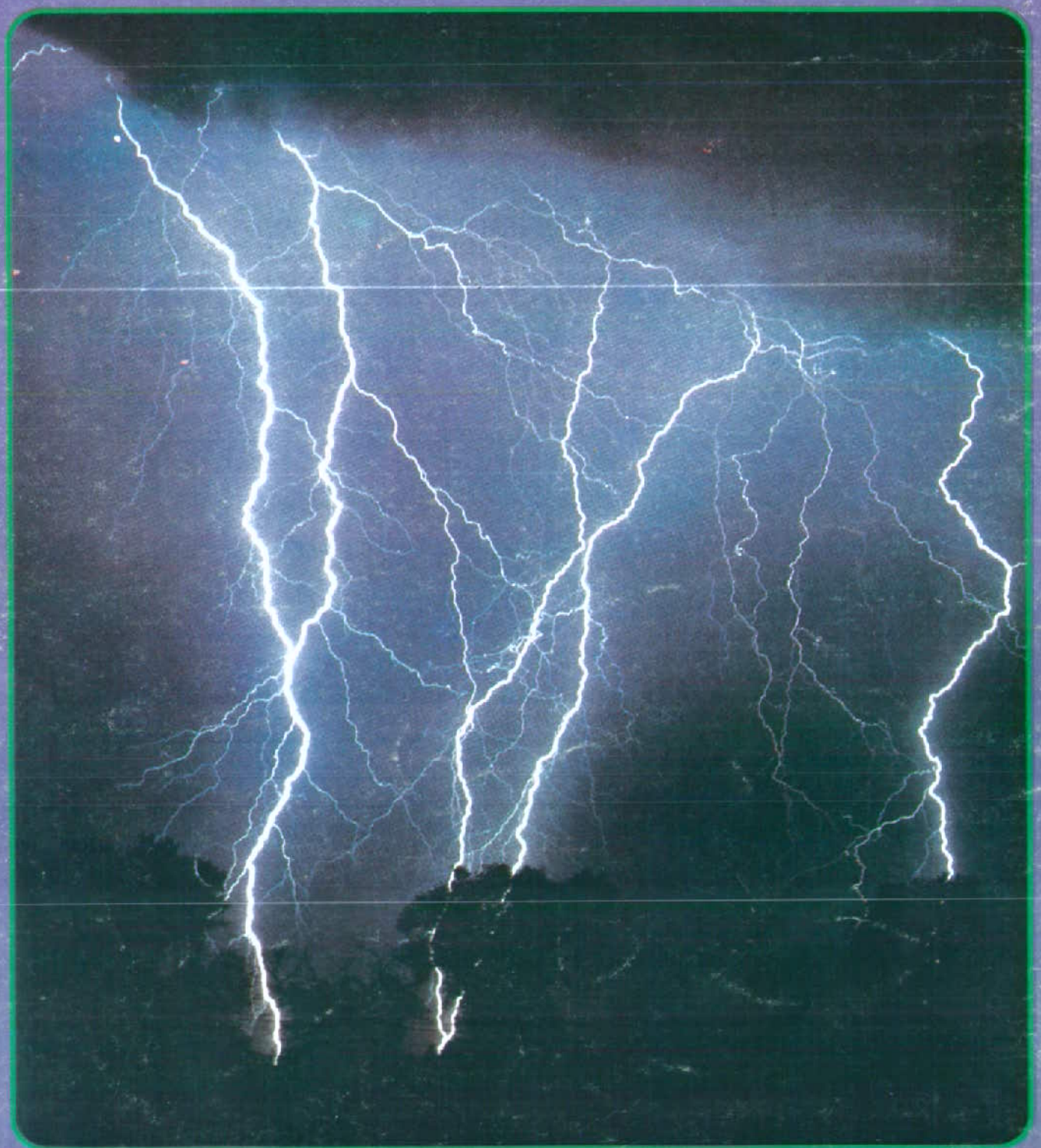
# رشد آموزش فیزیک

سال نهم ـ بهار ۱۳۷۳ ـ شماره مسلسل ۳۶

بها ۳۵۰ ریال



وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

# رشد آموزش فیزیک

سال نهم ـ بهار ۱۳۷۳ ـ شماره مسلسل ۳۶

نشریهٔ گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب
درسی، تلفن ۴ ـ ۸۳۹۲۶۱ داخلی (۴۳)

مجله رشد آموزش فیزیک هر سه ماه یکبار به منظور اعتلای دانش دبیران و دانشجویان دانشگاهها و مراکز تربیت معلم و سایر دانش‌پژوهان در این رشته منتشر می‌شود. جهت ارتقاء کیفی آن نظرات ارزنده خود را به صندوق پستی تهران ۳۶۳ ـ ۱۵۸۵۵ ارسال فرمائید.

سردبیر: غلامعلی محمودزاده
مدیر داخلی: محمدعلی سعادت‌بخت
مسؤول هماهنگی و تولید: فتح‌الله فروغی
امور فنی، صفحه آرایی: خالد قهرمانی‌دهبکری
ناظر چاپ: محمد کشمیری

هیأت تحریریه:
دکتر عزت‌الله ارضی
دکتر ابوالقاسم قلمسیاه
دکتر سیژه رهبر
سیدجعفر مهرداد

| | | |
|---|---|---|
| پیشگفتار | سردبیر | ۳ |
| سرگذشت فیزیک | دکتر ابوالقاسم قلمسیاه | ۴ |
| سلول خورشیدی | دکتر عزت‌اله ارضی | ۹ |
| پارادوکس انبساط گرمایی | ترجمهٔ احمد توحیدی | ۱۰ |
| نسبیّت | دکتر منیژهٔ رهبر | ۱۲ |
| الکتریسیتهٔ جوّی | ترجمهٔ محمدعلی سعادت‌بخت | ۱۸ |
| آزمایش ساده‌ای که رفتار فراکتالها را نمایش می‌دهد | ترجمهٔ حسین میلانی‌مقدم | ۲۵ |
| اخبار علمی | | ۲۷ |
| شرایط مرزی در مکانیک مقدماتی | ترجمهٔ محسن شادمهری | ۲۸ |
| بازتابشهای دوپلری | ترجمهٔ بابک تیموری‌پور | ۳۰ |
| خاصیتهای بازتابی یک آینهٔ سهموی | ترجمهٔ محمود امانی | ۳۴ |
| یک آزمایش جالب درباره بازتابش کلی | ترجمهٔ احمد توحیدی | ۳۶ |
| پاسخ هفتمین المپیاد فیزیک ایران | | ۳۸ |
| پرسشهای گزینش دانشجو مرحله اول ۱۳۷۳ | | ۴۲ |
| پاسخهای تشریحی گزینش دانشجو مرحله اول ۱۳۷۳ | غلامعلی محمودزاده ـ محمدعلی سعادت‌بخت | ۴۷ |
| مجله و خوانندگان | | ۵۳ |
| معرفی کتاب | | ۵۶ |
| اشتراک | | ۵۸ |

# پیشگفتار

تصمیم داشتم به بهانهٔ پایان تألیف کتابهای فیزیک دورهٔ اول نظام جدید دبیرستان، مطالبی پیرامون این کتابها به عرض شما خوانندگان عزیز برسانم، اما فکر و به تبع آن قلم اجازه این کار را نمی‌دهد و می‌خواهد مطلب از جای دیگری، نه بی‌ارتباط با اصل موضوع، شروع کند. مگر می‌شود در مورد تألیف کتاب فیزیک سخن گفت بدون آنکه به پیشکسوتان ادای احترام کرد.

اکنون از بخاطر آوردن کلاسهای درس فیزیک دبیرستانی وجودم سرشار از ذوق و شوق است. خدایش حفظ کند دبیر فیزیکمان که با چه شور و حرارتی تدریس می‌کرد. سپاس و احترامم را با خشوع تمام نثار پایش می‌کنم.

شاید اکثر خوانندگان، کتابهای فیزیکی را که ما در دبیرستان می‌خواندیم ندیده و یا بخاطر نیاورند. هر چند رنگ و روی کتابهای فعلی را نداشت، نتیجه زحمتهای بی‌وقفه و شبانه روزی کسانی بود که با کمترین امکان، بهترین کتاب ممکن را تألیف کرده بودند. تمام بزرگان جامعهٔ فیزیک ایران، شیرینی فیزیک را از آن کتابها تجربه کرده‌اند. سپاس همهٔ ما نثار آقایان باروخ بروخیم، دکتر نصرا... حاج‌سیدجوادی و احمد رفیع‌زاده پدید آورندگان این کتابها باد.

به مقتضای زمان و همراه با تغییر نظام آموزشی در سال ۱۳۵۱ جامعهٔ آموزش و پرورش ما با نام دیگری آشنا شد: «دکتر ابوالقاسم قلمسیاه». نام‌آوری که نامش برای همیشه بر تارک فرهنگ ما می‌درخشد. به حق استاد و پدر پیر، اما دل جوان ما، در آموزش فیزیک دبیرستانی تحول ایجاد کرد. هرگز فراموش نمی‌کنم که در کلاسهای توجیهی جهت تدریس کتابهای جدید با چه صبر و حوصله و متانتی، انتقادهای ناشی از «لختی» ما را که گاه شدید هم بود، گوش می‌داد و بدون آنکه بخواهد در مقام جوابگویی باشد، با دلیل و با فروتنی بسیار همه را متقاعد می‌کرد که باید روش تدریس خود را عوض کنند و فلک را سقف بشکافند و طرحی نو دراندازند. بیان فیزیک با حداقل استفاده از روابط ریاضی و توضیح آن برای سن‌های پایین چقدر مشکل است. بررسی منصفانه معلوم می‌کند که دکتر قلمسیاه چگونه از پس این مشکل بر آمده است. نه من می‌توانم و نه این مقال جای بررسی کار عظیم دکتر قلمسیاه است، اما مانع آن هم نمی‌شود که سپاس و احترام جامعهٔ آموزش و پرورش کشور را به حضور ایشان تقدیم کنم و بعنوان کوچکترین عضو این جامعه دست ایشان را ببوسم. واجب است از تلاش تمام دست اندر کارانی که دکتر قلمسیاه را یاری دادند قدردانی شود. اجازه دهید با یاد و ادای احترام به آقایان پیغامی، عرب اف و معتمدی از این بحث بگذریم.

اکنون باز هم به مقتضا و به تبع تغییر نظام آموزشی کشور، کتابهای فیزیک، همانند سایر کتابهای درسی، مجدداً تألیف شده‌اند. همانگونه که می‌دانید دورهٔ دبیرستانی به دو دورهٔ سه ساله و یکساله تقسیم شده است. برای دورهٔ اول چهار کتاب فیزیک با نامهای فیزیک ۱ و ۲ و ۳ و ٤ تألیف شده است. به منظور تألیف این کتابها شورای برنامه‌ریزی درس فیزیک با ترکیب جدید در دفتر برنامه‌ریزی و تألیف تشکیل شد. تعیین هدفهای کلی درس فیزیک و رؤوس مطالبی که باید در کتابهای فیزیک به آنها پرداخته شود از وظایف اولیه این شورا بود. در ضمن تألیف کتاب فیزیک ۱ و نیز در پایان تألیف این کتاب، بعضی از اعضای شورا تغییر کردند. وظیفه مهمی که شورا ضمن تألیف کتاب فیزیک ۲ به عهده گرفت و پس از آن نیز با جدیت دنبال شد، بررسی مطالب تألیف شده توسط مؤلفان بود. این کار با بحث‌های دقیق و طولانی همواره دنبال می‌شد. در این راستا، ابتدا مطالب تألیف شده از نظر

بقیه در صفحه ۳۳

# سرگذشت فیزیک

## قرن بیستم میلادی

دکتر ابوالقاسم قلمسیاه

قسمت هیجدهم

**در قرن بیستم میلادی علم فیزیک در دو جهت نظری و عملی پیشرفت قابل توجّهی داشته است. اکنون که ما سالهای پایانی این قرن را می‌گذرانیم شاهد این پیشرفت در تمام شاخه‌های آن هستیم.**

**از یک طرف، چند مغز متفکّر و نابغه، نظریه‌های تازه و بی‌سابقه‌ای را بسیار ماهرانه عرضه کرده‌اند؛ آنان با مسائلی کاملاً نو مواجه شده‌اند بطوری که اندیشه‌ها و عقاید کلاسیک متداول را بهم ریخته‌اند. از طرف دیگر تعداد زیادی از پژوهشگران، با حوصله و شکیبائی بسیار، اختراعات متعدّدی را متصوّر شده و بمرحله عمل درآورده‌اند که نتایج حاصل از آنها بیش و کم با نحوهٔ تفکّر و نظریات محض پیشقدمان تفاوت دارند.**

**اینک به شرح مختصر این دو سیما یکی پس از دیگری خواهیم پرداخت.**

ماکس پلانک (۱۸۵۸-۱۹۴۷ م)

### ۱- نظریه‌ها

**پلانک و کوانتومها-** ضمن شرح کارهای دانشمندان در سالهای پایانی قرن نوزدهم میلادی متذکر شدیم که نظریه‌های کلاسیک در مورد تابش جسم سیاه به «قانون ریلی» ختم شد که کاملاً در جهت مخالف آزمایش بود. برای خروج از این بن‌بست تغییر دادن و اصلاح کردن این نظریه‌های کلاسیک اجتناب ناپذیر بود. نخستین تلاش موفقیت آمیز توسط ماکس پلانک[1] فیزیکدان آلمانی (۱۸۵۸ - ۱۹۴۷ م) در ۱۹۰۰ م (۱۲۷۹ هـ.ش.) بعمل آمد. او با اندیشه و تفکر، فرضیه پیوستگی را که تا آن زمان در تمام مسائل مربوط به انرژی مورد قبول بود مردود دانست و اصل موضوع زیر را بیان کرد:

**ماده نمی‌تواند انرژی گسیل دارد مگر به طریق ناپیوسته و به مقادیر معّین، بوسیله کوانتومها که مقدار آن متناسب با بسامد (فرکانس) طبق قانون $E=h\nu$ است (قانون پلانک).** بنابراین، انرژی مانند ماده ساختار دانه‌ای یافت. پلانک بر اساس این فرضیه جدید، از نو به توجیه نظریه تابش جسم سیاه پرداخت و به قانونی دست یافت که با آزمایش بخوبی تطبیق می کرد.

فیزیکدانان در آغاز متوجّه نبودند که یک تحول علمی

واقعی در حال تکوین است. آنان تصوّر می‌کردند که در این اندیشه نو روشی را می‌بینند که تنها به مسأله تابش جسم سیاه تعلّق دارد. امّا به زودی دانشمندان جوان با شجاعت علمی و اطمینان، نظریهٔ کوانتومی را بسط دادند و آنرا در تمام پدیده‌هائی که در آنها انرژی دخالت داشت، یعنی تقریباً در تمام فیزیک، بکار بردند. اینشتاین آن را برای تعبیر کردن اثـــر (فتو ـ الکـــتریک)، کـه تا آن زمان نامفهوم مانده بود، بطریقی ساده و زیبا بکار برد. او همچنین تغییرات ظرفیت گرمائی ویژه جامدات با دما را شرح داد؛ بور فیزیکدان دانمارکی نظریه کوانتومی اتم را متصوّر شد (که در صفحات بعد به آن خواهیم پرداخت) و نخستین انوار معرفت را بر روی اسرار طیفنمائی تاباند.

در تاریخ پیشرفت و تکامل نظریه کوانتومی، دانشمندان جوان مؤسّسه نیلس بور در کوپنهاگ نقش عمده را به عهده داشته‌اند. این دانشمندان بتدریج یک رشته تصوّرات و مفاهیم بغرنج را در دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ میلادی انتشار دادند که به «تفسیر کوپنهاگ دربارهٔ مکانیک کوانتومی» معروف شد. هر چند این تفسیر هیچگاه عملاً بصورت عقیده عملی رسمی در نیامد ولی بحثهای زیادی را موجب شد که نمونه بارز آن فصل سوم کتاب «فیزیک و فلسفه» نوشته **ورنرهایزنبرگ** است[۲].

خلاصه، نظریه کوانتومی با تلاش دانشمندان کم‌کم جای خود را باز کرد و پذیرفته شد. علاوه بر این ثابت پلانک (عدد h در رابطهٔ $E=h\nu$) به روشهای مختلف تعیین شد و از همهٔ این روشها یک نتیجه بدست آمد. یکی بودن این نتایج تاثیر بسیار بزرگی در پیروزی نظریه کوانتومی انرژی داشت؛ در ماده، الکتریسیته، انرژی، در همه چیز، ناپیوستگی حاکم شد؛ همه جا ضرب‌المثل قدیمی «طبیعت از ناپیوستگی روی گردان است»[۳] منسوب به لایب نیتس[۴] کنار گذاشته شد. از ۱۹۲۰ میلادی (۱۲۹۹ هجری شمسی) کوانتومها را همهٔ دانشمندان پذیرفتند و ثابت پلانک بعنوان یک کمیّت اساسی فیزیک جدید تلقی شد.

**سیماهای نوین نور-** طبیعت موجی پرتوهای X در ۱۹۱۲ م. به اثبات رسید و معلوم شد که این پرتوها از جنس نور ولی نامرئی هستند: ماکس **تئودور فلیکس فون لاوه**[۵] فیزیکدان آلمانی (۱۸۷۹- ۱۹۶۰ م.) به فکر عبور دادن باریکه‌ای از این پرتوها از درون یک بلور افتاد، آزمایشی که نتیجهٔ آن پدیده پراش (تفرّق)، یعنی یکی از ویژگیهای

ورنر هایزنبرگ (۱۹۰۱-۱۹۷۶ م)

لایب نیتس (۱۶۲۶-۱۷۱۶ م)

امواج نور بود. از آن زمان برای رشته تابشهای الکترو مغناطیسی طیف گسترده‌ای شناخته شد شامل امواج هرتز، فروسرخ، نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای X، پرتوهای گاما. در آغاز، بخشهای مختلف این طیف بهم متصّل نبودند و شکافهائی بین آنها وجود داشت؛ ولی در ۱۹۲۰. «هال‌وک»[۶] پرتوهای ایکسی با طول موج ۴۹ نانومتر ($49\times10^{-9}m$) تولید کرد که اتصال به فرابنفش را تامین نمود

و در ۱۹۲۳ م. «نیکولز»[۷] و «تیر»[۸] فیزیکدانان امریکائی، امواج هرتزی ۰/۲mm را ایجاد کردند که این طیف را به فرو سرخ متصل کرد. بدین ترتیب، مجموع این تابشها یک طیف پیوسته را تشکیل دادند که طول موج آنها از چندین کیلومتر تا کسری از آنگستروم ممتد بود.

امّا هنوز این سؤال ذهن کنجکاو فیزیکدانان را بخود مشغول می‌داشت که: **ماهیت نور چیست؟** قریب یک قرن بود که بدون قید و شرط نظر فرنل را پذیرفته بودند که نور اساساً پدیده موجی و پیوسته است. تحقیقات بیشمار و غیر قابل بحث این نظر را تأیید می‌کردند. نظریه پلانک مانند بمب در میان این باور بدون چون و چرا ترکید و همه چیز را زیر سؤال برد: تابش ناپیوسته است و این فوتونها یعنی کوانتومهای نور تا اندازه‌ای یادآور نظریه گسیل ذره‌ای نور نیوتون بودند که با ظهور نظریه موجی نور کنار گذاشته شده بود، و در هر حال با نظریه‌های پذیرفته شده موجود، کاملاً ناسازگار بنظر می‌رسید، نتیجه‌ای که خود پلانک را نیز به وحشت انداخت.

وضع بسیار ناراحت کننده بود؛ گرچه فوتونها امکان می‌دادند که بعضی از پدیده‌ها، مانند تابش جسم سیاه، فوتوالکتریک و طیفهای گسیلی دزک شوند، امّا در تبیین پدیده‌های کلاسیک متداول، مانند تداخل، قطبش (پولاریزاسیون)، پراش کـــــــه در گذشته آزمایشها کیفیت موجی بودن آنها را مورد تأیید قرار داده بودند عاجز بود. بنظر می‌رسید که انتخاب موجّه و معقول بین این دو نظریه که هر یک موفقیتهای درخشان و نقیصه‌های بزرگ نشان می‌دادند دشوار است.

