره جنوبی | ۶۳ | ۰٫۵ | ژاپن | ۶۴٫۸ | ۰٫۲ | کره جنوبی | ۶۰٫۴ | ۰٫۷ | کره جنوبی | ۶۴٫۶ | ۰٫۵ | جمهوری چک | ۶۷٫۱ | ۰٫۸ | کره جنوبی | ۶۱٫۹ | ۰٫۶ |
| ۴ | بلژیک | ۵۸٫۳ | ۰٫۶ | بلژیک | ۶۰٫۳ | ۰٫۸ | بلغارستان | ۵۷٫۱ | ۱٫۶ | جمهوری چک | ۶۳٫۶ | ۰٫۷ | کره جنوبی | ۶۶٫۸ | ۰٫۷ | بلغارستان | ۶۰ | ۱٫۱ |
| ۵ | جمهوری چک | ۵۷٫۷ | ۰٫۷ | جمهوری چک | ۵۹٫۷ | ۰٫۷ | بلژیک | ۵۶٫۲ | ۰٫۷ | هلند | ۶۲٫۶ | ۰٫۹ | همند | ۶۵٫۲ | ۱٫۲ | جمهوری چک | ۵۹٫۹ | ۰٫۹ |
| ۶ | انگلستان | ۵۷٫۵ | ۰٫۷ | انگلستان | ۵۹٫۵ | ۱ | جمهوری چک | ۵۵٫۶ | ۰٫۹ | اطریش | ۶۱٫۷ | ۰٫۷ | جمهوری اسلواک | ۶۴٫۷ | ۰٫۷ | هلند | ۵۹٫۹ | ۱ |
| ۷ | بلغارستان | ۵۷ | ۱٫۲ | جمهوری اسلواک | ۵۸٫۴ | ۰٫۸ | انگلستان | ۵۵٫۲ | ۰٫۹ | انگلستان | ۶۱٫۶ | ۰٫۶ | اسلوانی | ۶۴٫۲ | ۰٫۷ | انگلستان | ۵۹٫۶ | ۰٫۸ |
| ۸ | جمهوری اسلواک | ۵۵٫۵ | ۰٫۶ | اسلوانی | ۵۷٫۲ | ۰٫۷ | استرالیا | ۵۴٫۲ | ۰٫۸ | جمهوری اسلواک | ۶۱٫۲ | ۰٫۶ | اطریش | ۶۳٫۹ | ۰٫۸ | اطریش | ۵۹٫۵ | ۰٫۹ |
| ۳۲ | رومانی | ۴۳٫۸ | ۰٫۸ | رومانی | ۴۵٫۷ | ۰٫۹ | رومانی | ۴۰ | ۰٫۹ | | | | | | | | | |
| ۳۳ | لیتوانی | ۴۳٫۳ | ۰٫۶ | یونان | ۴۵٫۶ | ۰٫۷ | لیتوانی | ۳۸٫۸ | ۰٫۷ | | | | | | | | | |
| ۳۴ | ایران | ۴۰٫۸ | ۰٫۷ | ایران | ۴۳٫۳ | ۰٫۹ | قبرس | ۳۸٫۳ | ۰٫۶ | لیتوانی | ۵۱٫۳ | ۰٫۷ | بلژیک | ۵۳٫۳ | ۱٫۱ | لیتوانی | ۴۷٫۸ | ۰٫۷ |
| ۳۵ | لیتوانی | ۴۰٫۳ | ۰٫۷ | لیتوانی | ۴۲٫۸ | ۰٫۸ | لیتوانی | ۳۷٫۹ | ۰٫۹ | رومانی | ۴۸٫۵ | ۰٫۸ | پرتغال | ۵۱٫۵ | ۰٫۶ | رومانی | ۴۶٫۴ | ۱ |
| ۳۶ | پرتغال | ۳۹٫۵ | ۰٫۵ | پرتغال | ۴۲٫۵ | ۰٫۶ | ایران | ۳۷٫۵ | ۱ | پرتغال | ۴۸٫۲ | ۰٫۵ | ایران | ۵۱ | ۱ | کرییت | ۴۵٫۹ | ۰٫۷ |
| ۳۷ | قبرس | ۳۹٫۲ | ۰٫۲ | قبرس | ۴۰٫۲ | ۰٫۶ | پرتغال | ۳۶٫۷ | ۰٫۶ | ایران | ۴۸ | ۰٫۷ | رومانی | ۵۰٫۶ | ۰٫۹ | قبرس | ۴۵ | ۰٫۷ |
| ۳۸ | کلمبیا | ۳۴٫۵ | ۰٫۸ | کلمبیا | ۳۷٫۲ | ۱ | کلمبیا | ۳۱٫۷ | ۰٫۹ | قبرس | ۴۵٫۹ | ۰٫۴ | قبرس | ۴۶٫۹ | ۰٫۶ | پرتغال | ۴۴٫۹ | ۰٫۶ |
| ۳۹ | آفریقای جنوبی | ۲۵٫۷ | ۱ | آفریقای جنوبی | ۲۸٫۱ | ۱٫۳ | آفریقای جنوبی | ۲۲ | ۰٫۹ | کرییت | ۴۳٫۱ | ۰٫۷ | کرییت | ۴۰٫۴ | ۱٫۲ | ایران | ۴۴٫۲ | ۰٫۸ |
| ۴۰ | | | | | | | | | | کلمبیا | ۳۷٫۴ | ۰٫۸ | کلمبیا | ۳۹٫۴ | ۱٫۵ | کلمبیا | ۳۵٫۲ | ۰٫۹ |
| ۴۱ | | | | | | | | | | آفریقای جنوبی | ۲۷٫۳ | ۱٫۴ | آفریقای جنوبی | ۲۹٫۳ | ۱٫۹ | آفریقای جنوبی | ۲۵٫۲ | ۱٫۳ |