سرانجام، «**لوئی ویکتور پرنس دوبروی**[۹]» فیزیکدان فرانسوی (۱۸۹۲-۱۹۸۷ م.) راه حل بسیار زیبائی عرضه کرد بنا به عقیده او، به جای انتخاب کردن بین موجها و ذره‌ها بایستی هر دو نقطه نظر را حفظ کرد و نور را بصورت پدیده مختلطی در نظر گرفت که تجسم آن بصورت ذرّاتی است که با موجهائی همراهند. این راه حل در آن شرایط می‌توانست برحسب موقعیّت مورد نظر، یکی از دو وجه ذرّه‌ای یا موجی را بخوبی نمایش دهد. این ترکیب موفقیت‌آمیز به وضع رضایت بخشی منتهی شد. واضع آن به این کفایت نکرد، بلکه **دوگانگی موج- ذره** را با پایه‌گذاری **مکانیک موجی** (در ۱۹۲۳ م. / ۱۳۰۲ هـ.ش) تعمیم داد که دربارهٔ آن در جای خود سخن خواهیم گفت.

پس از آن، پدیده‌های جدیدی کشف شدند که بوسیله

لوئی ویکتور پرنس دوبروی (۱۸۹۲-۱۹۸۷ م)

فوتون‌ها مورد تفسیر قرار گرفتند: در ۱۹۲۳ م. **آرتور هالی کامپتن**[۱۰] فیزیکدان امریکائی (۱۸۹۲-۱۹۶۲ م.) پی برد که پرتوهای X هنگام برخورد به ماده بوسیلهٔ اتمهای آن پراکنده می‌شوند و این کیفیت با کاهش بسامد (افزایش طول موج) همراه است. این اثر (به نام اثر کامپتن) که تا اندازه‌ای حس کنجکاوی فیزیکدانان را برانگیخت، بوسیلهٔ برخورد فوتون- الکترون توجیه می‌شود.

در ۱۹۲۸ م. سِر چاندراسکارا وِنکاتا رامان[۱۱]، فیزیکدان هندی (۱۸۸۸-۱۹۷۰) ضمن تحقیقات خود مشاهده کرد که وقتی نور تکفام از یک محیط شفاف می‌گذرد اندکی از آن پراکنده می‌شود. با بررسی طیف این نور پراکنده معلوم شد که علاوه بر نور اصلی، خطوط ضعیف‌تری در طیف مشاهده می‌شود که طول موجشان نسبت به طول موج اصلی مقادیر ثابتی اختلاف دارد و این پراکندگی ممکن است با کاهش یا افزایش طول موج و تغییر تصادفی فاز همراه باشد که بستگی به ساختار مولکولهای ماده دارد و ناشی از تغییر انرژی چرخشی یا ارتعاشی ملکولهای پراکنده کننده است؛ بنابراین، مطالعه این اثر (که بنام اثر رامان نامیده شده است) می‌توانست اطلاعات مهمّی از ساختمان مولکولی ماده بدهد، بطوری که از این کشف بعنوان «بزرگترین هدیه‌ای که فیزیک به شیمی تقدیم کرده است» سخن به میان آمد

**اینشتاین و نسبیّت-** نسبیت، به تحقیق، نظریه‌ای است که پیدایش آن بحثها و مجادلات طولانی و جالبی را برانگیخته است؛ نتیجه‌گیریهای حاصل از آن نه تنها اصول اساسی فیزیک کلاسیک را کلاً زیرو رو کرد بلکه مبادی اوّلیه احساس عامه را نیز دگرگون ساخت.

آرتورهالی کامپتن (۱۸۹۲-۱۹۶۲ م)

واضع این نظریه، آلبرت اینشتاین فیزیکدان آلمانی (۱۸۷۹- ۱۹۵۵ م.) است که از اصل زیر آغاز کرد: **سرعت نور در تمام جهات یکسان است حتّی اگر منبع نور و ناظر نسبت بهم دارای حرکت مستقیم الخط و یکنواخت باشند.** این اصل، نتیجهٔ تجربی حاصل از آزمایشهای، مایکلسن و مایکلسن- مورلی بود که دستخوش توضیحات عجیب و غریب از جمله توجیه فیتز جرالد- لورنتس، یعنی انقباض طول جسم متحرک در اِتر (اثیر) در اثر فشار باد اتری شده بود؛ زیرا این نتیجه خلاف فرمولهای کلاسیک تغییر مختصات بود که بر مبنای تصورات عادی از فضا و زمان پایه‌گذاری شده بودند.

اینشتاین بدون در نظر گرفتن هرگونه تصور قبلی درباره دو مفهوم زمان و مکان، در ۱۹۰۵ م. در شهر بِرن (سویس) نظریه نسبیت خود را بصورت رساله‌ای منتشر کرد که بعدها نظریه نسبیت خاص نامیده شد. او در این رساله فرمولهای جدیدی دربارهٔ تغییر مختصات عرضه کرد که معادلات ماکسول را که از آنها سرعت نور نتیجه می‌شد بدون تغییر باقی گذاشتند. اینشتاین بوسیله این فرمولها نظریه نسبیّت خاص خود را پایه‌گذاری کرد که، ذیلاً بطور ساده نتایج اساسی آنرا که قسمت عمده آنها نسبتاً غیر منتظره بودند نام می‌بریم بدون اینکه وارد بحث آنها شویم و آنها را در اینجا منعکس سازیم.

مکان و زمان (جای و گاه) مطلق نیستند، بلکه نسبی‌اند؛ دو حادثه که برای یک ناظر همزمانند، ممکن است برای ناظر دیگر همزمان نباشند؛ دو طول مساوی برای یکی، برای دیگری مساوی نیستند؛ دو ناظر که نسبت به یکدیگر در حال حرکتند اگر با سرعت بسیار از مقابل هم بگذرند و هر دو مجهز به مترهای یکسان و ساعتهای همزمان باشند هر یک از آنها در می‌یابد که ساعت دیگری نسبت به ساعت خودش عقب می‌رود و متر اندازه‌گیری‌اش کوتاهتر است؛ جرم یک جسم متحرک ثابت نیست و با سرعتش افزایش می‌یابد و اگر جسم با سرعت نور حرکت کند جرم آن بینهایت می‌شود؛ سرعت نور (در خلاء) سرعت حدّ است که هیچ جسم مادی نمی‌تواند از آن سریعتر حرکت کند حتی به آن برسد. ماده بصورت شکلی از انرژی متظاهر است با امکان تبدیل متقابل.

تعداد زیادی از فیزیکدانان در قبال این نتایج که بنظر آنان غریب می‌آمدند به شدت به مخالفت برخاستند. امّا برای یافتن نقص در نتیجه‌گیری کاملاً منطقی و موزون از استدلالهای اینشتاین، تلاش آنان بیهوده بود. طرفداران نظریه نسبیت خاطر نشان ساختند که سرعتهای متداول در مقابل سرعت نور بسیار کوچکند و در نتیجه تفاوتهای بیان شده و حساب شده توسط اینشتاین بسیار اندکند و آشکار نمی‌شوند؛ بهمین جهت تصورات مکان و زمان که در طی قرنهای متمادی به ذهن بشر خطور کرده‌اند نمودار حقیقت مطلق، آنطور که به اعتقاد و باور ختم شود، نیستند بلکه تقریب‌های بسیار خوبی بشمار می‌روند. در زندگی ساری و جاری می‌توان به آنها رضایت داد، امّا مطالعه نظری عمیق دقّت‌هائی را ایجاب می‌کند که نسبیّت آنها را عرضه کرده است.

برای اثبات این نظریات بدیع، تحقیقات تجربی لازم بود. ولی چنین تحقیقاتی چندان آسان نبودند، زیرا سرعتهای زیاد مورد نیاز بود که به آنها هم می‌اندیشیدند. در ۱۹۱۳ م. گایه[۱۲] و لاوانشی[۱۳] جرم الکترونهای کاتودی بسیار سریع را اندازه گرفتند و دریافتند که این جرم با تغییر سرعت آنها تغییر می‌کند و تغییر آن منطبق بر پیشگوئیهای اینشتاین است. اندکی بعد زومرفلت، نظریه نسبیت را در دنیای اتمی بکار برد و نتایج بسیار رضایت بخش بدست آورد.

خلاصه، نسبیت موفقیتهای درخشانی کسب کرد که سر انجام منجر به پذیرفتن آن (امّا نه به آسانی) توسط جهان دانش شد.

نیلزبور (۱۸۸۵-۱۹۶۲ م)

امّا اینشتاین به نسبیت خاص اکتفا نکرد بلکه با مهارت تام «**نسبیت عام**» را عرضه کرد که مکمل کار وی بود. او در نسبیت عام نه تنها حرکات بر خط راست و یکنواخت را مورد توجه قرارداد بلکه به حرکات شتابدار و غیر مشخص پرداخت و با نبوغ ریاضی خود بکمک حساب تانسوری نظریه خود را بسط داد؛ او با مهارت قانون جدیدی برای گرانش عرضه کرد که قانون گرانش نیوتون نخستین تقریب آن بود. او اندیشه‌های نوینی درباره انحنای جهان، وجود جرمهای تغییر شکل دهنده «مکان و زمان» به جهان علم شناساند که حتی ریاضیدانان هم بزحمت می‌توانستند کار او را تا آخر دنبال کنند. اینشتاین توانست به آسانی شاهکاری موزون ایجاد کند و تعدادی از پیروان متعدد او، از جمله **لانزوّن**[14]، **وایل**[15] **اِدینگتن** جزئیات آنرا تشریح کردند.

اینشتاین بطور خستگی ناپذیر، تا دم مرگش کوشش کرد یک «**نظریه واحد**» پایه‌گذاری کند که گرانش و (الکتـــــرو مغناطیس) را ترکیب نمایـــــد. اما هنوز هم کسی نمی‌تواند بگوید که او در این راه به نتایج قطعی رسیده است!

دنباله دارد

زیرنویسها:

۱- Max Planck

۲- برای اطلاع بیشتر به مقاله «تفسیر کوپنهاگ دربارهٔ نظریه کوانتومی» نوشته ورنر هایزنبرگ، در مجله دانشمند (ویژه نامه جهان فیزیک)، سال بیست و نهم، آبان ۱۳۷۰ مراجعه شود.

۳- naturanon facit saltus

٤- Leibniz

۵- Max Theodor Felix Von Laue

٦- Hol week

۷- Nichols

۸- Tear

۹- Louis Victor Prince De Broglie

لوئی پرنس دوبروی نباید با موریس دوک دوبروی (۱۸۷۵-۱۹٦۰ م.) برادر بزرگترش، که او هم فیزیکدان بود و روی پرتوهای X، طیفهای جذبی، بر همکنش تابش و ماده، و پرتوهای کیهانی تحقیقات مفیدی انجام داد، اشتباه شود.

۱۰- Arthur Holly Compton

۱۱- Sir Chandraskhara Venkata Raman

۱۲-Guye

۱۳- Lavanchy

۱٤- Langevin

۱۵-Weyl

۱٦-Eddington

# سلول خورشیدی

## تبدیل انرژی نورانی به انرژی الکتریکی

عزت‌ا... ارضی
گروه فیزیک دانشگاه تهران

رؤیای مهار کردن انرژی خورشیدی برای قرنها فکر بشر را به خود مشغول کرده بود. دلیل آنهم موجه بود، زیرا مقدار انرژی خورشیدی که آزادانه بر هر متر مربع زمین در ظهر فرود می‌آید، به ۸۰۰ وات می‌رسد. سلول خورشیدی که توسط آن انرژی نورانی مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، یکی از وسایلی است که با آن می‌توان انرژی خورشیدی را مهار و از آن برای تأمین الکتریسیته استفاده کرد.

سلولهای خورشیدی اساساً شبیه دیود است. مطابق شکل، در یک طرف سلول خورشیدی یک نیمرسانای از نوع n (محتوی تعدادی الکترون اضافی سرگردان) و در طرف دیگر یک نیمرسانای نوع p (مواجه با جای خالی الکترون یا به عبارتی محتوی حفره با بار مثبت) و در وسط یک نیمرسانای ذاتی (i) قرار دارد. فرض کنید این سلول خورشیدی به دو سر یک مقاومت بار (R، مثلاً یک موتور) متصل شود. وقتی نور به قسمت ذاتی فرود می‌آید، تعدادی جفت الکترون- حفره به وجود می‌آید که به شدت نور تابشی، مشخصات و ابعاد نیمرسانا بستگی دارد. ناحیهٔ i به گونه‌ایست که الکترونها به سمت قسمت n و حفره‌ها به سوی نیمرسانای نوع p کشانده می‌شوند و به همین دلیل به این قسمت ناحیهٔ تخلیه می‌گویند. برای اینکه نیمرساناها از نقطه نظر بار الکتریکی کل خنثی باقی بمانند، این بارهای الکتریکی آزاد شده، در مسیر مدار خارجی به جریان افتاده تا دوباره در نزدیکی سطح نیمرسانا با هم مجدداً ترکیب شوند. بنابراین سلول خورشیدی به همانگونه که یک باتری بارهای الکتریکی را به جریان می‌اندازد، رفتار می‌کند. در اینجا طرف p قطب مثبت باتری است. پس در واقع انرژی نور تابشی، به مقاومت بار منتقل شده است و این دیود مثل یک باتری که با نور کار می‌کند، عمل می‌نماید.

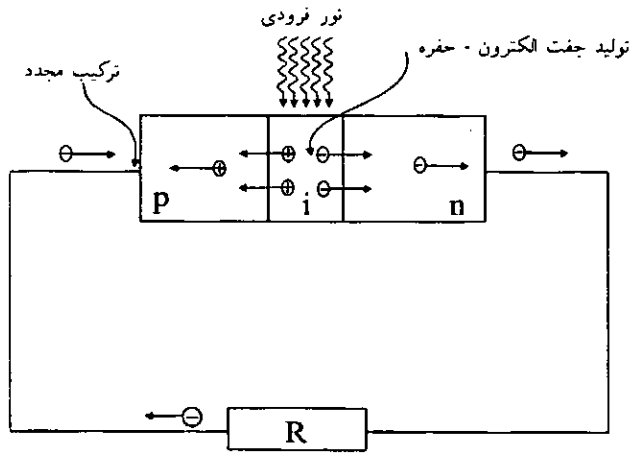
سلولهای خورشیدی را از مواد گوناگون نیمرسانا می‌سازند. نوع متداول آن از سیلیسیوم است و ولتاژ مدار باز آن (یعنی بدون حضور مقاومت بار) حدود ۰/۶ ولت است. با اینکه ولتاژ و شدت جریان یک تک سلول خورشیدی کم است، ولی همانطور که دیده می‌شود، کافی برای به راه انداختن یک موتور کوچک است (در اینجا به جای نور خورشید از نور یک لامپ کوچک استفاده شده است).

سلولهای خورشیدی را می‌توان بطور سری یا موازی به هم وصل کرد تا ولتاژ و یا شدت جریان افزایش یابد تا مناسب با بار مقاومتی مورد نظر باشد. مجموعهٔ سلولهای خورشیدی به هم متصل شده را پانل خورشیدی می‌گویند.

در سفینه‌های فضائی و ماهواره‌ها اغلب از پانل‌هایی استفاده می‌شود که در حدود ۵۰۰۰ سلول خورشیدی دارد تا قدرتی در حدود ۱۰۰ وات تحت ۳۰ ولت بدست آید. این سلولها را در یک ردیف بطور موازی به هم متصل می‌کنند تا مقاومت کم شود و سپس این ردیف‌ها را بطور سری به هم وصل می‌کنند تا ولتاژ خروجی افزایش یابد.

علاوه بر استفاده در سیستم‌های قدرت ماهواره‌ها و سفینه‌های فضائی، سلولهای خورشیدی اکنون در نقاط دور افتاده که رساندن برق به آنجا مستلزم هزینهٔ گزاف است و نیز در برخی از وسایل که به قدرت کم نیاز دارند نظیر ماشین حساب، ساعت و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. امید می‌رود که با ارزانتر شدن آنها و پیدایش سیستم‌های مطمئن‌تر برای ذخیره‌سازی انرژی آنها در روز (جهت استفاده در شب و ساعات ابری روز) سلولهای خورشیدی بطور گسترده‌تری مورد استفاده قرار گیرند.

سیستم سلولهای خورشیدی چون به هیچگونه مواد سوختنی نیاز ندارند، از نقطه نظر حفظ محیط زیست نسبت به سیستم‌های مشابه دیگر بهترند و آلوده کنندهٔ محیط زیست نیستند. به ویژه اینکه در کشورهایی نظیر ایران که در بعضی نقاط آن در سال ۳۰۰ روز تمام آفتابی است، این سیستم می‌تواند مفیدتر باشد.




نموداری از سلول خورشیدی

# «پارادوکس» انبساط گرمایی


**نوشتهٔ حسن فخرالدین[1]**
**ترجمهٔ احمد توحیدی[2]**


رابطهٔ بسیار مشهور انبساط گرمایی برای طول جامدات یعنی:

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta T) \qquad (1)$$

(و دیگر رابطه‌های مشابه برای حجم، مساحت، مقاومت الکتریکی، مقاومت ویژه الکتریکی، و غیره) به پارادوکس نسبتاً مشهوری می‌انجامد.

اگر دمای میله‌ای به طول $L_0$ به اندازهٔ $\Delta T$ تغییر کند طول جدید میله را می‌توان از رابطهٔ (۱) به دست آورد. اگر میله سرد شود و به دمای اولیهٔ خود برسد، برای تعیین طول اولیهٔ میله همان رابطهٔ (۱) را به کار برد، که انتظار داریم همان $L_0$ باشد. اما طول جدید میله از آنچه که انتظار داریم کمتر است- اگر چه در مقایسه این مقدار بسیار کوچک باشد. مثال متعاقب این نکته را روشن می‌کند.

فرض کنید $L_0 = ۱/۰۰۰۰۰ m$، $\Delta T = ۲۰۰^\circ C$، و $\alpha = ۳/۰ \times ۱۰^{-۵} {}^\circ C^{-۱}$.

با افزایش دما به اندازهٔ $۲۰۰^\circ C$، $L \longrightarrow L_0$، با استفاده از رابطهٔ (۱) داریم

$$L = ۱/۰۰۰۰۰ m [۱ + (۳/۰ \times ۱۰^{-۵} {}^\circ C^{-۱})(۲۰۰^\circ C)]$$

$$L = ۱/۰۰۶۰۰ m$$

با کاهش دما به اندازهٔ $-200^{\circ}C$، $L \longrightarrow L'$ و انتظار داریم که $L'=L_0$. بار دیگر با به کار بردن رابطهٔ (۱) داریم ( در این مورد L طول اولیهٔ میله است)

$$L'=1/00600m\ [1+(3/0\times10^{-5}\ ^{\circ}C^{-1})(-200^{\circ}C)]$$

$$L'=0/999996 \neq L_0 !$$

این اختلاف برای دانش‌آموزان مسأله جالبی است و می‌توانند آن را بررسی کنند. مسأله در واقع به طریقهٔ به دست آوردن رابطهٔ (۱) برمی‌گردد. این رابطه نسبت به تغییر دمای $\Delta T$ متقارن نیست یعنی اگر $\Delta T \longrightarrow -\Delta T$، $L \neq L_0$. این نامتقارن بودن بیشتر آشکار می‌شود اگر رابطه‌های تغییر طول که هم‌ارز با رابطهٔ (۱) هستند را بنویسیم. یعنی رابطه‌های

برای افزایش دما، $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$ (۲)

برای کاهش دما، $\Delta L' = L \alpha \Delta T$ (۳)

روشن است که از رابطه‌های (۲) و (۳) افزایش طول متناسب با $L_0$ است که کوچک‌تر از L است در حالی که کاهش طول متناسب با L است.

سؤال اینجاست که «چرا این رابطه‌ها متقارن نیستند و چگونه می‌توان آنها را متقارن کرد؟» برای پاسخ به آن، به نخستین گام استنتاج این رابطه‌ها برمی‌گردیم و با انتگرال‌گیری طول ثانویهٔ میله را به دست می‌آوریم.

برای میله‌ای به طول l تغییر طول dl متناسب با l و dT است. بنابراین $dl=l\alpha dT$.

برای تغییر دما از ۰ تا $\Delta T$، طول از $L_0$ تا L تغییر می‌کند با انتگرال‌گیری داریم

$$\int_{L_0}^{L}\frac{dl}{l}=\int_{0}^{\Delta T}\alpha\, dT$$

بنابراین

$$\ln\left(\frac{L}{L_0}\right)=\alpha\Delta T$$

$$L=L_0 e^{\alpha\Delta T} \qquad (4)$$

رابطهٔ ۴ نسبت به $\Delta T$ متقارن است یعنی

$$L=L_0 e^{\alpha\Delta T}$$

$$L_0=Le^{-\alpha\Delta T}$$

رابطهٔ (۱) را می‌توان از رابطهٔ (۴) با تقریب $\alpha\Delta T<<1$ به دست آورد.

$e^{\alpha\Delta T}$ مورد عادی فیزیک مقدماتی است. عامل $\alpha\Delta T<<1$ در رابطهٔ (۴) را می‌توان توسط سری تیلور بسط داد. بنابراین

$$L=L_0\left(1+\alpha\Delta T+\frac{1}{2}\alpha^2\Delta T^2+\dots\right)$$

با صرف نظر کردن جمله‌های $\alpha\Delta T$ از مرتبه‌های بالاتر از ۱ داریم

$$L=L_0(1+\alpha\Delta T)$$

که همان رابطهٔ (۱) است. اما توجه کنید که اگر $L_0$ را بسط دهیم داریم

$$L_0=L\left(1-\alpha\Delta T+\frac{1}{2}\alpha^2\Delta T^2-\dots\right)$$

بنابراین تقارن تغییر می‌کند که علت اختلاف است. ریاضیات مشابهی برای واپاشی رادیواکتیو وجود دارد. رابطهٔ مشهور برای واپاشی رادیواکتیو $\frac{dN}{dt}=-\lambda N$ از اینرو:

$$N=N_0 e^{-\lambda t} \qquad (5)$$

برای مادهٔ رادیواکتیو با عمر طولانی مانند $U^{238}$، مقدار $\lambda$ خیلی کوچک است. بنابراین اگر $\lambda t<<1$ رابطهٔ (۵) با تقریب برابر است با:

$$N=N_0(1-\lambda t) \qquad (6)$$

دانش‌آموزان می‌توانند رابطهٔ (۵) را با رابطهٔ (۴) و رابطهٔ (۶) را با رابطهٔ (۱) از نظر تشابه ریاضیات مقایسه کنند.

## زیرنویسها:


۱- Hassan Fakhruddin

The Indiana Academy for science, Mathematics, and Humanitics, Ball state University, Muncie, IN 47306.

۲- دبیر دبیرستانهای شیراز


## مرجع:


The Physics Teacher, April 1993, P.214.

## درسنامه

مجلهٔ رشد آموزش فیزیک به منظور اعتلای علمی دبیران و دانش آموزان بر آن است که سلسله مقاله‌هایی به صورت «درسنامه» در مجله درج کند. عنوانهای درسنامه بیشتر مطالبی را شامل می‌شود که به علت کمی وقت در کتابهای فیزیک دبیرستانی آورده نشده‌اند.

اولین سری از این مقاله‌ها تحت عنوان نسبیت به همت استاد گرامی سرکار خانم دکتر رهبر در همین شماره مجله آمده است. ضمن تشکر از زحمات سرکار خانم دکتر رهبر که همواره با پشتکار و صبر و متانت زاید الوصفی یار ما در مجله و شورای برنامه‌ریزی بوده و هستند، از خوانندگان علاقمند دعوت می‌شود با دنبال کردن این سری مقاله‌ها، نظرهای خود را جهت بهبود کیفی و کمی درسنامه به آدرس مجله ارسال دارند.

امیدواریم با اهتمام سایر همکاران بتوانیم در زمینه فیزیک حالت جامد و نیم‌رساناها و سایر مطالب مورد لزوم، همین فعالیت را دنبال کنیم. با آرزوی توفیق خدمت به تلاشگران بی‌وقفه دبیرستانها، با هم پای درس شیوای سرکار خانم دکتر رهبر می‌نشینیم.

سردبیر

# نسبیت

دکتر منیژهٔ رهبر

**مقدمه:** نظریهٔ نسبیت یکی از دو نظریهٔ بزرگی است که بنیان فیزیک نوین را تشکیل می‌دهد و فیزیک قرن بیستم را متحول کرد. این نظریه که طی ربع اول قرن بیستم بیان شد، به طور عمده کار آلبرت انیشتین است. در این مقاله ابتدا خواهیم دید که چگونه برخی از ایده‌های نسبیت در فیزیک کلاسیک وجود داشته است. سپس شرح می‌دهیم که چگونه تحلیل دقیق اینشتین در رابطهٔ بین چارچوبهای مرجع با توجه به ناوردایی (تغییر ناپذیری) سرعت نور، برداشت ما را از مفاهیم فضا و زمان دگرگون کرده و بالاخره خواهیم دید که چطور این ایده‌های جدید در مورد فضا و زمان بازنگری اساسی در مورد مکانیک نیوتونی و تعریف مفاهیم بنیادی جرم، تکانه، انرژی و نیرو را ایجاب می‌کند. در پایان نسبیت عام که تعمیم نسبیت خاص است و چهار چوبهای مرجع شتابدار را نیز در بر می‌گیرد به طور خلاصه بررسی خواهیم کرد.

**۱- نسبیت** اندازه‌گیریهای فیزیکی **نسبت** به یک دستگاه مرجع معین انجام می‌شود. برای مثال، اگر زمان یک رویداد را در $t=5$ ثانیه در نظر بگیریم این بدان معناست که t برابر ۵ ثانیه **نسبت** به یک مبداء زمان $t=0$ است. اگر بگوییم که مکان یک پرتابه بابردار $\vec{r}=(x, y, z)$ داده شده است، منظورمان این است که بردار دارای مؤلفه‌های x, y, z **نسبت** به یک دستگاه مرجع با جهت‌گیری معین و مبداء معین در $\vec{r}=0$ است. اگر بخواهیم انرژی جنبشی K یک اتومبیل را که در جاده حرکت می‌کند بدانیم، بین اینکه K را نسبت به یک چارچوب مرجع که نسبت به جاده ثابت است اندازه بگیریم یا چارچوبی که

نسبت به اتومبیل ساکن است تفاوت زیادی وجود دارد (در مورد اخیر البته $K=0$ است). اندکی تفکر شما را متقاعد خواهد ساخت که تقریباً تمام اندازه‌گیریها محتاج مشخص کردن چارچوب مرجعی است که اندازه‌گیری نسبت به آن انجام می‌گیرد. این واقیعت را **نسبیت اندازه‌گیریها** می‌نامیم.

نظریهٔ نسبیت مطالعهٔ پیامدهای این **نسبیت اندازه‌گیریهاست**. شاید این مطلب که این مسئله می‌تواند موضوع جالب توجهی برای مطالعه باشد شگفت انگیز به نظر آید. با وجود این، اینشتین در اولین مقالهٔ خود در مورد نسبیت با بررسی دقیق رابطهٔ اندازه‌گیریها با دستگاه مختصات برداشت ما را از مفاهیم فضا و زمان دگرگون ساخت و نشان داد که مکانیک نیوتونی نیازمند بازنگری اساسی است.

نظریهٔ نسبیت در واقع از دو نظریهٔ تشکیل شده است. اولین نظریه که نسبیت **خاص** نام دارد از آن نظر خاص است که فقط چارچوبهای مرجع بدون شتاب را دربر می‌گیرد. این نظریه در مورد تابش و فیزیک اتمی و هسته‌ای کاربرد دارد.

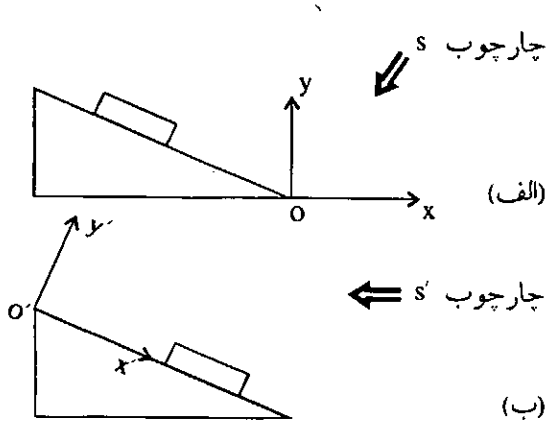
دومین نظریهٔ اینشتین، نظریهٔ نسبیت عام است که از آن جهت عام، نامیده می‌شود که شامل چارچوبهای مرجع شتابدار نیز می‌شود. اینشتین متوجه شد که مطالعهٔ مرجعهای شتابدار به طور طبیعی به نظریهٔ گرانش منجر می‌شود و نظریهٔ نسبیت عام در واقع گرانش نسبیتی است. در عمل، این نظریه در مواردی به کار می‌رود که با نظریهٔ گرانش نیوتونی تفاوتی بارز داشته باشد. این موارد شامل بررسی گرانش شدید در نزدیکی سیاهچاله‌ها، جهان در بزرگ مقیاس و اثر گرانش زمین بر اندازه‌گیریهای دقیق زمان (یک قسمت در $10^{12}$ و غیره) می‌شود.

## ۲- نسبیت جهت‌گیری و مبدأ در مطالعهٔ فیزیک

کلاسیک ما به نسبیت اندازه‌گیریها توجه چندانی نمی‌کنیم. البته واقیعتها چه به آنها توجه کنیم و چه نکنیم وجود دارند. این ادعای خود را با دو مثال روشن خواهیم کرد.

در مورد حرکت جسم روی سطح شیب‌دار، می‌توانیم دستگاه مختصات را به صورتهای مختلف انتخاب کنیم. برای مثال، می‌توان دستگاه مختصات S را با مبداء آن در پایین سطح شیب‌دار و محور ox به طور افقی، oy به طور عمودی و oz در عرض شیب در نظر گرفت (شکل ۱- الف)

حل هر مسئله نسبت به چارچوب مرجع S ممکن



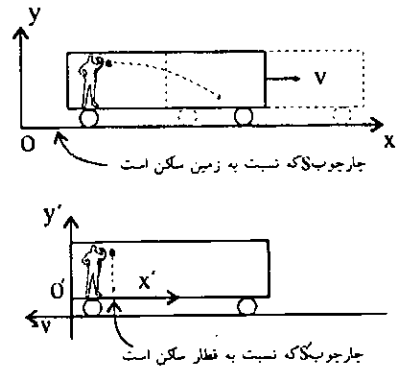

**شکل ۱-** در مطالعه جسم روی سطح‌شیب‌دار می‌توان **الف)** محورهای ox و oy را افقی و عمودی در نظر گرفت. ب) یک انتخاب مناسبتر در نظر گرفتن $ox'$ موازی با سطح شیب‌دار و $oy'$ عمود بر این سطح است. ( محورهای oz و $oz'$ به طرف خارج صفحه هستند و در شکل نشان داده نشده‌اند).

است با حل همان مسئله در چارچوب مرجع $S'$ متفاوت باشد و معمولاً انتخاب یک چارچوب مرجع مناسب حل مسئله را بسیار ساده‌تر از انتخابهای دیگر می‌سازد. از طرف دیگر، قوانین حرکت، یعنی قوانین نیوتون به انتخاب مبدأ و جهت محورها بستگی ندارند. به زبان نظریهٔ نسبیت، می‌توان گفت که قوانین نیوتون نسبت به انتخاب چارچوب مرجع S یا $S'$ **ناوردا** (بدون تغییر) هستند. زیرا این قوانین در هر دو چارچوب مرجع،یکسان هستند و می‌توان هر یک از آنها را که حل مسئله را ساده‌تر می‌کند انتخاب کرد.

ناوردایی قوانین نسبت به تغییر مبدأ و جهت محورها در تمام موارد در فیزیک کلاسیک- مکانیک نیوتونی، الکترومغناطیس و الکترودینامیک- صادق‌اند. این ناوردایی در نظریهٔ نسبیت اینشتین نیز وجود دارد. این بدان معناست که در هر مسئله فیزیک می‌توان هر مبدأ و محورهایی در هر جهت را انتخاب کرد. این آزادی بسیار سودمند است و ما اغلب از آن استفاده می‌کنیم.

**۳- چارچوبهای مرجع متحرک** به عنوان مثال جالب توجه دیگری از نسبیت، مسئله دو چارچوب مرجع که **نسبت** به هم حرکت می‌کنند را در نظر می‌گیریم. در این بحث سؤالهای جالبی در مورد فیزیک کلاسیک پیش می‌آید. سؤالهایی که فقط در صورتی می‌توانیم به آنها پاسخ درست دهیم که در ایدهٔ کلاسیکی خود در مورد دو چارچوب مرجع متحرک تجدید نظر کنیم.

فرض کنید که شخصی در قطاری که با سرعت V در امتداد خط افقی حرکت می‌کند ساکن است. اگر این شخص توپی را رها کند، این توپ در کجا به کف قطار برخورد می‌کند؟ یک راه پاسخگویی به این مسئله استفاده از چارچوب مرجعی است که نسبت به خط آهن ساکن باشد (شکل ۲. الف) در این چارچوب مرجع، شخص و قطار با سرعت ثابت V به طرف راست حرکت می‌کنند. در لحظهٔ رها ساختن، توپ با سرعت V حرکت می‌کند و در اثر نیروی گرانش مسیر سهمی را طی می‌کند. بنابراین باید در طرف راست نقطهٔ رها شدن فرود آید (چنانکه در چارچوب S اندازه گرفته می‌شود). به هر حال، در هنگام سقوط توپ،قطار نیز حرکت می‌کند و یک محاسبهٔ سر راست نشان می‌دهد که قطار همان اندازه به راست حرکت می‌کند که توپ. پس توپ در پایین پای شخص فرود می‌آید.




**شکل ۲-** الف) اگر از مرجعی که نسبت به زمین ساکن است نگاه کنیم قطار و شخص ساکن در آن، به طرف راست حرکت می‌کنند؛ توپ مسیر سهمی را طی می‌کند و در پایین پای شخص به کف قطار می‌افتد. ب) در چارچوب مرجعی که نسبت به قطار ساکن است. توپ به طور قائم، فرو می‌افتد و در پایین پای شخص به کف قطار برخورد می‌کند.

گرچه محاسبهٔ بالا ساده است اما با استفاده از چارچوب مرجع S′ که متصل به قطار است ساده‌تر نیز می‌شود. در این دستگاه مختصات شخص و قطار هر دو ساکن‌اند (در حالی که خط آهن با سرعت V- حرکت می‌کند). در لحظه رها ساختن، توپ در حال سکون است (در چارچوب مرجع S′). بنابراین به طور عمودی سقوط می‌کند و درست پایین پای نقطهٔ رها شدن به کف قطار می‌رسد.

توجیه این آزمایش بسیار ساده این است که ما فرض کرده‌ایم که شخص در قطار (با مختصات x′، y′ و z′) می‌تواند از قوانین حرکت استفاده کند و بنابراین پیش‌بینی می‌کند که توپی که از حال سکون رها شده است به طور عمودی فرود می‌آید. اما آیا این استدلال درست است؟ سؤال این است که اگر به عنوان یک واقعیت تجربی بپذیریم که قوانین حرکت نیوتونی برای یک ناظر در روی زمین (با مختصات x، y و z) صادق‌اند، آیا می‌توان نتیجه گرفت که این قوانین برای ناظر متحرک در قطار نیز صادق هستند؟ به عبارت دیگر آیا قوانین نیوتون با تغییر از چارچوب مرجع S به چارچوب مرجع S′ ناوردا هستند؟

پاسخ فیزیک کلاسیک به این سؤال مثبت است.

چون قوانین نیوتون با سرعت و شتاب سر و کار دارند. ابتدا سرعت توپ را در نظر می‌گیریم. اگر سرعت توپ در چارچوب مرجع S برابر $\vec{u}$ و در چارچوب S′ برابر $\vec{u}'$ باشد. چون قطار با سرعت ثابت نسبت به زمین حرکت می‌کند انتظار داریم که رابطهٔ زیر برقرار باشد:

$$\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v} \qquad (۱)$$

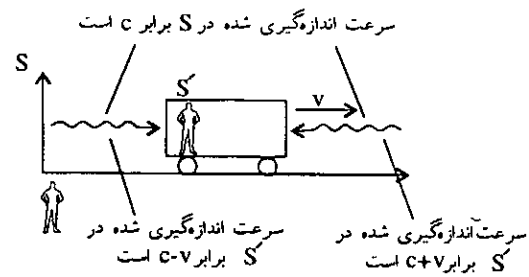
رابطهٔ بالا، بیان کنندهٔ قانون جمع سرعتها در مکانیک کلاسیک است. که ایدهٔ متداول ما را در مورد زمان و مکان منعکس می‌کند و نشان می‌دهد که جمع سرعتها از قانون جمع برداری پیروی می‌کند. اگرچه رابطهٔ بالا یکی از روابط اساسی فیزیک کلاسیک است ولی اولین قربانی نسبیت اینشتین نیز هست.

می‌توان به آسانی ثابت کرد که همهٔ قوانین نیوتون اگر در چارچوب مرجع S صادق باشند در چارچوب S′ نیز صادق هستند. یعنی، اگر فضا و زمان دارای مشخصاتی باشند که در فیزیک کلاسیک برای آنها در نظر گرفته شود، قوانین نیوتون در انتقال از یک چارچوب مرجع به

چارچوب دیگری که نسبت به آن با سرعت ثابت حرکت می‌کند ناوردا هستند.

این قوانین در دستگاههای مختصاتی که **شتاب می‌گیرند** صادق نیستند. درک این مطلب از نظر فیزیکی ساده است. اگر قطار در حال شتاب گرفتن باشد برای ساکن نگهداشتن توپ (نسبت به قطار) باید به آن نیرو وارد کنیم. یعنی اولین قانون نیوتون در ترن در حال شتاب‌گیری صادق نیست. در فیزیک کلاسیک چارچوبهای بدون شتاب را که قوانین نیوتون در آنها صادق‌اند، **چارچوبهای لخت** و چارچوبهای شتابدار را **نالخت** می‌نامند.

**٤- نسبیت کلاسیکی و سرعت نور** اگرچه قوانین نیوتون در تبدیل از یک چارچوب مرجع به چارچوب دیگری که بدون شتاب است ناوردا هستند، اما این موضوع در مورد قوانین الکترومغناطیس صادق نیست. به عنوان مثال چارچوب S′ را در نظر بگیرید که نسبت به چارچوب S حرکت می‌کند (شکل ۳)




**شکل ۳-** چارچوب S′ با سرعت V نسبت به S حرکت می‌کند. اگر در چارچوب S نور با سرعت ثابت c در تمام جهتها حرکت کند (طبق فرمول جمع سرعتهای کلاسیکی) سرعت آن در چارچوب S′ در تمام جهتها یکسان نیست.

فرض کنید که یک علامت نوری در جهت حرکت S′ حرکت می‌کند. سرعت این علامت در چارچوب S برابر c است. بنابراین، با توجه به فرمول جمع سرعتها سرعت آن در چارچوب S′ برابر c-V می‌شود. همین طور علامتی که در جهت خلاف آن حرکت می‌کند در چارچوب S′ دارای سرعت c+V خواهد بود. بنابراین در فیزیک کلاسیک قوانین الکترومغناطیس- بر خلاف قوانین مکانیک- در چارچوب S′ صادق نیستند.

در پایان قرن نوزدهم فیزیکدانها متوجه این مطلب شده بودند و تصور می‌کردند که تنها یک چارچوب مرجع به نام **چارچوب اتر** وجود دارد که در آن نور با سرعت c در تمام جهتها حرکت می‌کند. نام چارچوب اتر با توجه به این باور انتخاب شده بود، که همان طور که امواج صوتی در هوا منتشر می‌شوند. امواج نورانی نیز در محیطی به نام اتر منتشر می‌شوند. چون نور در خلاء نیز منتشر می‌شود، فیزیکدانها متوجه شده بودند که محیط اتر که تا آن زمان هیچکس آن را ندیده و احساس نکرده بود باید دارای مشخصات غیرعادی باشد. بنابراین با توجه به عنصر باستانی اثیر که تصور می‌شد آسمانها از آن ساخته شده است آن را اتر نامیدند.