## جدول شماره ۷- عملکرد دانش‌آموزان در سؤالهای آزمون علوم مجموعه فیزیک با توجه به سطح عملکرد مورد انتظار

| کد | سطح عملکرد مورد انتظار | تعداد سؤال | عملکرد ایران (درصد) | | عملکرد کشورها (درصد) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | پایه پایین | پایه بالا | پایه پایین | پایه بالا |
| ۲۱ | فهمیدن | ۲۵ | ۴۷ | ۵۲ | ۵۷ | ۶۲ |
| ۲۱۱ | اطلاعات ساده | ۱۲ | ۴۷ | ۵۳ | ۵۶ | ۶۰ |
| ۲۱۲ | اطلاعات پیچیده | ۱۱ | ۴۷ | ۵۲ | ۵۸ | ۶۴ |
| ۲۲ | ساختن نظریه، تجزیه و تحلیل و حل مسأله | ۱۳ | ۳۷ | ۴۳ | ۴۳ | ۴۹ |
| ۲۲۲ | بکارگیری اصول برای حل مسایل کمی | ۶ | ۳۰ | ۳۳ | ۴۳ | ۴۸ |
| ۲۲۳ | بکارگیری اصول علمی برای غنی‌تر ساختن توضیحات | ۷ | ۴۳ | ۵۲ | ۴۲ | ۴۹ |
| ۲۳ | به کارگیری ابزارها، روشهای عادی و و فرایندهای علمی | ۱ | ۴۷ | ۶۵ | ۷۸ | ۸۳ |
| ۲۳۲ | انجام آزمایشات معمولی | ۱ | ۴۷ | ۶۵ | ۷۸ | ۸۳ |
| ۲۴ | تحقیق درباره طبیعت | ۱ | ۲۱ | ۲۴ | ۳۳ | ۳۳ |
| ۲۴۲ | طراحی تحقیق | ۱ | ۲۱ | ۲۴ | ۳۳ | ۳۳ |
| ۲ | عملکرد | ۴۰ | ۴۱٫۷ | ۴۸ | ۵ | ۵۵ |
| | خطای معیار اندازه‌گیری | | ۰٫۷ | ۰٫۷ | ۰٫۱ | ۰٫۱ |

جدول۸- راهنمای کدگذاری پاسخهای سؤال P2 و درصد پاسخهای هر پایه

| پاسخ | کد | درصد پاسخها | |
|---|---|---|---|
| **پاسخهای صحیح** | | پایه دوم | پایه سوم |
| نه ـ توضیح مبنی بر اینکه مقدار نوری که به دیوار می‌رسد در هر دو حالت یکسان است. | ۱۰ | ۰ | ۰ |
| نه ـ توضیح مبنی بر اینکه مقدار نوری که به دیوار می‌رسد در هر دو حالت یکسان است ولی در دایره بزرگتر نور بیشتر پخش شده است. | ۱۱ | ۰/۵ | ۰/۱ |
| نه ـ در حالت دایره بزرگتر نور کمتری به دیوار می‌رسد زیرا نور بیشتری در هوا جذب می‌شود. | ۱۲ | ۱ | ۰/۵ |
| سایر پاسخهای صحیح | ۱۹ | ۳۸/۲ | ۳۵/۲ |
| **پاسخهای غلط** | | | |
| بله ـ زیرا نور مساحت بزرگتری را روشن کرده است<br>مثال: زیرا نور مساحت بزرگتری را روشن کرده است. زیرا نور وسعت بیشتری پیدا کرده است. زیرا نور خیلی بیشتر پخش شده است. | ۷۰ | ۱۵/۶ | ۲۰/۶ |
| بله ـ بدون توضیح | ۷۱ | ۷/۸ | ۶/۶ |
| نه ـ در فاصله دورتر نور کمتری ایجاد می‌شود. | ۷۲ | ۲ | ۰/۲ |
| نه ـ بدون توضیح | ۷۳ | ۴/۹ | ۶/۸ |
| سایر پاسخهای غلط | ۷۹ | ۲۶/۲ | ۲۶/۸ |
| **بدون پاسخ** | | | |
| خط خورده/ پاک شده (حتی اگر پاسخ صحیح بوده)، نامفهوم یا غیرخوانا | ۹۰ | ۰/۸ | ۰/۳ |
| سفید | ۹۹ | ۳/۱ | ۰/۲ |

اطلاعیه

# اطلاعیهٔ ششمین گردهمایی دانش‌آموزی فیزیک ایران

۲۶ تا ۲۹ مرداد ۱۳۷۷ ، کرمان

**برگزارکنندگان**

**معاونت آموزش متوسطه وزارت آموزش و پرورش**

**ادارهٔ کل آموزش و پرورش استان کرمان**

**انجمن فیزیک ایران (شاخهٔ دانشجویی)**

ششمین گردهمایی دانش‌آموزی فیزیک ایران با همکاری معاونت آموزش متوسطه وزارت آموزش و پرورش، ادارهٔ کل آموزش و پرورش استان کرمان، و انجمن فیزیک ایران (شاخه دانشجویی) از ۲۶ تا ۲۹ مرداد با اهداف زیر در شهر کرمان برگزار می‌شود:

**الف) تشویق دانش‌آموزان به انجام فعالیتهایی فراتر از برنامه‌های درسی**

**ب) پرورش روحیه تحقیق و مطالعه در زمینه فیزیک**

**ج) تشویق، ترغیب، و ارج نهادن به تحقیقات فردی، و گروهی و معرفی بهترین کارهای ارائه شده**

از دانش‌آموزان مستعد و علاقه‌مند دبیرستانی نظام قدیم و نظام جدید که کاری تجربی در زمینهٔ فیزیک انجام داده‌اند، دعوت می‌شود گزارش کارهای علمی خود را در یکی از سه زمینهٔ زیر:

**- انجام یک کار تجربی ابتکاری**

**- ساخت یک وسیلهٔ فیزیکی**

**- شبیه سازی کامپیوتری پدیده‌های فیزیکی**

با رعایت نکاتی که در پشت این برگه آمده است تهیه و تا ۳۱ فروردین ۱۳۷۷ به کمیتهٔ علمی گردهمایی ارسال کنند. گزارش کارها در کمیتهٔ علمی بررسی و در صورت پذیرفته شدن به صورت شفاهی یا پوستر در گردهمایی ارائه می‌شود. در ضمن نمایشگاهی از وسایل ساخته شده و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری دانش‌آموزان در گردهمایی برپا خواهد شد.

**به برترین کار در هر یک از سه زمینهٔ بالا جایزهٔ «روزبه» اهدا خواهد شد**

☐ شرایط پذیرش:

۱ـ اولویت پذیرش در این گردهمایی با دانش‌آموزانی است که گزارش کارهای علمی آنها در کمیتهٔ علمی پذیرفته شود.

۲ـ انتخاب سایر شرکت‌کنندگان بر عهدهٔ کمیتهٔ علمی خواهد بود. (این شرکت‌کنندگان از بین دانش‌آموزانی که گزارش کار علمی برای گردهمایی ارسال داشته‌اند، انتخاب می‌شوند)

۳ـ دانش‌آموزان پذیرفته شده باید نامه پذیرش کمیته علمی را به همراه پرسشنامه تکمیل شده درخواست شرکت در گردهمایی (که از طرف انجمن فیزیک برای دانش‌آموزان پذیرفته شده ارسال خواهد شد) جهت هماهنگی برای عزیمت به محل برگزاری گردهمایی به اداره آموزش و پرورش منطقه خود ارسال کنند.