چنانکه خواهیم دید، طبق نظریهٔ نسبیت اینشتین اتر و چارچوب اتر وجود خارجی ندارد.

**۵- آزمایش مایکلسون- مورلی** حال می‌توانیم تصویری که از نسبیت کلاسیکی داریم را به سرعت مرور کنیم. در فیزیک کلاسیک بعضی از ایده‌های ما در مورد فضا و زمان، که بر مبنای تجربیات روزمره‌مان قرار دارند، مسلم فرض می‌شوند برای مثال، فرض می‌کنیم که جمع سرعتهای نسبی از قاعده جمع بردارها پیروی می‌کند و زمان کمیتی جهانی است که همهٔ ناظرها در مورد آن توافق دارند. بر این مبنا دیدیم که قوانین نیوتون باید در تمام چارچوبهای مرجع که به طور یکنواخت نسبت به هم حرکت می‌کنند معتبر باشد. همچنین دیدیم که باید یک چارچوب مرجع، به نام چارچوب اتر، وجود داشته باشد که نسبت به آن، قوانین الکترومغناطیس نیز معتبراند و در آن نور با سرعت ثابت c در تمام جهتها حرکت می‌کند.

شاید تاکید بر این نکته ضروری باشد که اگرچه این دیدگاه از طبیعت درست نیست، اما کاملاً منطقی و دارای سازگاری درونی است. شاید بتوان به طور فلسفی استدلال کرد که این تفاوت میان مکانیک و الکترومغناطیس کلاسیک شگفت انگیز و حتی ناخوشایند است. اما بر مبنای این بحثهای نظری نمی‌توان به تنهایی در مورد درستی دیدگاه کلاسیکی تصمیم گرفت. پاسخ این ایراد را فقط می‌توان با آزمایش داد. به ویژه، چون فیزیک کلاسیک ایجاب می‌کرد که فقط یک چارچوب مرجع وجود داشته باشد که در آن نور با یک سرعت ثابت در تمام جهتها حرکت کند، باید آزمایشی وجود داشته باشد که نشان دهد این مطلب درست است یا خیر. این آزمایش ابتدا توسط مایکلسون و سپس به توسط مایکلسون و مورلی بین سالهای ۱۲۵۹/۱۸۸۰ و ۱۲۶۶/۱۸۸۷ ترتیب داده شد.

با فرض وجود یک چارچوب مرجع اتر، روشن است

که زمین در حرکت خود به دور خورشید باید نسبت به چارچوب اتر حرکت کند. اصولاً، آشکارسازی این حرکت نباید چندان مشکل باشد. باید ابتدا سرعت نور (نسبت به زمین) را در جهتهای مختلف اندازه گرفت. اگر این سرعتها متفاوت باشند، می‌توان نتیجه گرفت که زمین نسبت به چارچوب اتر حرکت می‌کند و یک محاسبهٔ ساده سرعت این حرکت را تعیین خواهد کرد. اما اگر سرعت نور در تمام جهتها دقیقاً برابر به دست آید، نتیجه‌گیری این بود که در هنگام اندازه‌گیری زمین نسبت به چارچوب اتر ساکن بوده است. در این صورت، باید احتمالاً آزمایش را چند ماه بعد، که در آن زمان سرعت زمین نسبت به اتر باید غیر صفر باشد، تکرار کرد. اصولاً انجام این آزمایش به واسطهٔ سرعت بسیار زیاد نور که برابر:

$$c = ۳\times۱۰^{۸}\ m/S$$

است بسیار مشکل می‌باشد. اگر سرعت ما نسبت به اتر $v$ باشد. سرعتهای مشاهده شده باید بین $c-v$ و $c+v$ تغییر کنند. اگرچه مقدار $v$ نامعلوم است، اما اگر مقدار متوسط آن در حدود سرعت حرکت زمین به گرد خورشید یعنی:

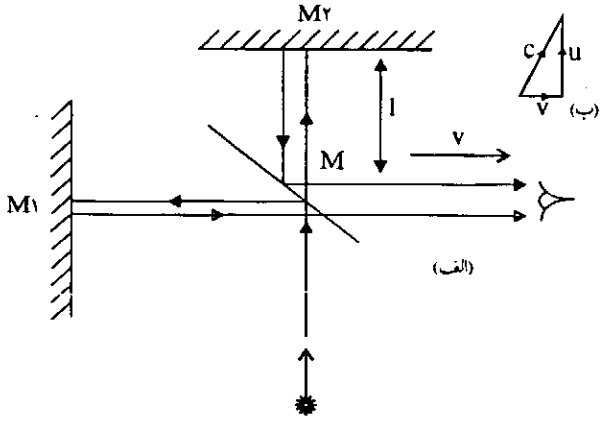
$$v = ۳\times۱۰^{۴}\ m/S$$

در نظر بگیریم. تغییر در سرعت مشاهده شدهٔ نور به علت حرکت زمین باید در حدود ۱ قسمت در $۱۰^{۴}$ باشد. این تغییر سرعت کوچکتر از آن بود که بتوان آن را با امکانات آن زمان مستقیماً اندازه گرفت.

برای اجتناب از اندازه‌گیری مستقیم، مایکلسون تداخل‌سنجی ابداع کرد که در آن یک باریکهٔ نور با استفاده از یک سطح نیم شفاف به دو باریکه شکافته می‌شد. این باریکه‌ها در مسیرهای عمود بر هم حرکت می‌کردند و سپس با هم ترکیب و یک الگوی تداخلی را به وجود می‌آوردند. این الگو به تفاوت سرعت نور در دو جهت عمود بر هم حساس بود و می‌توانست برای آشکارسازی هر گونه تفاوتی به کار رود.

شکل ٤ نمودار سادهٔ تداخل‌سنج مایکلسون را نشان می‌دهد. نور از چشم به آینهٔ نیم شفاف M برخورد می‌کند و دو باریکه شکافته می‌شود که به طرف آینه‌های $M_۱$ و $M_۲$ حرکت می‌کنند. این دو باریکه از این آینه‌ها بازتابیده می‌شوند و به M بازمی‌گردند که قسمتی از هر باریکه را به طرف ناظر می‌فرستد. بدین ترتیب ناظر دو علامت دریافت می‌کند که برحسب اختلاف فازشان می‌توانند با یکدیگر به طور سازنده یا مخرب تداخل کنند.

برای محاسبهٔ این اختلاف فاز، فرض کنید که طول دو بازوی تداخل‌سنج از M به $M_۱$ و به $M_۲$ درست برابر $l$ است. در این صورت اختلاف فاز به علت اختلاف سرعت دو باریکه در حرکت در امتداد دو بازو است.




**شکل ۲-** (الف) نمودار طرح‌وار تداخل‌سنج مایکلسون. M آینه نیم شفاف است. بردار $\vec{V}$ سرعت نسبی زمین نسبت به چارچوب فرضی اتر است. (ب) نمودار جمع برداری که سرعت نور نسبت به زمین را در حرکت از M به $M_۲$ تعیین می‌کند. سرعت c نسبت به اتر جمع برداری $\vec{u}$ و $\vec{v}$ است.

برای سادگی، فرض می‌کنیم که بازوی $l$ با سرعت زمین $\vec{u}$ موازی است. در این مورد نور از M به $M_۱$ با سرعت $c-v$ و از $M_۱$ به M با سرعت $c+v$ حرکت می‌کند. بنابراین زمان کل این رفت و برگشت برابر است با:

$$t_۱ = \frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} = \frac{۲lc}{c^۲ - v^۲} \qquad (۲)$$

رابطهٔ بالا را برحسب نسبت $\beta = \frac{V}{c}$ می‌نویسیم در این صورت خواهیم داشت:

$$t_۱ = \frac{۲l}{c}\sqrt{۱-\beta^۲} \approx \frac{۲l}{c}(۱+\beta^۲) \qquad (۳)$$

سرعت حرکت از M به $M_۲$ از نمودار شکل ٤. ب به دست می‌آید.

$$u = \sqrt{c^۲ - v^۲}$$

چون این سرعت در رفت و برگشت یکی است. پس زمان کل رفت و برگشت در مسیر ۲ برابر است با:

$$t_۲ = \frac{۲l}{\sqrt{c^۲ - v^۲}} = \frac{۲l}{c\sqrt{۱-\beta^۲}} \approx \frac{۲l}{c}\left(۱+\frac{۱}{۲}\beta^۲\right) \qquad (٤)$$

با مقایسهٔ (۳) و (٤) اختلاف زمان در حرکت (انتشار) نور از دو مسیر از رابطهٔ زیر بدست می‌آید

$$\Delta t = t_1 - t_2 \approx \frac{1}{c}\beta^2 \qquad (5)$$

اگر $\Delta t$ صفر باشد. دو موج همفاز خواهند بود و به طور سازنده تداخل می‌کنند که نتیجهٔ آن یک علامت نورانی درخشان است. همین طور اگر $\Delta t$ مضرب درستی از دورهٔ نور یعنی $T=\frac{\lambda}{c}$ ($\lambda$ طول‌موج نور است) باشد، تداخل سازنده است. اگر $\Delta t$ برابر نیم دوره باشد یعنی $\Delta t = 0/5T$ (یا $1/5T$، $2/5T$ و...) دو موج همفاز نخواهند بود و به طور ویرانگر تداخل می‌کنند. به طور خلاصه می‌توان گفت که اگر نسبت زیر را در نظر بگیریم:

$$N = \frac{\Delta t}{T} = \frac{1\beta^2/c}{\frac{\lambda}{c}} = \frac{1\beta^2}{\lambda} \qquad (6)$$

در صورتی که N عدد درست باشد امواج به طور سازنده تداخل می‌کنند و اگر N نیم درست باشد تداخل ویرانگر خواهد بود.

اختلاف فاز در رابطهٔ (٦) ناشی از حرکت زمین نسبت به چارچوب فرضی اتر است. در عمل غیرممکن است که بتوان به تساوی طول دو بازوی تداخل‌سنج اطمینان داشت. بنابراین یک اختلاف فاز نامعلوم اضافی به علت اختلاف طول دو بازوی تداخل‌سنج وارد می‌شود. برای غلبه بر این مشکل، مایکلسون و مورلی تداخل‌سنج را $90^\circ$ چرخاندند و الگوی تداخل را مشاهده کردند. این چرخش اختلاف فاز ناشی از اختلاف طول دو بازوی تداخل‌سنج را تغییر نمی‌دهد، اما اختلاف فاز ناشی از حرکت زمین **وارون** می‌شود. بنابراین در اثر چرخش، مقدار اختلاف فاز **دو برابر** مقدار رابطهٔ (٦) می‌شود.

$$\Delta N = \frac{2l\beta^2}{\lambda} \qquad (7)$$

یعنی الگوی تداخل مشاهده شده باید $\Delta N$ بار از روشن به تاریک و مجدداً به روشن انتقال یابد. در صورت مشاهدهٔ این انتقال، حرکت زمین نسبت به چارچوب فرضی اتر را تأیید می‌کرد و اندازه‌گیری آن مقدار $\beta$ و در نتیجه سرعت حرکت زمین $v=\beta c$ را به دست می‌داد.

مایکلسون و مورل در آزمایشی که در سال ۱۸۸۷/۱۲٦٦ انجام دادند از تداخل‌سنجی با طول بازوی $l\simeq 11m$ (این طول با رفت و برگشت نور بین چند آینه به دست می‌آمد) استفاده کردند، طول موج نور مورد استفاده آنها $\lambda=590nm$ بود و دیدیم که $\beta$ در حدود $10^{-4}$ است. در نتیجه باید حداقل انتقالی برابر مقدار زیر به دست می‌آمد

$$\Delta N = \frac{2l\beta^2}{\lambda}$$

$$\Delta N = \frac{2l\beta^2}{\lambda} = \frac{2\times(11m)\times(10^{-4})^2}{590\times10^{-9}} \approx 0/4$$

اگرچه آنها می‌توانستند انتقالی به کوچکی ۰/۰۱ را نیز آشکار کنند ولی هنگام چرخش تداخل‌سنج هیچگونه انتقالی را مشاهده نکردند.

نتیجهٔ حاصل از این آزمایش به اندازه‌ای شگفت انگیز بود که تقریباً برای مدت ۲۰ سال آن را جدی نگرفتند. نظریه‌های چندی نیز مطرح شدند که با توجیه نتیجهٔ آزمایش مایکلسون- مورلی به گونه‌ای حرکت زمین نسبت به چارچوب اتر را حفظ می‌کرد. امروزه، تقریباً همهٔ فیزیکدانها در مورد این نکته توافق دارند که شکست مایکلسون و مورلی در آشکارسازی حرکت‌سنج زمین نسبت به چارچوب اتر بدان سبب است که چنین چارچوبی وجود ندارد. اولین کسی که این نتیجهٔ شگفت را پذیرفت و نظریهٔ جدیدی را بر مبنای آن گسترش داد اینشیتن بود که نظریهٔ وی را در ادامهٔ بحث بررسی خواهیم کرد.

**ادامه دارد**

# الکتریسیته جوی

نوشتهٔ هاریس بنسون
ترجمهٔ محمدعلی سعادت‌بخت

برق آسمان ترس و حیرت در انسان به وجود می‌آورد و باستانیان آن را نمایشی از خشم خدایان می‌پنداشتند. در اواسط قرن هجدهم بنجامین فرانکلین (Franklin Benjamin) نشان داد که برق آسمان در واقع پدیده‌ای الکتریکی است. در این مقاله دربارهٔ برخی از جنبه‌های برق آسمان و چگونگی ایجاد توفانهای تُندَری بحث می‌کنیم. نخست از این واقعیت که با آن آشنایی کمتری داریم آغاز می‌کنیم که میدان الکتریکی در جوّ حتی در هوای صاف نیز وجود دارد.

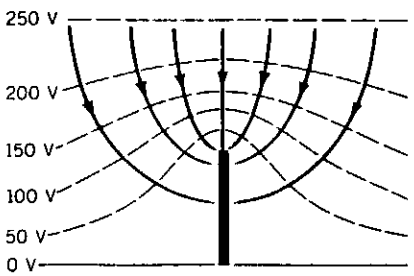
**میدان الکتریکی در هوای صاف** (the fair - weather field)

در روزهای صاف، میدان الکتریکی تقریباً $100\ \frac{V}{m}$ رو به پایین در مجاورت سطح زمین وجود دارد. از معادلهٔ $E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$، نتیجه می‌گیریم که چگالی سطحی بار در روی زمین حدود $-10^{-9}\frac{C}{m^2}$ است. خطهای میدان از یک لایهٔ باردار مثبت در ارتفاعی حدود 50 km یعنی از حد پایینی ناحیه‌ای به نام یونسپهر (یونوسفر) شروع می‌شوند. اختلاف پتانسیل الکتریکی بین زمین و این لایه در حدود $3\times10^{5}V$ است. (شدت میدان با ارتفاع کاهش می‌یابد بنابراین اختلاف پتانسیل 5 MV نیست.)

زمین و یونسپهر هر دو رساناهای خوب هستند. گر چه هوای خشک عایق خوبی است، اما جو زمین امکان می‌دهد که بارها جریان یابند. زیرا در جو یونهای اکسیژن و نیتروژن وجود دارند که به وسیلهٔ پرتوهای کیهانی و رادیواکتیویتهٔ طبیعی، و در ارتفاعهای بیشتر، به وسیلهٔ فوتویونش حاصل از پرتوهای فرابنفش و پرتوهای X خورشید ایجاد می‌شوند. انتظار می‌رود که جریان قائم درون هوا ($3\times10^{-12}\frac{A}{m^2}$ یا 1500 A در کل زمین) در مدت ۱۰ دقیقه به خنثی شدن بارهای روی زمین انجامد. خواهیم دید که انتقال بار مربوط به برق آسمان است که میدان هوای صاف را برقرار می‌کند.

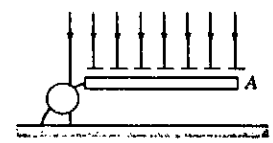
از روی مقدار شدت میدان هوای صاف، پی می‌بریم که اختلاف پتانسیل بین دو سطح تراز به فاصلهٔ ۲ متر در حدود ۲۰۰ ولت است. آیا این اختلاف پتانسیل تهدیدی برای مردم است؟ آیا می‌تواند به عنوان منبع انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد؟ خیر زیرا اشیائی مانند مردم، موتورها، درختها رساناهای خوبند، و همهٔ قسمتهای یک رسانا در تماس با زمین هم پتانسیل با زمین هستند در نتیجه، سطح‌های هم پتانسیل، هم چنان که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند، تغییر شکل می‌یابند.

شدت میدان هوای صاف را با ابزاری به نام آسیاب میدان (field mill) می‌توان اندازه گرفت. هنگامی که صفحهٔ فلزی افقی A به زمین متصل شود، (مطابق شکل ۲- الف) سطح بالایی آن دارای بار منفی می‌شود، این بارها توسط میدان

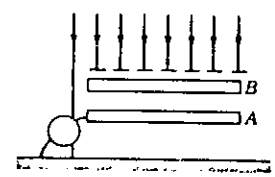



**شکل ۱-** میلهٔ فلزی فرو رفته در زمین هم پتانسیل با زمین است. سطح‌های هم پتانسیل افقی تغییر شکل می‌یابند.

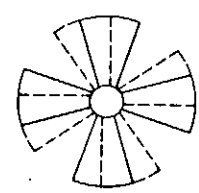
خارجی نگهداشته می‌شوند. اگر صفحهٔ فلزی دیگر B ناگهان روی A را مطابق شکل ۲- ب بپوشاند، خطهای میدان دیگر به A نمی‌رسند، بنابراین بار منفی از طریق یک اسباب اندازه‌گیری به زمین می‌رود. در عمل، A و B به شکل پره هستند (شکل ۲- پ) هنگامی که صفحهٔ بالایی می‌چرخد، صفحهٔ پایینی را متناوباً در معرض میدان قرار می‌دهد و از تأثیر میدان حفاظت می‌کند. جریان از صفحهٔ پایینی به شکل پالسهایی است که می‌توانند تقویت و درجه‌بندی شوند تا شدت میدان را به دست دهند.




(الف)



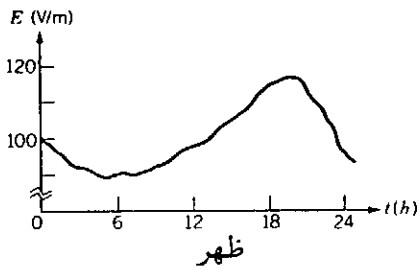

(ب)



(پ)

**شکل ۲-** (الف) میدان زمین باری را روی صفحهٔ فلزی متصل به زمین القاء می‌کند.
(ب) هنگامی که این صفحه دارای حفاظ می‌شود بار القاء شده از اسباب آشکارسازی می‌گذرد.
(پ) در آسیاب میدان، صفحات بالایی و پایینی به شکل پره هستند. هنگامی که پرهٔ بالایی می‌چرخد، جریانی پالسی تولید می‌شود که می‌توان آن را تقویت و ثبت کرد.

میدان هوای صاف در طول روز تغییر می‌کند. هنگامی که میدان در نزدیکی دریا، به دور از آشفتگیهای دیگر، اندازه‌گیری می‌شود شگفت‌آور است که بیشترین شدت میدان در حدود ۷ بعد از ظهر GMT (Mean Time Greenwich زمان میانگین گرینویچ) و کمترین آن در حدود ٤ پیش از ظهر GMT در همهٔ نقاط گرداگرد کرهٔ زمین روی می‌دهد (شکل ۳). به علت رسانایی زیاد زمین و یونسپهر، تغییرات محلی در چگالی بار به سرعت گرداگرد زمین پخش می‌شود.



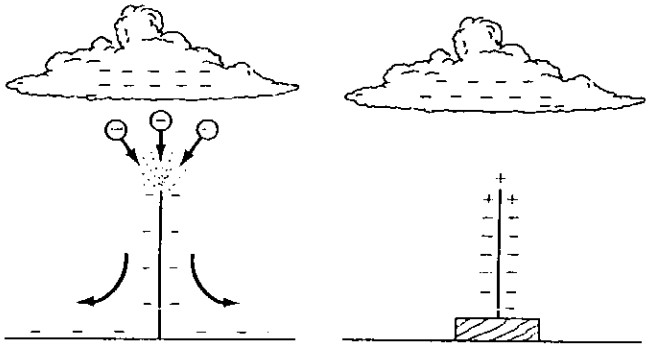

**شکل ۳-** میدان هوای صاف با گذشت زمان در سراسر زمین به یک وضع تغییر می‌کند.

## آزمایش فرانکلین با بادبادک

در سال ۱۱۲۹ (۱۷۵۰ م)، بن فرانکلین یک رسانای نوک تیز متصل به زمین را به جسم بارداری نزدیک کرد و دریافت که این رسانا سریع‌تر از رسانای بی‌نوک می‌تواند جسم را از بار تخلیه کند. او حدس زد که اگر ابرهای تُندری (thunderclouds) باردار باشند، شاید بار آنها را نیز بتوان بدون خطر تخلیه کرد، و به این وسیله از آسیب برق آسمان (lightning) جلوگیری کرد. ابتداء او می‌بایست نشان می‌داد که ابر تندری باردار است. رهیافت او، با بیان جدید، به صورت زیر عنوان می‌شود.

شکل ۳- الف میلهٔ فلزی نصب شده روی پایهٔ عایقی را در زیر یک ابر تندری که قاعده آن بار منفی دارد نشان می‌دهد. میدان الکتریکی، که به طور قائم رو به بالاست، جدایی بارها را در میله القاء می‌کند. بارهای منفی موجود در هوا مقداری از بار مثبت در نوک میله را خنثی می‌کند و از این رو میله بار منفی اضافی پیدا می‌کند. یک رسانای متصل به زمین، مثلاً یک شخص، با نزدیک کردن انگشت خود به میلهٔ باردار نصب شده بر پایهٔ عایق جرقه‌ای برمی‌انگیزد. ولی اگر میله به زمین متصل باشد، مانند شکل ۳ـب، بار منفی از میله به زمین جریان می‌یابد و ممکن است فروغ (glow) ضعیفی در سر میله دیده شود. این تخلیهٔ تابان توسط الکترونهایی ایجاد می‌شود که در اثر میدان الکتریکی قوی در نزدیکی سر میله شتاب می‌گیرند و سپس موجب یونش مولکولها می‌شوند. هنگامی که

مولکولها با الکترونهای دیگر از نو ترکیب می‌شوند، نور گسیل می‌شود. در قرن چهارم میلادی چنین فروغی از دکلها و طنابها و بادبانهای کشتیها، آتش سنت‌المو (Saint Elmo's fire) نامیده می‌شد.




**شکل ۳-** (الف) در یک میلهٔ فلزی دارای پایهٔ عایق جدایی بار وجود دارد.
(ب) اگر میله به زمین متصل باشد، جریان ثابتی به وجود می‌آید.

فرانکلین برای آنکه نشان دهد ابر تندری باردار است پیشنهاد کرد که یک شخص در اتاقک دیدبانی می‌تواند به وسیلهٔ یک میلهٔ فلزی بلند و دارای پایهٔ عایق جرقه‌هایی به این ترتیب ایجاد کند که سر یک سیم متصل به زمین- گرفته شده با دستهٔ عایق برای حفاظت شخص- را به میله نزدیک کند.

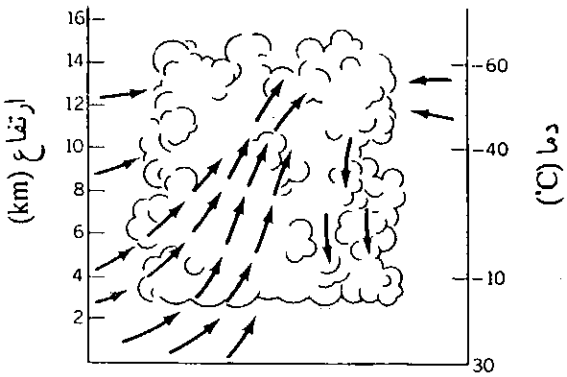
دانشمندان در فرانسه، که از این پیشنهاد آگاه شده بودند، یک میلهٔ ۱۲ متری (۴۰ فوتی) بر پا داشتند و در اردیبهشت ۱۱۳۱ (می ۱۷۵۲) جرقه‌های مورد انتظار را به دست آوردند. فرانکلین پیش از آنکه از موفقیت خود و همکارانش با خبر شود تصمیم گرفت که یک بادبادک با یک سیم نوک تیز متصل به آن، مقصود او را به خوبی بر می‌آورد. از همین رو، بادبادکی را به یک ابر تندری که در حال نزدیک شدن بود به هوا فرستاد و نخ ابریشمی آن را در دست نگهداشت و مراقب بود که خیس نشود. فرانکلین یک کلید به نخ وصل کرده بود. هنگامی که دید پرزهای نخ سیخ شده‌اند تشخیص داد که نخ باردار شده است و با بند انگشت خود جرقه‌ای از کلید کشید. این آزمایش نشان داد که یک ابر تندری باردار است و، به طور غیر مستقیم، برق آسمان یک پدیدهٔ الکتریکی است، آزمایشهای بادبادک و اتاقک دیدبانی هر دو بسیار خطرناک هستند. چند ماه بعد، پروفسور ریچمان از سنت پترزبرگ (Richmann of Saint Petersberg) که تلاش می‌کرد آزمایش اتاقک دیدبانی را تکرار کند، هنگامی که میله، جرقهٔ برق را هدایت می‌کرد در جا کشته شد.

بنجامین فرانکلین در حال انجام آزمایش خود با بادبادک

## توفانهای تندری (thunderstorms)

در هر روز تقریباً ۴۰۰۰۰ توفان تندری در سراسر کرهٔ زمین و در هر ثانیه در حدود ۱۰۰ آذرخش برق آسمان پدید می‌آید. ابر توفان تندری کومه‌ای بارا (cumulonimbus) ابتدا، به صورت یک تودهٔ ابر نسبتاً کوچک گستردگی را از ارتفاع ۲ تا ۵ km شروع می‌کند. ابر تندری توسط یک فرازهنج[1] (updraft) قوی از هوای گرم و مرطوب تشکیل می‌شود. ابر به سرعت از نظر اندازه رشد می‌کند و در ظرف چند دقیقه به ارتفاع ۱۰ تا ۱۵ km می‌رسد. از آنجا که فشار با ارتفاع کاهش می‌یابد، هوای مرطوب هنگام بالا رفتن منبسط می‌شود و دمای آن کاهش می‌یابد. سپس بخار آب با چگالش (میعان) به صورت قطره‌هایی در می‌آید و گرمای نهان خود را از دست می‌دهد. این عمل باعث می‌شود که هوای مرطوب گرمتر از هوای خشک مجاور باشد، و بنابراین هوای مرطوب با سرعتی حدود $۲۵\frac{m}{s}$

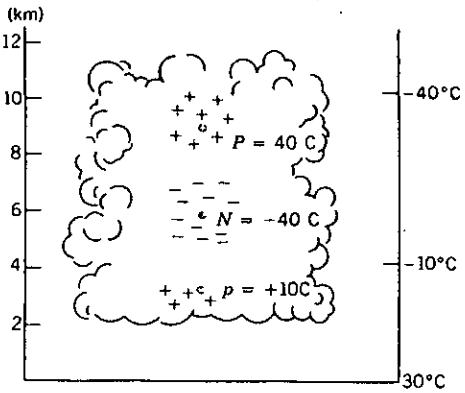
رو به بالا به حرکت ادامه می‌دهد. نزدیک به بالای ابر، هوای خشک مجاور با فرازهنج مخلوط شده و موجب می‌شود که قطره‌ها با تبخیر سطحی سرد شوند. بلورهای یخ تشکیل می‌شوند و با برخورد به قطره‌های آب به صورت دانه‌های تگرگ درمی‌آیند. هنگامی که دانه‌های تگرگ آن قدر سنگین می‌شوند که فرازهنج نتواند سنگینی آنها را تحمل کند، شروع به ریزش می‌کنند، و در ناحیه‌ای از ابر، فروهنجی (downdraft) تشکیل می‌دهد که با فرازهنج یکدیگر را نمی‌پوشانند (شکل ۴). چون معمولاً دانه‌های تگرگ پیش از رسیدن به زمین ذوب می‌شوند، ریزش باران سنگینی وجود دارد. ابرتوفان تندری با سرعتی حدود ۳۰ $\frac{km}{h}$ به طور افقی حرکت می‌کند، هوای تازه و مرطوب گردآوری می‌کند. در مرحله‌های نهائی گسترش ابر تندری، فروهنج مستولی می‌شود و باران سبکی می‌بارد.




شکل ۴- ابر توفان تندری. فرازهنجی از هوای گرم و مرطوب تا آنجا بالا می‌رود که بلورهای یخ تشکیل شوند. بلورهای یخ به صورت دانه‌های تگرگ در می‌آیند و در ناحیه‌ای از فروهنج ریزش می‌کنند.

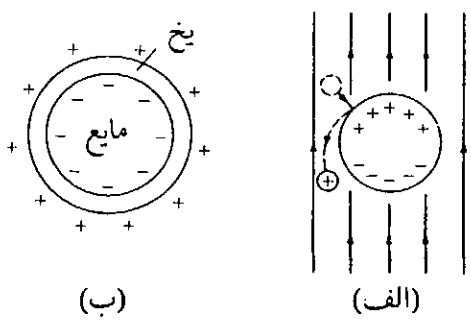
## جدایی بار

ویژگی مهم ابر تندری ظاهر شدن مقادیر زیاد بار در پایین و بالای ابر است. اندازه‌گیریهای بار درون ابر، و اندازه‌گیریهای میدان الکتریکی در سطح زمین، نشان می‌دهند که قسمت پایینی ابر دارای بار منفی شده است (N= -۴۰C) و حال آنکه قسمت بالایی آن دارای بار مثبت شده است (p= +۴۰C) (شکل ۵). هم‌چنین بار کوچک مثبتی (P= +۱۰C) در قاعدهٔ ابر وجود دارد. میدان زیر ابر تندری، که در خلاف جهت میدان هوای صاف است، شدتی حدود $۱۰^{۴}$ $\frac{V}{m}$ دارد. اختلاف پتانسیل بین قاعدهٔ ابر و زمین حدود ۳ مگا ولت است.

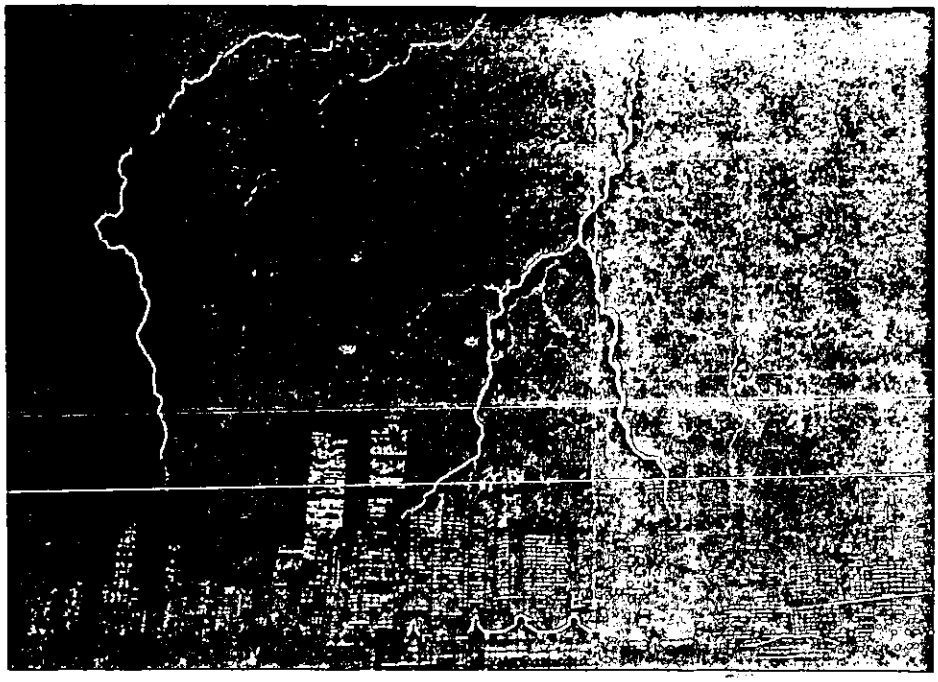



شکل ۵- جدایی بار در ابر تندری

سازوکار (مکانیسم) جدایی بار روشن نیست. در اینجا یکی از طرح‌های پیشنهادی را بیان می‌کنیم. هنگامی که دانهٔ تگرگ فرو می‌ریزد به وسیلهٔ میدان هوای صاف موجود قطبی می‌شود: پایین آن مثبت است و حال آنکه بالای آن منفی است، به مانند شکل ٦ الف. یک قطرهٔ کوچک آب، یا یک بلور کوچک یخ، می‌تواند به قسمت پایینی تگرگ برخورد کند و بار مثبت به دست آورد. این ذره باردار مثبت سبک‌تر به وسیلهٔ فرازهنج بالا برده می‌شود، اما دانه‌های تگرگ باردار منفی به ریزش ادامه می‌دهند. میدان الکتریکی با این جدایی بار تقویت می‌شود و حتی قطبش بزرگتری در دانه‌های تگرگ ایجاد می‌کند. این رویداد «فیدیک (پس خوران) مثبت» در بر دارد. یونهایی که در هوا وجود دارند احتمالاً در این اثر سهیم هستند.




شکل ٦- (الف) یک قطرهٔ ریز هنگامی که با طرف پایینی مثبت دانهٔ تگرگ برخورد می‌کند می‌تواند باردار شود. (ب) هنگامی که قطرهٔ آب شروع به منجمد شدن می‌کند، لایه‌ای از یخ با بارهای نشان داده شده تشکیل می‌شود.



**شکل ۷-** آذرخش برق آسمان

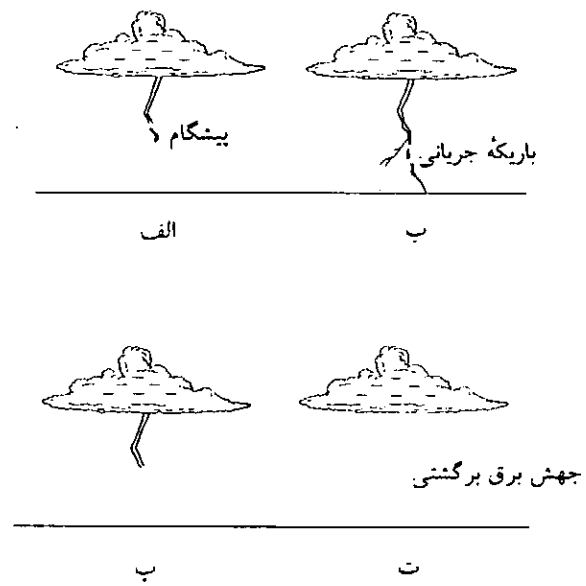
سازوکار دیگر متضمن فرآیند منجمد شدن است. معلوم شده است که وقتی اختلاف دما در دو طرف نمونه‌ای از یخ وجود داشته باشد، طرف گرم باردار منفی می‌شود، و این به آن علت است که یونهای سبک $H^+$ بیشتر از یونهای $OH^-$ قابلیت تحرک دارند. یونهای $H^+$ از طرف گرم به تعداد بیشتری جا به جا می‌شوند و بار نامتوازن منفی بر جای می‌گذارند. هنگامی که قطره منجمد می‌شود، ابتداء لایهٔ نازکی از یخ نخست در سطح آن تشکیل می‌شود. همین که مایع درون آن منجمد شد، گرمای نهان ذوب را از دست می‌دهد و بنابراین دمای سطح درونی پوسته بیشتر از دمای سطح بیرونی آن ست. به علت این اثرترموالکتریک، سطح بیرونی باردار مثبت می‌شود (شکل ٦ ب). برخورد با ذرهٔ دیگر ممکن است پوسته را بشکند، و امکان دهد خرده‌های یخ باردار مثبت تشکیل شوند. چون این خرده‌ها بسیار سبک هستند، به وسیلهٔ فرازهنج بالا برده می‌شوند. باقیماندهٔ قطره باردار منفی است و به ریزش ادامه می‌دهد.

اگر پیش از آنکه فروهنجی وجود داشته باشد جدایی بار روی دهد هر دو توضیح فوق الذکر غیرقابل دفاع می‌شوند. هیچ سازوکار مورد قبول جهانی وجود ندارد.

## برق آسمان

برق آسمان تماشایی‌ترین نمایش الکتریستهٔ جوّی است (شکل ۷). برق آسمان با دوربینهای عکاسی بسیار سریع، به وسیلهٔ گسیل بسامدهای رادیویی آن، توسط بازتابشهای راداری، و به وسیلهٔ تغییرهای میدان الکتریکی در سطح زمین مورد مطالعه قرار گرفته است. آذرخش برق (lightning flash) آسمان از چندین جرقهٔ (stroke) جداگانه تشکیل شده است. این رویداد احتمالاً با تخلیهٔ درون ابری از بار مثبت کم p در قاعدهٔ ابر به بار منفی بیشتر N شروع می‌شود. این تخلیهٔ درونی حدود ۵۰ میلی ثانیه طول می‌کشد و بر روی فیلم روشنی ضعیفی را بر جای می‌گذارد. در یک توفان نیمی از آذرخشها در بین ابرها تا فاصلهٔ ۱۰ km روی می‌دهند. گاهی تخلیه چنان مسافت زیادی را می‌پیماید که به هوای صاف می‌رسد و موضوع ضرب‌المثل «پیش آمد ناگهانی» می‌شود.

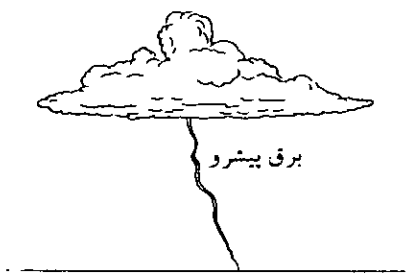
جرقهٔ برق آسمان به وسیله یک پیشگام (step leader) آغاز می‌شود. پیشگام گاز بسیار یونیزه شده است که بیشتر حامل بار منفی است (شکل ۸ الف). پیشگام روی فیلم به صورت لکهٔ روشنی ظاهر می‌شود که ۵۰ m را در مدت ۱ μs پیموده، به مدت ۵۰ μs مکث می‌کند، و سپس «گام» دیگری بر می‌دارد. سرعت متوسط آن در حدود $2\times10^5 \frac{m}{s}$ و پتانسیل نوک آن نسبت به زمین $-10^8$ V است. هنگامی که نوک آن در فاصله‌ای در حدود ۵۰m از زمین است، باریکهٔ جریانی (streamer) از زمین، معمولاً از نوک تیز،




**شکل ۸-** چهار مرحله در توسعهٔ جهش برق برگشتی آسمان

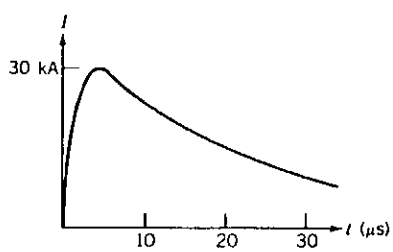
برمی‌خیزد. (شکل ۸ ب). هنگامی که این باریکه به پیشگام می‌رسد، یک مسیر رسانای مداوم از زمین به قاعدهٔ ابر تشکیل می‌شود. بار منفی در این مجرای یونی شده، بسیار سریع به زمین تخلیه می‌شود. نخست قسمت نزدیک زمین تخلیه شده، و نور شدیدی تولید می‌کند، چنان که در شکل ۸ پ نشان داده شده است. هنگامی که قسمتهای بالاتر تخلیه می‌شوند، روشنایی در یک جهش برق برگشتی (return stroke)، که قطری در حدود ۲۰cm دارد، رو به بالا حرکت می‌کند (شکل ۸ ت). در ابتدا، جبههٔ موج روشنایی تقریباً با یک سوم سرعت نور حرکت می‌کند، اما نزدیک به قاعدهٔ ابر سرعت حرکتش تا یک دهم سرعت نور کُند می‌شود. (توجه کنید که این سرعت انتشار تخلیه است، نه سرعت خود الکترونها.) پیشگام بار ۵C- را در حدود ۴۰ms منتقل می‌کند، یعنی جریان متوسط در حدود ۱۰۰A است.