# روش نوشتن گزارش کار علمی ششمین گردهمایی دانش‌آموزی فیزیک ایران

**آخرین مهلت ارسال گزارش کار: ۳۱ فروردین ۱۳۷۷**

گزارش کار خود را در کاغذ کلاسور بزرگ یا کاغذ A4 در یک روی کاغذ و حداکثر در ده برگ به صورت یک خط در میان تایپ یا با خط خوانا بنویسید و روی برگ اول مشخصات گزارش کار خود را مطابق قالب زیر مرقوم فرمایید.

نام و نام خانوادگی گزارش دهنده یا گزارش دهندگان کار .....
نشانی و تلفن محل تحصیل .....
عنوان گزارش کار .....
نشانی و تلفن محل اقامت .....
محل انجام کار .....
نام و میزان تحصیلات راهنمای گزارش کار .....
مقطع تحصیلی .....
مراجع و منابع علمی مورد استفاده .....
دانش‌آموز سال .....

## ❐ شرایط بررسی گزارش کارها:

* گزارش کارهائی که گردآوری یا ترجمه باشند پذیرفته نمی‌شوند.
* گزارش کارهای *تجربی ابتکاری* به شرطی پذیرفته می‌شودند که همراه با نتایج آزمایشها باشند، و محل انجام تحقیق مشخص باشد.
* گزارش‌های مربوط به *ساخت وسایل فیزیکی* به شرطی پذیرفته می شوند که الف) وسیله ساخته و تکمیل شده باشد ب) با آن آزمایش شده باشد ج) نتایج اندازه‌گیری همراه با گزارش کار ارسال شده باشد.
* گزارش‌های مربوط به *شبیه سازی کامپیوتری* به شرطی پذیرفته می شوند که الف) برنامه کامپیوتری نوشته شده باشد ب) برنامه اجرا شده باشد ج) همراه با برنامه شبیه‌سازی کامپیوتری دیسکت راهنمای استفاده از نرم‌افزار ارسال شود.
* گزارش کارهای ارسالی ناقص یا در حال تکمیل پذیرفته نمی‌شود.

**گزارش کار را در دو نسخه به نشانی تهران، صندوق پستی ۱۳۱۱-۱۵۸۷۵، دفتر انجمن فیزیک/کمیتهٔ علمی ارسال فرمایید**
**لطفاً روی پاکت بنویسید «مربوط به ششمین گردهمایی دانش‌آموزی فیزیک ایران ۱۳۷۷»**
**گزارشهای ارسال شده عودت داده نخواهد شد.»**

## ❐ توجه!

۱. گزارش کارها به کمیتهٔ علمی گردهمایی در انجمن فیزیک ایران ارسال شود.
۲. گزارش کارهایی که در آنها نکات بالا رعایت نشود بررسی نخواهد شد.
۳. کمیتهٔ علمی با دانش آموزانی که گزارش کار آنها پذیرفته می شود مکاتبه خواهد کرد.
۴. از ارسال وسایل ساخته شده خودداری، و تنها گزارش ساخت وسایل ارسال شود.

# فرم اشتراک مجلات آموزشی رشد

بسمه تعالی


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


دفتر انتشارات کمک آموزشی، برای دانش افزایی معلمان، دانشجو معلمان و کارشناسان آموزش و پرورش، مجلات آموزشی - پژوهشی رشد را منتشر می کند.

**معلم**
**تکنولوژی آموزشی**
**آموزش ابتدایی**
**آموزش راهنمایی**
» **آموزش فیزیک**
**آموزش شیمی**
**آموزش زیست شناسی**
**آموزش معارف اسلامی**
**آموزش زبان**
**آموزش ادب فارسی**
**آموزش جغرافیا**
**آموزش ریاضی**


○ نشانی: تهران. خیابان ایرانشهر شمالی. ساختمان شمارهٔ چهار آموزش و پرورش. دفتر انتشارات کمک آموزشی. واحد اشتراک
تلفن: ۹۰-۸۸۳۱۱۶۶۰. داخلی ۴۳۲ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵/۳۳۳۱


شرایط اشتراک:

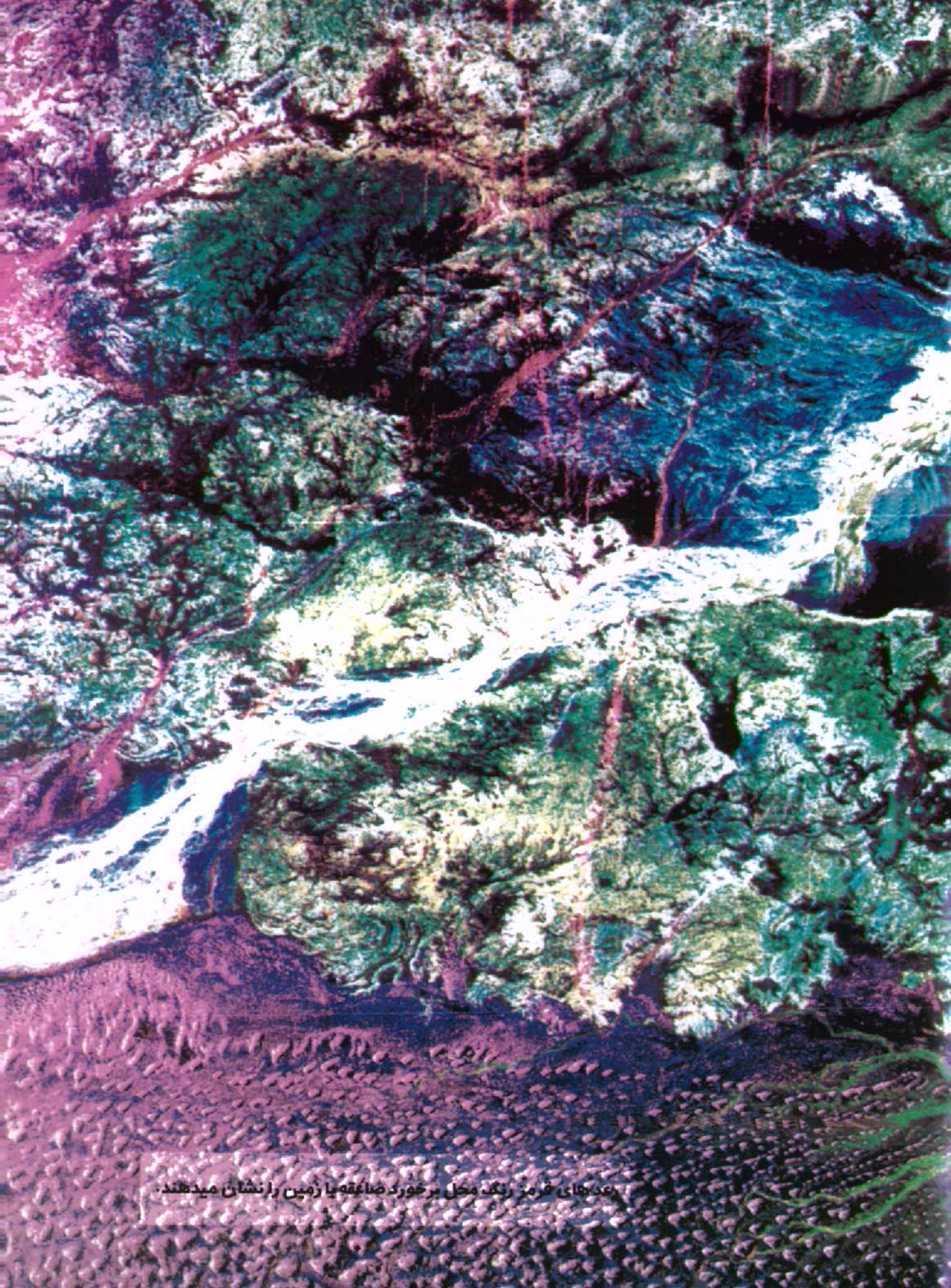
۱. واریز حداقل مبلغ ۱۰۰۰۰ ریال به عنوان علی الحساب به حساب شمارهٔ ۳۹۶۶۲۰۰۰ بانک تجارت شعبه سرخه حصار کد ۳۹۵ در وجه شرکت افست و ارسال اصل رسید بانکی همراه با فرم تکمیل شده اشتراک به نشانی دفتر انتشارات کمک آموزشی.

۲. شروع اشتراک از زمان وصول فرم درخواست است. بدیهی است یک ماه قبل از اتمام مبلغ علی الحساب، به مشترک جهت تجدید اشتراک اطلاع داده خواهد شد.

◇ نام و نام خانوادگی
◇ تاریخ تولد
میزان تحصیلات
◇ تلفن:
◇ نشانی کامل: استان:
شهرستان:
خیابان: کوچه:
پلاک:
کدپستی: مبلغ واریز شده:
شماره رسید بانکی:
◇ تاریخ رسید بانکی:
◇ مجلهٔ درخواستی:

امضاء

□ مشخصات و نشانی خود را کامل و خوانا بنویسید.
□ ارسال اصل رسید بانکی ضروری است.



رعدهای قرمز رنگ محل برخورد صاعقه با زمین را نشان میدهند.

تصویر اتمهای ایریدیم که توسط میکروسکوپ
یونی درحدود۲میلیون مرتبه بزرگ شده است.