پس از جهش برق برگشتی، جریان کوچکی در مجرا، ادامه می‌یابد. پس از یک مکث، برق پیشروی (dart leader)، به پهنایی در حدود ۱m، با سرعت $5\times10^{6}\ \frac{m}{s}$ رو به پایین به زمین می‌آید و جهش برق برگشتی دیگری را موجب می‌شود (شکل ۹). برق پیشرو به ازا، جریان متوسط ۵۰۰A، بار ۱ C را در ۲ms منتقل می‌کند. یک آذرخش، که ۰/۳ تا ۰/۵ ثانیه طول می‌کشد، چهار یا پنج جهش برق برگشتی دارد، که هر یک ۲ms طول می‌کشد و فاصلهٔ زمانی بین آنها ۵۰ms است. تک تک جهشها در مدت آذرخش به صورت سوسوزن دیده می‌شوند.




**شکل ۹-** پس از اولین جهش برق پیشرو، جهشهای برگشتی دیگر از برقهای پیشرو نشأت می‌گیرند.

تغییر جریان به صورت تابعی از زمان در شکل ۱۰ نشان داده شده است. جریان تا ۳۰kA یا بیشتر در مدتی حدود ۲μs می‌رسد، سپس به تدریج کاهش می‌یابد.
(حداکثر جریان را می‌توان با قرار دادن میله‌های کوچک فولاد کوبالت در مجاورت یک میلهٔ بلند یا برج انتقال برآورد کرد. پس از جهش برق آسمان، میله مغناطیسی می‌شود و از شدت مغناطیس آن می‌توان جریان را برآورد کرد. جریانهایی به بزرگی ۶۰kA ثبت شده‌اند.) در حدود ۱۰ تا ۲۰C بار منفی در ۱۰۰μs به زمین منتقل می‌شود.



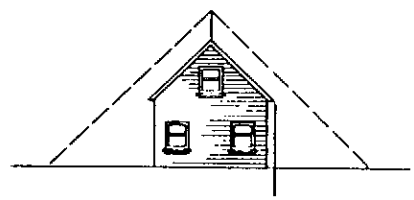

**شکل ۱۰-** تغییر جریان در مدت جهش برق برگشتی

در مدت جهش برق برگشتی دمای مجرای یونی شده به ۳۰,۰۰۰k می‌رسد.
افزایش فشار یک موج ضربه ایجاد می‌کند که به صورت رعد تا ۲۵km دورتر شنیده می‌شود، صدای غرشهای متوالی که معمولاً شنیده می‌شود مربوط به زمانهای مختلف رسیدن صدا از ناحیه‌های مختلف جهش برق است.

یک جهش برق می‌تواند بار 5C را تحت اختلاف پتانسیل $10^8$V در مدت $10\mu s$ منتقل می‌کند، که متضمن انرژی $5\times10^8$J و توان $5\times10^{13}$W است. انرژی در برانگیختگیهای مولکولی، ایجاد یونها، انرژی جنبشی ذرات، و تابش به مصرف می‌رسد. علی‌رغم نمایش مهیج آذرخش برق آسمان، در حدود ۸۰% انتقال بار مربوط به تخلیهٔ نقطه‌ای مثلاً از درختهاست. جریان متوسط در مدت توفان تندری 1/5A است.

## حفاظت در برابر برق آسمان

برق آسمان خسارت زیاد به بار می‌آورد و آتش سوزیهای جنگلی زیادی را موجب می‌شود. در ایالات متحده تنها، هر سال ۲۰۰ نفر توسط برق آسمان کشته می‌شوند. فرانکلین اعتقاد داشت که میله فلزی نوک تیز متصل به زمین، بار ابر تندری را تخلیه می‌کند و در نتیجه از اصابت صاعقه جلوگیری می‌کند. این توضیح دربارهٔ عمل میلهٔ برقگیر (lightning rod) درست نیست. همهٔ اشیاء نوک تیز، مثل برگها، تخلیهٔ نقطه‌ای نشان می‌دهند. اما اگر یک پیشگام، به ناحیهٔ اطراف میلهٔ برقگیر نزدیک شود، میله مورد اصابت برق قرار می‌گیرد و بار با ایمنی به زمین منتقل می‌شود. میلهٔ برقگیر از ناحیهٔ اطراف خود، که در شکل ۱۱ با خط‌چین نشان داده شده است، محافظت می‌کند. در موارد بسیار نادر یک محل نوک‌دار در واقع ابر را تخلیه می‌کند. چندین سال است که برق آسمان در ساختمان امپایر استیت (Empire State) مورد مطالعه قرار می‌گرفته است. معلوم شد که تخلیهٔ بار مثبت (۲۵۰A)، بدون هیچ گونه جهش برق برگشتی، از بالای ساختمان شروع می‌شود و تا ابر بالا می‌رود. از این رو نظر فرانکلین فقط از بالای ساختمانها یا دکلهای بسیار بلند درست است.



**شکل ۱۱-** میلهٔ برقگیر ناحیه‌ای را که با خط‌چین نشان داده شده است «محافظت می‌کند».

هنگام توفان تندری چه باید کرد؟ نخست، از درختان یا کلبه‌های منفرد که هدفهای مسلّم هستند دوری کنید. دوم، چون آب رساناست، شنا کردن را متوقف کنید. تخلیه می‌تواند از طریق لوله‌های آب و یا حتی از طریق سیمهای تلفن به خانه منتقل شود. برق ممکن است در لوله‌ها جاری شده و شخصی را که دوش می‌گیرد دچار برق گرفتگی کند. در واقع تخلیه‌های الکتریکی از طریق شیرهای آب مرگ‌آور بوده‌اند. بنابراین، در هنگام ابر تندری، از تلفن کردن یا دوش گرفتن بپرهیزید.

جهش برق آسمان می‌تواند جریان سریعی از بار در یک رسانای متصل به زمین القاء کند. مثلاً، در یک سیم انتقال برق که در ۰/۵ کیلومتری جهش برق بوده جریان ۱۰۰A اندازه‌گیری شده است. هنگام اصابت برق آسمان به زمین (صاعقه)، جریانهای بزرگی در زمین جاری می‌شود. اختلاف پتانسیل بین دو نقطه به فاصلهٔ ۱ متر می‌تواند موجب جریان مرگ‌آوری برای انسانها یا حیوانات شود. می‌توان اثر چنین «ولتاژ گام به گام step voltage» را با چسباندن پاها به یکدیگر به حداقل رساند. هنگامی که یک جهش برق به یک درخت اصابت می‌کند، برق در مجراهای مرطوب در پوست درخت جاری می‌شود و ممکن است از تنهٔ درخت به شخصی که نزدیک آن ایستاده یا به آن تکیه داده است بجهد. از این رو، شخص باید از پناه گرفتن در زیر درخت منفرد بپرهیزد.

زیرنویس:

۱- هنجیدن به معنای کشیدن است.

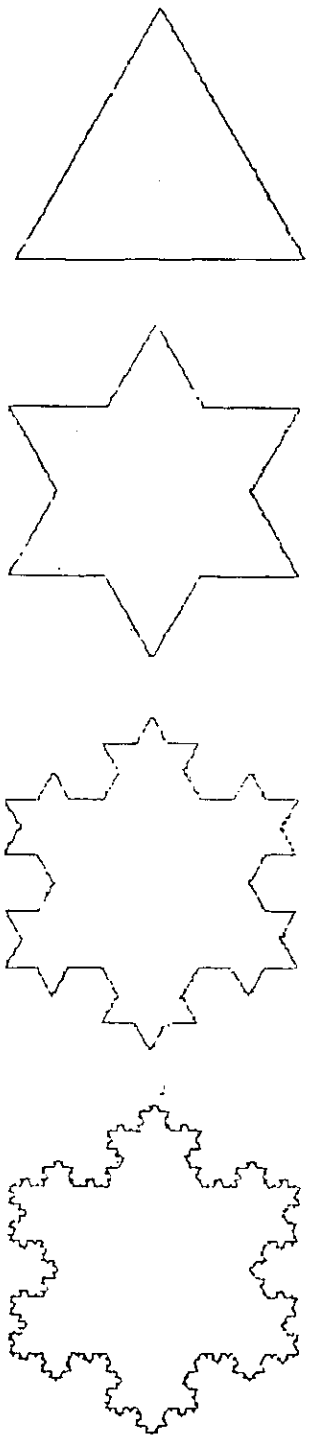
مرجع:

Benson, Harris (1981) **University Physics, Atmospheric Electricity.** Wiley, 537-542.

# آزمایش ساده‌ای که رفتار فراکتالها را نمایش می‌دهد

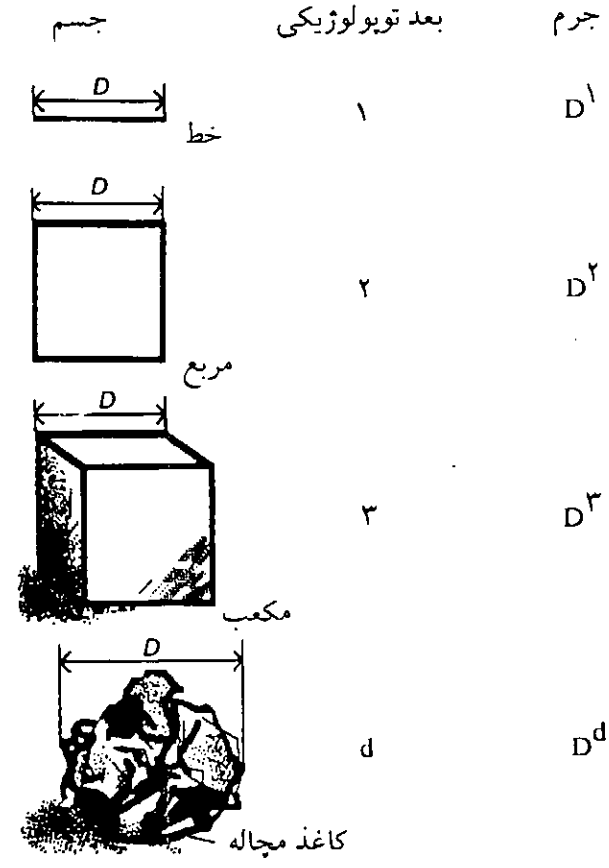
نوشتهٔ رافائل کو و چارلز بین[1]
ترجمهٔ حسین میلانی‌مقدم

یکی از جدیدترین و سریع‌الرشدترین حوزه‌های ارتباطی بین ریاضیات و طبیعت مطالعهٔ فراکتالهاست. از نظر رفتار ریاضی یک فراکتال توسط مندل برات[2]، مبتکر این اصطلاح، به این صورت تعریف می‌شود که «فراکتال شکلی است که از اجزائی مشابه با کل درست شده است». یک شکل هندسی فراکتالی آشنا، دانه برف کُخ است که با یک مثلث متساوی‌الاضلاع شروع می‌شود و در وسط هر ضلع، مثلث متساوی‌الاضلاع دیگری با یک سوم طول مثلث اول بر پا می‌شود. این فرآیند در مثلث متساوی‌الاضلاعی که ضلع آن یک سوم دومین مثلث است تکرار می‌شود و به همین ترتیب ادامه می‌یابد. شکل حاصل که تقارن شش ضلعی دارد، در اینجا «دانهٔ برف» نامیده می‌شود. نسل پنجم دانهٔ برف کخ در شکل ۱ نشان داده شده است. در هر مرحلهٔ اضافه شدن مثلثهای جدید، محیط به نسبت $\frac{4}{3}$ زیاد می‌شود. در حد که مثلثهای کوچک به صفر میل می‌کنند شکل، این خاصیت عجیب را دارد که دارای محیط بزرگی است که مساحت محدودی را محصور می‌کند. محیط، خط پیوسته‌ای است اما شیب معینی ندارد. مندل برات مفهوم «بُعد (دیمانسیون) » را برای توصیف این نمودار و منحنیهای مشابه دیگر وارد کرد. به دلایلی که در اینجا ذکر نمی‌شوند، مندل برات این کمیت را برای منحنی کخ $\frac{\log 4}{\log 3} = 1/2618$ تعیین کرد. نکته اینجاست که شخص می‌تواند بُعدهایی را که یکی از اعداد صحیح ۱، ۲ یا ۳ نیستند نیز تصور کند.



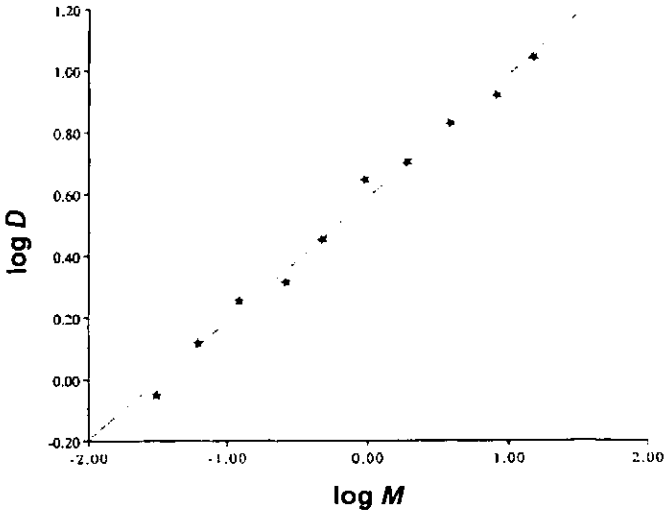
**شکل ۱ـ** نسل پنجم «دانهٔ برف» کُخ. شکل با شروع از یک مثلث متساوی الاضلاع ـ با افزایش مثلهای متساوی الاضلاع که هر ضلع، یک سوم طول ضلع قبلی است ـ و با ادامهٔ عمل روی هر یک از ۱۲ ضلع حاصل و ادامهٔ عمل، به دست آمده است. شکل نسل پنجم ۳×۴×۴×۴×۴ یا ۷۶۸ ضلع دارد.

ما در زیر شرح گومز[۴] را بیان می‌کنیم، که گلوله‌های کاغذی مچاله، مفهوم بعد غیر صحیح را به طریقی نشان می‌دهد که به آسانی در کلاس درس یا آزمایشگاه انجام‌پذیر است.

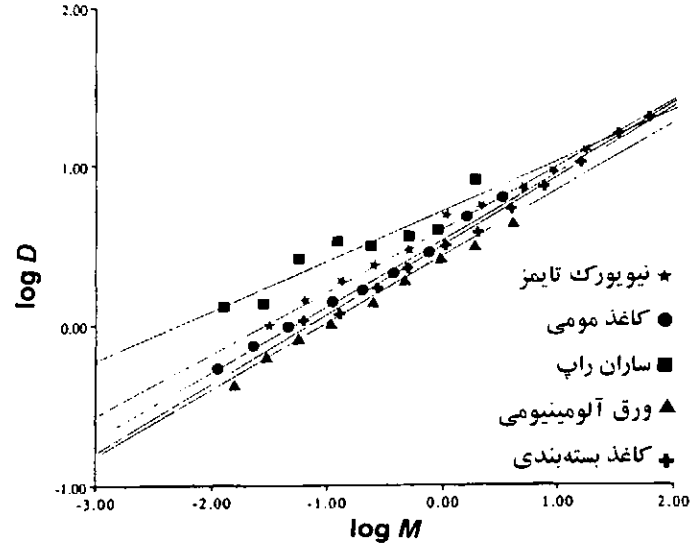



**شکل ۲ـ** مفهوم «بعد» توپولوژیکی. خط، مربع و مکعب بعدهای صحیح یک، دو، و سه دارند. جرم گلوله کاغذ مچاله متناسب با قطرش به توان عدد غیرصحیح **d** به دست آمده است.

روزنامه‌ای برداشتیم و آن را به ده مربع بریدیم که هر ضلع آنها $\frac{۱}{\sqrt{۲}}$ برابر ضلع مربع قبلی بود. بنابراین ده مربع داشتیم که جرم آنها بین ۱۰g تا $۱۰^{-۲}$g تغییر می‌کرد. کاغذ را با وارد کردن فشار دستهایمان که آنرا یکنواخت تشخیص می‌دادیم مچاله کردیم و قطر را در سه مسیر متعامد اندازه گرفتیم (شکل ۳). لگاریتم مبنای ده قطر




**شکل ۳ـ** نمودار تغییرات لگاریتم قطر توپ، کاغذ مچاله شدهٔ مجله نیویورک تایمز برحسب لگاریتم جرم. قطر برحسب سانتی‌متر و جرم برحسب گرم هستند. «بعد» توپ با وارون شیب ۰/۰۷±۲/۵۲ـ برابر است.




**شکل ۴ـ** نمودار تغییرات لگاریتم قطر توپ برحسب لگاریتم جرم برای مواد مختلف. به استثنا، کاغذ ساران راپ[۳] بُعد در حدود ۰/۹±۲/۲ است. کاغذ ساران راپ شیب نمودارش ۲/۸ است که مقادیر آن بسیار پراکنده‌اند.

متوسط را که در مقابل لگاریتم مبنای ده جرم رسم شده است، نشان می‌دهد. در محدوده یک مضرب در حدود ۱۰۰۰ برابر جرم، به نظر می‌رسد که قطر، یک رابطهٔ سادهٔ توانی با جرم داشته باشد. به روش تطبیق کمترین مربعات، یک بعد ۰/۰۷±۲/۵۲ به دست می‌آید. شکل ٤ همان آزمایش را با مواد مختلف که شامل نتیجهٔ شکل ۳ نیز هست، نشان

می‌دهد. برای هر ماده اندازه‌ها عبارتند از کاغذ مومی (d=۲/۳۸±۰/۰۶)، ورق آلومینیومی (d=۲/٤۰±۰/۰٦)، و کاغذ بسته‌بندی قهوه‌ای (d=۲/۳۰±۰/۰٦).

نیوریورک تایمز، کاغذ مومی، ساران راپ[۳]، ورق آلومینیومی، کاغذ بسته‌بندی[٤]

در هر مورد قانون توانی معادله (۲) به خوبی صدق می‌کند. به استثنا، کاغذ ساران راپ[۳]، بعد در حدود ۲/٤ به دست می‌آید. اهمیت این مقدار چیست؟ این مقدار بین ۲ که برای یک مربع کاملاً سخت به دست آمد، و ۳ که برای مربعی که قابل تغییر شکل است و به خودش می‌چسبد یعنی جامد، قرار دارد. نظریه‌ای وجود دارد، ناشی از مطالعهٔ پلیمرها، که مقدار ۲/۵ را برای به اصطلاح «گام‌برداری کاتوره‌ای خود پرهیز[٤] به دست می‌دهد چنان که آزمایش شبیه‌سازی[۵] این مقدار را تأیید می‌کند. نتایج ما با آزمایش اولیه گومز[٦]، که بعد ۲/۵۱±۰/۱۹ را به دست آورد، مطابقت دارد. ما فرض می‌کنیم که مقدار ۲/۷۹±۰/٤۳ برای کیسه پلاستیکی ممکن است بزرگتر از ۲/۵ باشد زیرا کیسه پلاستیکی تمایل به چسبیدن به خود دارد و بنابراین از نظر بعد به ۳ می‌رسد.

زیر نویسها:

۱- Raphael H. Ko and Charles P. Bean
Department of Physics, Rensselar Polytechnic Institute, Troy, Ny 1218O.
۲- Mandelbrot
۳- Saran Wrap
٤- "Self avoiding random walk"
۵- simulation
٦- Gomes

مرجع:

The Physics Teacher, FEB 91, P. 78-9.

# اخبار علمی

**مجله بین‌المللی علوم پایه جمهوری اسلامی ایران**- این مجله به زبان انگلیسی و در سطح بین‌المللی منتشر می‌شود که حاوی آخرین نتایج تحقیقات علمی و علمی- کاربردی در زمینه‌های مختلف علوم نظیر زیست‌شناسی، شیمی، زمین‌شناسی، فیزیک، ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر است.

این مجله از سری انتشارات مرکز تحقیقات علمی کشور است که به صورت فصلنامه منتشر می‌شود. علاقمندان به اشتراک این مجله می‌توانند به نشانی تهران ۱۳۱۵۸، خیابان انقلاب، شمارهٔ ۱۱۸۸، صندوق پستی ۱۳۱٤۵-٤۷۸، مرکز تحقیقات علمی کشور، مجلهٔ بین‌المللی علوم پایهٔ جمهوری اسلامی ایران مکاتبه کنند و یا با تلفن ٦٤٦۲۷۷۸ تماس بگیرند.

عنوانهای فیزیکی در شمارهٔ دوم از سال چهارم (بهار ۷۲) عبارتند از:

۱- بررسی مجموعه‌های خالی کوچک در آهن با استفاده از توان بالقوه چند تنی

۲- تئوری میکروسکوپی تونل‌زنی خلأ

در شمارهٔ سوم از سال چهارم (تابستان ۷۲) عبارتند از:

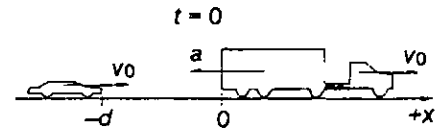
۱- برآورد افت تابش از استلراتورها با استفاده از نظریهٔ ترابرد نئوکلاسیک

۲- تولید مولتی هادرون برای $e^+e^-$ برای $V_s$ از انرژیهای ۵۰ تا ٦۱ Ge V.C.M. و مقایسهٔ آن با تولید مولتی هادرون در بر هم کنشهای هادرونیک.

# شرایط مرزی در مکانیک مقدماتی

نوشتهٔ آلجاندرو گونزالز
ترجمهٔ محسن شاد مهری

برای فهم مسأله‌ای که در زیر می‌آید باید شرایط مرزی را در نظر گرفت. مسأله چنین است: کامیونی با سرعت ثابت $V_0$ روی یک جاده در حرکت است. اتومبیلی به فاصلهٔ d و با همان سرعت $V_0$، کامیون را دنبال می‌کند. ناگهان حرکت کامیون با شتاب ثابت a کند می‌شود، در حالی که اتومبیل هم چنان با سرعت $V_0$ حرکت می‌کند (شکل ۱). چه مدت طول می‌کشد تا اتومبیل به کامیون برخورد کند؟




**شکل ۱ـ** طرح مسأله که شرایط اولیهٔ انتخاب شده را نشان می‌دهد.

راه حل معمول برای چنین مسأله‌هایی، تشکیل معادله‌های حرکت هر دو شئ است (در این مسأله اتومبیل و کامیون) و محاسبهٔ زمان برخورد از این معادله‌ها است. طرح شکل ۱ تصویر لحظه‌ای مسأله در زمانی است که حرکت کامیون شروع به کند شدن می‌کند. این لحظه را به عنوان مبدأ زمان انتخاب می‌کنیم. هم چنین، یک چارچوب مرجع لخت انتخاب می‌کنیم به طوری که در لحظهٔ $t=0$، کامیون در $x=0$ باشد (شکل ۱). بنابراین معادله‌های حرکت در این چارچوب عبارتند از:

$$x_{\text{اتو}}(t) = -d + V_0 t \qquad (۱)$$

$$x_{\text{کا}}(t) = V_0 t - \frac{1}{2} a t^2 \qquad (۲)$$

شرط برخورد را می‌توان به صورت $x_{\text{اتو}}(t_{\text{بر}}) = x_{\text{کا}}(t_{\text{بر}})$ نوشت.
بنابراین:

$$-d + V_0 t_{\text{بر}} = V_0 t_{\text{بر}} - \frac{1}{2} a t_{\text{بر}}^2 \qquad (۳)$$

و در نتیجه مدت زمانی که طول می‌کشد تا اتومبیل به کامیون برخورد کند برابر است با:

$$t_{\text{بر}} = \sqrt{\frac{2d}{a}} \qquad (۴)$$

زمان برخوردی که از معادلهٔ (۴) به دست می‌آید، تنها در حالتی درست است که اتومبیل پیش از توقف کامیون به کامیون برسد، یعنی وقتی که $t_{\text{تو}} \leq t_{\text{بر}}$.
($t_{\text{تو}}$ مدتی است که طول می‌کشد تا کامیون توقف کند)، که از معادلهٔ

$$V_{\text{کا}}(t) = V_0 - at \qquad (۵)$$

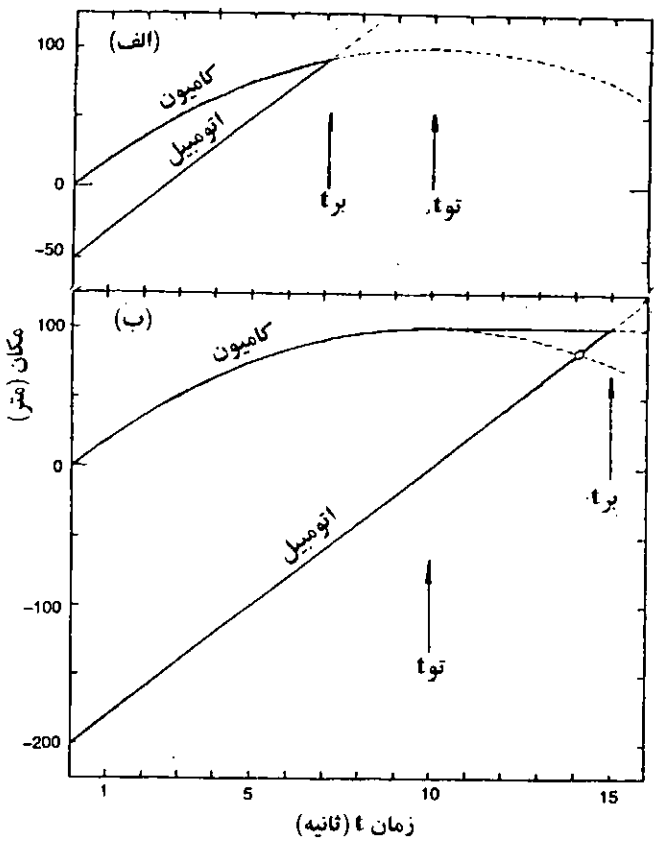
و لذا

$$t_{\text{تو}} = \frac{V_0}{a} \qquad (۶)$$

درست در زمان $t_{\text{تو}}$ یک شرط مرزی برای حرکت کامیون وجود دارد. در زمان $t_{\text{تو}}$ کامیون توقف کرده است و در همان مکان ساکن می‌ماند تا اتومبیل به آن برخورد کند. از آنجا که نیروی اصطکاک نمی‌تواند کامیون را برگرداند، معادلهٔ (۲) تنها تا زمان $t_{\text{تو}}$ برقرار است. در آن لحظه شتاب از a به صفر تغییر می‌کند. پس از آن زمان، معادلهٔ (۴) که بر پایهٔ معادلهٔ (۲) به دست آمده، دیگر درست نیست. معادلهٔ (۴) زمان برخورد را به دست می‌دهد. اما برخورد بین اتومبیل و یک کامیون مجازی را که توقف کرده است و سپس با شتاب a رو به عقب می‌رود نشان می‌دهد. اگر شرطهای دیگری را وارد نکنیم، معادله‌های (۱) و (۲) به ترتیب حل سینماتیک برای حرکت یکنواخت و شتابدار را هم چنان نشان می‌دهند.

پیش از تکمیل حل ریاضی مسأله، حل نموداری آن را توضیح می‌دهیم. شکلهای ۲ـ الف و ب، نمودارهای

مکان- زمان اتومبیل [خط راست از معادلهٔ (۱)] و کامیون [منحنی سهمی از معادلهٔ (۲)] را نشان می‌دهند. ماکزیمم سهمی متناظر با سرعت صفر است که در این مثال $t_{تو}$ را نشان می‌دهد. پس از ماکزیمم، یک خط افقی به دنبال سهمی رسم می‌شود زیرا کامیون پس از رسیدن به توقف کامل ساکن باقی می‌ماند.




**شکل ۲-** نمودارهای مکان- زمان برای حالتهایی که (الف) $t_{تو} < t_{بر}$، (ب) $t_{تو} > t_{بر}$. نقطه‌چینها نتایج معادله‌های (۱) و (۲) را بدون در نظر گرفتن هیچ شرطی نشان می‌دهند. دایره کوچک نشان‌گر برخورد مجازی بین کامیونی که رو به عقب می‌رود و اتومبیل را نشان می‌دهد.

شکل ۲- الف حالتی را نشان می‌دهد که موقع برخورد، کامیون هنوز هم در حال حرکت است. در این نمودار فرض کرده‌ایم $d = ۵۰ \text{ m}$، $V_۰ = ۲۰ \frac{\text{m}}{\text{s}}$، و $a = ۲ \frac{\text{m}}{\text{s}^۲}$. در این حالت $t_{تو} > t_{بر}$، معادله‌های (۱) و (۲) برقرارند، و بنابراین نتیجهٔ معادلهٔ (٤) درست است. توجه داشته باشید که خط راست، سهمی را پیش از آن که به ماکزیمم خود برسد قطع می‌کند. کامیون پیش از برخورد در حال توقف نبوده است، و لذا شرط مرزی برای کامیون از مسأله خارج است.

شکل ۲- ب حالتی را نشان می‌دهد که کامیون پیش از برخورد، در حال توقف بوده است. برای نمایش این حالت، سرعت اولیهٔ $V_۰$ و شتاب a را به مانند شکل ۲-الف انتخاب می‌کنیم، اما با فاصلهٔ متفاوت $d = ۲۰۰ \text{ m}$. برخورد در نقطهٔ تقاطع خط افقی که نمایانگر کامیون ساکن است و خط راست که نمایانگر اتومبیل متحرک با سرعت ثابت روی می‌دهد.

جواب معادلهٔ (٤) به صورت یک دایرهٔ کوچک، که در این حالت نادرست است- نیز در شکل ۲- ب رسم شده است. این نقطه محل برخورد اتومبیل و کامیونی است که رو به عقب (شیب منفی سهمی) حرکت می‌کند.

توجه داشته باشید مشکل این حالت را نمی‌توان فقط با انتخاب چارچوب مرجع متفاوتی، چه روی کامیون و چه روی اتومبیل، حل کرد. تغییر سینماتیک که کامیون از حرکت شتابدار به حرکت یکنواخت با آن مواجه می‌شود در هر چارچوب مرجعی دیده می‌شود.

اکنون به محاسبهٔ زمان درست برخورد در حالتی که در شکل ۲- ب رسم شده است می‌پردازیم. یک راه برای این کار یافتن مکان کامیون در هنگام رسیدن به توقف کامل است. $t_{بر}$ را می‌توان از معادلهٔ (۱) به عنوان زمانی که طول می‌کشد تا اتومبیل به آن مکان برسد به دست آورد. با استفاده از معادلهٔ (۲) و استفاده از نتیجهٔ معادلهٔ (٦) داریم

$$x_{کا}(t_{تو}) = V_۰ \frac{V_۰}{a} - \frac{۱}{۲} a \frac{V_۰^۲}{a^۲} = \frac{۱}{۲} \frac{V_۰^۲}{a} \qquad (۷)$$

و با استفاده از معادله‌های (۱) و (۷)، زمان برخورد به دست می‌آید.

$$t_{بر} = \frac{۱}{۲} \frac{V_۰}{a} + \frac{d}{V_۰} \qquad (۸)$$

برای مثال عددی شکل ۲-ب، نتیجه نادرست معادلهٔ (٤) برابر ۱٤/۱s است، و نتیجهٔ درست معادله (۸) برابر ۱۵/۰s است. در برخی حالتها، تفاوت بین جوابهای درست و نادرست می‌تواند کوچک باشد و متأسفانه در محاسبات عددی به عنوان اشتباه تلقی شود.

مرجع:

Gonzalez, Alejandro (Dec, 1991) Boundary Conditions in Elementary Mechanics. The physics Teacher, 590-591.

# بازتابشهای دوپلری

نوشتهٔ آنتونی آندرسون
ترجمهٔ بابک تیمورپور

برای محاسبهٔ فرکانس انتقال یافتهٔ دوپلری امواج بازتابیده که توسط ناظر در حال حرکت با منبع دریافت شده‌اند، دو روش شرح داده می‌شوند. نتایج به دست آمده برای امواج نوری درست و دقیق هستند ولی این نتایج برای امواج صوتی فقط در سرعتهای کم هم‌ارز هستند.

اخیراً در طول ترم اول دانشگاه واترلو در مقاطع مختلف تحصیلی، مثال مربوط به اثر دوپلر شرح داده می‌شد. ما بعداً فهمیدیم که سخنرانان، این مثال را از دو راه متفاوت حل کرده بودند و مهم‌تر از آن جوابهای به دست آمده اندکی تفاوت داشتند! در این مقاله دلیل این تفاوت شرح داده می‌شود.

مسأله مربوط می‌شود به بازتابش امواج صوتی یا نوری که از یک منبع متحرک منتشر می‌شود و دریافت این علامتها توسط ناظری که با منبع حرکت می‌کند. بازتابنده ممکن است مانند یک صخره ثابت باشد یا مانند یک سفینه فضایی یا واگن متحرک باشد. معمولاً از دانشجو یا دانش‌آموز خواسته می‌شود که فرکانس علامتی را که توسط ناظر بعد از بازتابش دریافت می‌کند یا فرکانس ضربان بین این علامت و علامت اولیه را محاسبه کند.

## روش دو مرحله‌ای

ما دو راه حل این مسأله را به ترتیب روش دو مرحله‌ای A و روش تصویری یک مرحله‌ای B می‌نامیم. ابتدا امواج صوتی را در نظر می‌گیریم که برای انتشار به یک محیط احتیاج دارند. در روش A صوتی که به بازتابنده می‌رسد با فرکانس انتقال یافته دریافت می‌شود و سپس با همین فرکانس دوباره منتشر می‌شود. آنگاه ناظری که همراه منبع اصلی حرکت می‌کند، فرکانس صوت را با انتقال بیشتری می‌شنود.

فرمول عمومی برای اثر آکوستیکی دوپلری ممکن است چنین نوشته شود (برای مثال فیزیک هالیدی چاپ ۱۹۷۷ را ببینید)

$$f' = f\left(\frac{V - V_o}{V - V_s}\right) \qquad (۱)$$

که در آن $f$ فرکانس اولیه، $f'$ فرکانس انتقال یافته، $V$ سرعت صوت در هوا، $V_o$ سرعت ناظر، و $V_s$ سرعت منبع (هر دو نسبت به هوا) هستند. هر یک از سرعتها ممکن است مثبت (از چپ براست) یا منفی باشد. در حالت مورد نظر ما اگر منبع در سمت چپ بازتابنده باشد و اگر $V_A$ سرعت منبع و $V_o$ سرعت بازتابنده (مثلاً هر دو مثبت) باشند آنگاه فرکانس علامتی که به بازتابنده می‌رسد از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$f' = f\left(\frac{V - V_B}{V - V_A}\right) \qquad (۲)$$

و فرکانس علامت بازتابیده‌ای که به منبع اصلی می‌رسد چنین است:

$$f'' = f'\left(\frac{-V - V_A}{-V - V_B}\right) = f\left(\frac{V - V_B}{V - V_A}\right)\left(\frac{V + V_A}{V + V_B}\right) \qquad (۳)$$

در حالتی که بازتابنده ساکن است. ($V_B = ۰$) داریم:

$$f'' = f\left(\frac{V + V_A}{V - V_A}\right) \qquad (۴)$$

در حالتی که $V_A$ و $V_B$ خیلی کوچک‌تر از $V$ هستند، دیده می‌شود که معادلهٔ (۳) به معادلهٔ زیر تبدیل می‌شود:

$$f'' \simeq f\left(۱ + \frac{۲(V_A - V_B)}{V}\right) = f\left(۱ - \frac{۲V_R}{V}\right) \qquad (۵)$$

که در آن $V_R (= V_B - V_A)$ سرعت بازتابنده نسبت به منبع است.

## روش تصویری یک مرحله‌ای

در روش B تصویر منبع در بازتابنده به عنوان یک منبع مؤثر جدید در نظر گرفته می‌شود و انتقال دوپلری به

صورت یک عمل ساده یک مرحله‌ای محاسبه می‌شود. ابتداء سرعت این منبع تصویری را محاسبه می‌کنیم. چون سرعت منبع تصویری نسبت به منبع اصلی $۲V_R$ است پس سرعت آن نسبت به هوا $V_A+۲V_R$ یا $۲V_B-V_A$ خواهد بود. آنگاه اثر دوپلر با استفاده از معادلهٔ (۱) در حالی که $V_o=V_A$ و $V_s=۲V_B-V_A$ به دست می‌آید:

$$f'=f[\frac{-V-V_A}{-V-(۲V_B-V_A)}]=f(\frac{V+V_A}{V+۲V_B-V_A}) \qquad (۶)$$

برای بازتابندهٔ ساکن $V_B=۰$، معادلهٔ (۶) به معادلهٔ (٤) تبدیل می‌شود. بنابراین دو روش در حالت حدی به نتایج یکسانی می‌رسند، هر دو معادلهٔ (۳) و (۶) نشان می‌دهند که اگر

$V_A=V_B$ (یعنی $V_R=۰$) آنگاه $f'=f$ و انتقال دوپلری وجود ندارد. هم چنین با استفاده از بسط دو جمله‌ای، معادلهٔ (۶) به نتیجهٔ زیر می‌انجامد:

$$f'\simeq f(۱+\frac{V_A}{V})(۱-\frac{۲V_B}{V}+\frac{V_A}{V})$$

$$\simeq f(۱+\frac{۲V_A}{V}-\frac{۲V_B}{V})=f(۱-\frac{۲V_R}{V})$$

که همان معادلهٔ (۵) است.

اما روشن است که معادله‌های عمومی (۳) و (۶) هم‌ارز نیستند و می‌توانند در سرعتهای زیاد به نتایج کاملاً متفاوتی بینجامند. به عنوان یک مثال ساده، یک موج صوتی که از یک منبع ثابت ($V_A=۰$) منتشر می‌شود و از هواپیمایی که در ارتفاع کم پرواز می‌کند و از منبع با سرعت $V_B=\frac{V}{۳}$ دور می‌شود، اگر از معادلهٔ(۳)استفاده کنیم یک انتقال دوپلری به اندازهٔ $f'/f=۰/۵$ دارد، ولی اگر از معادلهٔ (۶) استفاده کنیم داریم $f'/f=۰/۶$. به علاوه در حالی که معادلهٔ (۳) در حالت $V\longrightarrow V_A$ به نتیجه شگفت انگیزی می‌انجامد، معادلهٔ (۶) در این حالت انتقال دوپلری محدودی را پیش‌بینی می‌کند، به شرط آنکه $V_B\neq ۰$.

## بحث

کدام یک از این دو روش، دو مرحله‌ای، تصویری یک مرحله‌ای، درست است و چرا در روش اول، بازتابنده مانند یک گیرنده و سپس مانند یک منبع عمل می‌کند. از آن جا که برای امواج صوتی این دو حالت به طور متفاوتی بر وضعیت تأثیر می‌گذارند (یک ناظر متحرک مستقیماً بر فرکانس اثر می‌گذارد و حال آن که یک منبع متحرک طول موج را تغییر می‌دهد) $V_B$ فقط در مخرج معادلهٔ (۶) ظاهر می‌شود. بر پایه فرآیندهای عملی فیزیکی مورد بحث، به نظر می‌رسد که فقط روش A نتیجهٔ درستی می‌دهد، در حالی که روش B یک روش تقریبی است. از پیشگوییهای هر روش دربارهٔ رفتار در حالتی که $V\longrightarrow V_A$ این حدس را تأیید می‌کند.

برای امواج نوری وضعیت کاملاً متفاوت است. در این حالت به دلیل آنکه محیطی برای انتشار ضروری نیست، فقط حرکت نسبی بین منبع و ناظر مهم است، انتظار می‌رود که دو روش گفته شده نتایج یکسانی بدهند. فرمول نسبیتی دوپلر که اثر اتساع زمان را شامل می‌شود چنین است (برای مثال رجوع کنید به فیزیک پاتریا ۱۹۷٤):

$$f'=f\frac{(۱-\frac{V_R}{c})}{(۱-\frac{V_R^۲}{c^۲})^{\frac{۱}{۲}}}=f(\frac{۱-\frac{V_R}{c}}{۱+\frac{V_R}{c}})^{\frac{۱}{۲}} \qquad (۷)$$

که در آن $V_R$ سرعت منبع نسبت به ناظر، و c سرعت نور در خلأ است. با به کار بردن معادله (۷). در روش A داریم:

$$f'=f(\frac{۱-\frac{V_R}{c}}{۱+\frac{V_R}{c}})^{\frac{۱}{۲}} \Longrightarrow$$

$$f'=f'(\frac{۱-\frac{V_R}{c}}{۱+\frac{V_R}{c}})^{\frac{۱}{۲}}=f(\frac{۱-\frac{V_R}{c}}{۱+\frac{V_R}{c}}) \qquad (۸)$$

هنگامی که $V_R<<c$ به صورت زیر درمی‌آید:

$$f'\simeq f(۱-\frac{۲V_R}{c}) \qquad (۹)$$

که هم‌ارز معادلهٔ (۵) است که برای امواج صوتی به دست آمد. معادلهٔ (۹) همان معادله‌ای است که افسر پلیس به کمک یک تفنگ راداری در هنگام اندازه‌گیری سرعت ماشینها به کار می‌برد. با اینکه معادلهٔ (۹) تقریبی است ولی خطای آن به جز در موارد داستانهای تخیلی علمی ناچیز است.

در مورد روش B، سرعت نسبی منبع تصویری و منبع واقعی به صورت سادهٔ $۲V_R$ (آن گونه که به طور کلاسیک به دست می‌آید) نیست بلکه با رابطهٔ آشنای نسبیتی لورنتز محاسبه می‌شود (فیزیک پاتریا ۱۹۷٤). مطابق این رابطه اگر $V_R$ سرعت بازتابنده نسبت به منبع اصلی و هم چنین سرعت منبع تصویری نسبت به منبع اصلی از

فرمول زیر به دست می‌آوریم:

$$V'_R = \left(\frac{V_R + V_R}{1 + \frac{V_R V_R}{c^2}}\right) = \frac{2V_R}{1 + \frac{V_R^2}{c^2}} \qquad (10)$$

اگر معادله (۱۰) را در معادلهٔ دوپلری یک مرحله‌ای (۷) جایگذاری کنیم، به دست می‌آوریم:

$$f' = f\left(\frac{1 - \frac{V'_R}{c}}{1 + \frac{V'_R}{c}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= f\left(1 - \frac{\frac{2V_R}{c}}{1 + \frac{V_R^2}{c^2}}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{\frac{2V_R}{c}}{1 + \frac{V_R^2}{c^2}}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$= f\left(1 - \frac{V_R}{c}\right)\left(1 + \frac{V_R}{c}\right)$$

جذرها به خوبی از بین رفتند و نتیجهٔ نهائی هم‌ارز معادلهٔ (۸) است که از روش A به دست آمده بود. به این ترتیب می‌بینیم که دو روش در مورد امواج نوری، که در آن سرعتهای نسبی اهمیت دارند، دقیقاً برابرند. اما در مورد امواج صوتی، دو روش فقط در سرعتهای پایین هم‌ارزند.

## اصل تطابق

به عنوان آخرین بحث، جالب است تحقیق کنیم که اصل تطابق یا همخوانی در این مورد چه می‌گوید. ممکن است به خاطر آوریم که وقتی این اصل در مورد اثر دوپلری به کار رود، نتیجهٔ نسبیتی از درجهٔ $\frac{V_R^2}{C^2}$، بین دو نتیجهٔ کلاسیک قرار می‌گیرد. (که از معادلهٔ (۱) در حالی که $V_s = V_R$، $V_o = 0$ و نیز $V_s = 0$، $V_o = -V_R$ به دست می‌آید) در حالت بازتابشهای دوپلری که در اینجا در نظر گرفته شد بسط مستقیم (اما کمی کسل کننده!) معادله‌های (۳)، (۶)، و (۸)، با جایگذاری c به جای V در (۳) و (۶) به نتایج از مرتبه دوم زیر می‌انجامد.

$$f' \simeq f\left(1 - \frac{2V_R}{c} + \frac{2V_R^2}{c^2}\right) \qquad (۳ \text{ الف})$$

$$f' \simeq f\left[1 - \frac{2V_R}{c} + \frac{2V_R(V_R + V_B)}{c^2}\right] \qquad (۶ \text{ الف})$$

$$f' \simeq f\left(1 - \frac{2V_R}{c} + \frac{2V_R^2}{c^2}\right) \qquad (۹ \text{ الف})$$

هم‌ارزی (۳ الف) و (۹ الف) را به این عنوان در نظر گرفت که تأیید تا حدی ضعیف بر این است که واقعاً روش درست برای امواج صوتی همان روش دو مرحله‌ای A است.

## سپاسگزاری

من از پرفسور پاتریا (professor RK pathria) به‌خاطر چندین بحث مفید تشکر می‌کنم.

## مرجع:

Anderson, Anthony, (1989) Doppler reflections. **Physics Eduction** 24, 154 - 156.

## زیرنویسها:

۱- ثابت می‌شود در دو جمله‌ای نیوتون $(1+x)^n$ هنگامی که $x << 1$ (یعنی x بسیار کوچک‌تر از یک است) داریم:

$$(1+x)^n \simeq 1 + nx$$

عبارت مربوط در معادلهٔ (۳) را در $\frac{V + V_A}{V + V_A} \times \frac{V - V_B}{V - V_B} = 1$ ضرب می‌کنیم:

$$\frac{V - V_B}{V - V_A} \times \frac{V + V_A}{V + V_B} = \frac{(V - V_B)^2}{V^2 - V_A^2} \times \frac{(V + V_A)^2}{V^2 - V_B^2}$$

$$= \frac{\left(1 - \frac{V_B}{V}\right)^2 \left(1 - \frac{V_A}{V}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{V_A}{V}\right)^2\right]\left[1 - \left(\frac{V_B}{V}\right)^2\right]}$$

چون $V_A << V$ و $V_B << V$ لذا $\frac{V_A}{V} = \frac{V_B}{V} \simeq 0$

$$\text{عبارت} \simeq \left(1 - \frac{V_B}{V}\right)^2 \left(1 + \frac{V_A}{V}\right)^2 =$$

$$\left(1 + \frac{V_A}{V} - \frac{V_B}{V} - \frac{V_A V_B}{V^2}\right)^2$$

به دلیل فوق. $\frac{V_A V_B}{V^2} \simeq$ لذا:

$$\text{عبارت} \simeq \left(1 + \frac{V_A - V_B}{V}\right)^2$$

که با استفاده از دو جمله‌ای نیوتون:

$$\text{عبارت} \simeq 1 + \frac{2(V_A - V_B)}{V}$$

صحت علمی مورد بررسی قرار می‌گرفت. پس از تصحیح موارد احتمالی، از نظر شیوهٔ نگارش بررسی انجام می‌گرفت. این کار به گونه‌ای انجام می‌شد که نگارش، مناسب کتاب دبیرستانی و منطبق با سن و آموخته‌های دانش‌آموزان باشد. این بررسی تا آنجا ادامه می‌یافت که گاهی متن تأیید شده شورا هیچ شباهتی با متن پیشنهادی اولیه نداشت. اعضای شورا و مؤلفان به دور از هر تعصب و با صبر و حوصلهٔ تمام، این کار را دنبال می‌کردند. همزمان با بررسی‌های اولیه شورا، دستنویس کتاب جهت اظهار نظر دبیران، ارسال می‌شد. در نهایت مؤلفان متنی را به شورا ارائه می‌دادند که نظر شورا و دبیران در آن اعمال شده بود. شورا پس از بررسی نهایی و اِعمال ویرایش ادبی، کتاب را جهت چاپ ارسال می‌کرد.

با این شیوه کار، همواره شورا این هدف را دنبال می‌کرد که واقعیت‌ها، مفاهیم و قوانین فیزیکی حتی‌الامکان بدون فرمولبندی و با مثالهای ساده بیان شوند. از طرح مثالها و مسایلی که حل آنها با ترکیب ریاضی پیچیده امکان‌پذیر بود، خودداری می‌شد. از آنجا که از ذکر فرمولها بدون بیان قوانین مربوط به آنها نتیجه‌ای جز حفظ چند رابطه عاید نمی‌شود، همواره از ذکر این قبیل فرمولها خودداری شده است. با این روش تألیف کتابهای فیزیک دورهٔ اول دبیرستان به پایان رسیده است و تدریس آزمایشی کتاب‌ها یا شروع شده و یا شروع می‌شود. تصحیح‌های لازم در پایان دورهٔ آزمایشی در کتاب‌ها اعمال خواهد شد. شورای برنامه‌ریزی نیز مشغول بررسی در مورد کتابهای فیزیک دورهٔ پیش دانشگاهی شده است.

بر خود واجب می‌دانم سپاس و احترام بی‌پایان را به اعضای شورای برنامه‌ریزی، مؤلفان و اعضای گروه فیزیک: خانمها دکتر پورقاضی، دکتر رهبر و آقایان دکتر بهین‌آیین، دکتر جعفرپور، دکتر سپهری‌راد، سعادت‌بخت، دکتر شیرزاد، شیوایی، دکتر عزیزی، دکتر علیمحمدی، لطفی، موسوی و میرخانی، تقدیم کنم.

آنچه که ذکر آن در اینجا لازم است، یادآوری این نکته است که از آموزش علوم و به خصوص فیزیک در دورهٔ دبیرستان چه هدفی را دنبال می‌کنیم.

صاحبنظران در امر آموزش علوم بر این عقیده‌اند که هدف از آموزش علوم آن است که علاوه بر آشنا کردن دانش‌آموزان با مفاهیم و قوانین اولیه و اساسی هر علم، مانند فیزیک، به دانش‌آموزان بیاموزیم که «چگونه علمی بیندیشند» و نیز آنها را قادر سازیم با خواندن کتاب مفاهیم را از لابلای سطور آن دریابند.

چنانچه به دنبال دستیابی به این هدفها باشیم، نگران حل چند مسئله و یا حفظ کردن چند فرمول نخواهیم بود. آیا به راستی با انتقال هر چه بیشتر مفاهیم، همراه با فرمولبندی ریاضی و حل مسائل مشکل و پیچیده به دانش‌آموزان، به آنها فیزیک و یا هر علم دیگری آموخته‌ایم؟ آیا در مدت کوتاهی که دانش‌آموزان در دبیرستان به تحصیل اشتغال دارند، با توجه به گستردگی علم فیزیک، آیا فرصت این کار را داریم؟ آیا باید اجازه دهیم امتحانهای هماهنگ منطقه‌ای یا نهایی و یا کنکور، ما را به دنبال خود بکشاند؟ آیا با گسترش هر چه بیشتر مطالب، به جز آنکه دانش‌آموزان را خسته و کسل کرده و آنها را از تحصیل فیزیک گریزان کنیم، نتیجه دیگری حاصل خواهیم کرد؟ آیا برای پاسخگویی به سؤالهای کنکور و به خصوص سؤالهای فیزیک در یکی دو سال اخیر، به مطالب فیزیکی بیشتر از آنچه که در کتابهای فیزیک آورده شده‌اند، نیاز است؟ در مورد نظام جدید آموزش و پرورش که هنوز کنکوری برگزار نشده است، چرا باید پیش داوری کرد؟ چرا نباید ما پیشتاز باشیم و امتحان نهایی و کنکور را بدنبال خود بکشیم؟ آیا منظور از برگزاری امتحان، ارزشیابی از مطالبی است که به دانش‌آموز آموخته‌ایم یا مطالبی که ما می‌دانیم و دانش‌آموز نمی‌داند؟ آیا سؤالهای امتحانی باید از درجه دشواری مناسبی برخودار باشند یا باید آنقدر پیچیده و مشکل باشند که تعداد دانش‌آموزانی که در کل یک منطقه نمره بالای ده کسب کرده‌اند به تعداد انگشتان دست هم نرسد؟

اگر به پاسخ سؤالهایی از این قبیل بیندیشیم، خواهیم دید که در آموزش فیزیک راه درستی را انتخاب نکرده‌ایم. باید عاقلانه اندیشه کرد و آگاهانه راهی را انتخاب کرد که ما را به سرمنزل مقصود برساند.

سردبیر

# خاصیتهای بازتابی

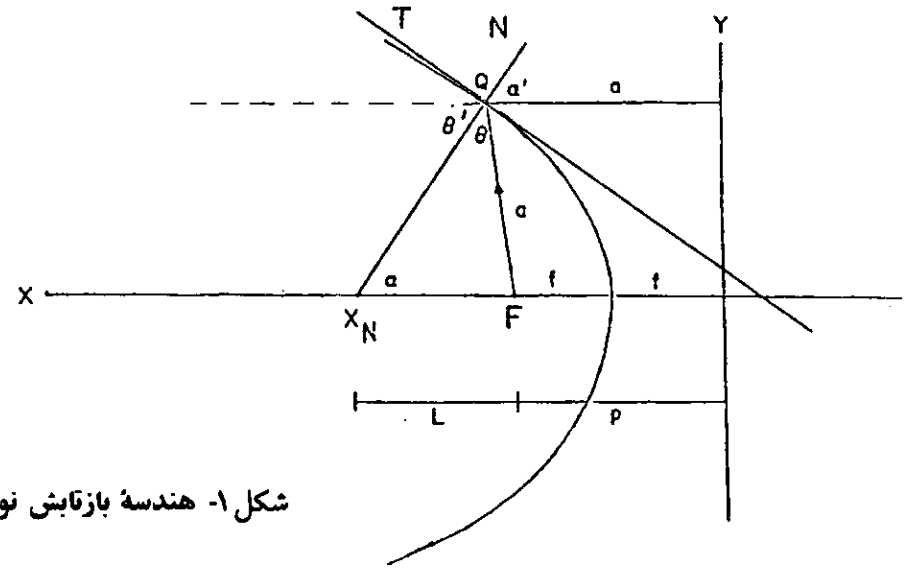
# یک آینهٔ سهموی

نوشتهٔ گوردن رامزی[1]
ترجمهٔ محمود امانی

دانشجویان اپتیک (دیدگانی) با این خاصیت بازتابی یک آینه سهموی (شلجمی) آشنا هستند، که پرتویی به موازات محور اپتیکی به آینه بتابد پس از بازتاب از کانون می‌گذرد و بالعکس. معمولاً اثبات ریاضی این خاصیت در کتابهای فیزیک عمومی نیامده است. در بعضی از کتابهای حساب دیفرانسیل و انتگرال این قضیه بدون اثبات بیان شده است و یا اثبات آن را به عنوان تمرین برعهدهٔ خوانندهٔ کتاب گذاشته‌اند. اثباتهای ریاضی گوناگونی در این مورد وجود دارد امّا بیشتر آنها مشکل و سنگین بوده و برای دانش‌آموزان دورهٔ متوسط دنبال نمودن آنها دشوار است. فاینمن، بحث زیبایی دربارهٔ این خاصیت با استفاده از اصل کمترین زمان فرما ارائه می‌کند. حتی یک روش متداول عددی برای نشان دادن خاصیت بازتابی آینه‌های سهموی با استفاده از ردیابی نور نیز به چاپ رسیده است.

برای دانش‌آموزان سطوح بالاتر، هشت (Hecht) روش اثباتی را ارائه می‌کند که در آن از سطوح موج تخت و مفهوم طول مسیر اپتیکی (Optical path length) استفاده شده است. در این یاداشت یک اثبات سادهٔ ریاضی ارائه شده است که بیشتر برای دانشجویان اپتیک مقدماتی مناسب است و در آن حداکثر از قانون بازتابش استفاده شده است. برخلاف روش هشت، در این روش فقط از مفاهیم ابتدایی نور و حساب و دیفرانسیل و انتگرال و جبر و هندسه استفاده شده است. این اثبات، مثال کوچکی از چگونگی ترکیب رشته‌های مختلف ریاضی با یک قانون فیزیک برای اثبات یک خاصیت شناخته شدهٔ نور است.

آینهٔ سهموی شکل ۱ را به عنوان سطحی بدون ابیراهی کروی در نظر بگیرید، یعنی یک سطح بازتاب کامل سهموی دوار. یک چشمهٔ نقطه‌ای نور را در کانون، F ، قرار می‌دهیم. مسیر یک پرتو را که از این نقطه بر یک نقطهٔ کاملاً اختیاری Q می‌تابد دنبال می‌کنیم و مسیر بازتابش آن را با خط نقطه‌چین مشخص می‌سازیم. می‌خواهیم نشان دهیم که خط نقطه‌چین با محور تقارن سهمی (که در شکل با محور x نشان داده شده است) موازی است. سهمی از نظر ریاضی منحنی ایست که فاصلهٔ هر نقطهٔ روی آن تا نقطه‌ای بنام کانون سهمی و خطی بنام خط هادی سهمی برابر است. (خط هادی




**شکل ۱- هندسهٔ بازتابش نور برای یک آینهٔ سهموی**

سهمی در شکل با محور y مشخص شده است). فاصلهٔ کانونی با f نشان داده شده است و فاصله نقطهٔ Q تا کانون و خط هادی با حرف a مشخص گردیده است. در این دستگاه مختصات معادلهٔ سهمی (۱) $y^2=2p\,(x-f)$ می‌شود که در آن p (مساوی ۲f) فاصلهٔ کانون تا خط هادی است. با بکار بردن معادلهٔ (۱) مختصات نقطهٔ Q ( $a\,,\sqrt{P(2a-p)}$ ) خواهد شد. می‌خواهیم رابطهٔ بین زوایا در شکل ۱ را تعیین کنیم تا جهت‌گیری خط نقطه‌چین نسبت به محور x مشخص گردد. ابتداء از حساب دیفرانسیل و انتگرال برای یافتن شیب خط مماس بر سهمی در نقطهٔ Q و خط عمود بر این خط در همین نقطه استفاده می‌کنیم (خط مماس با حرف T و خط عمود با حرف N مشخص شده‌اند). شیب خط T برابر است با

$$S=\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=a}=\frac{P}{[P(2a-p)]^{\frac{1}{2}}} \qquad (2)$$

و شیب متناظر با N برابرست با $M=-\frac{1}{S}$

در گام بعدی،اثبات از جبر برای یافتن معادلهٔ خط N استفاده می‌کنیم. با دانستن شیب خط N و ارزیابی معادلهٔ شیب- عرض از مبدئی ($y=Mx+b$) در نقطهٔ Q، عرض از مبداء خط N برابر است با

$$b=[p(2a-p)]^{\frac{1}{2}}.(p+a)/p \qquad (3)$$

با استفاده از معادلهٔ خط N، طول از مبداء خط N را پیدا می‌کنیم $x_N=p+a$ . بدین ترتیب فاصله L در شکل ۱ مساوی با a درمی‌آید.

در ادامهٔ اثبات از هندسه و قانون بازتابش استفاده می‌کنیم. از آنجا که L=a در آمده، مثلثی که بوسیلهٔ سه نقطهٔ F، $X_N$ و Q ایجاد می‌شود متساوی‌الساقین است بنابراین $\alpha=\theta$ . علاوه بر آن $\alpha=\alpha'$ است، زیرا آنها زاویه‌های متناظر در خطوط موازی هستند، طبق قانون بازتابش داریم $\theta=\theta'$. بنابراین $\alpha'=\theta'$، و خط نقطه‌چین امتداد خط افقی از خط هادی تا نقطهٔ Q است. بنابراین پرتو نوری که از کانون سرچشمه گرفته است به موازات محور تقارن سهمی بازتابیده می‌شود با همین استدلال هندسی می‌توان عکس این مطلب را هم ثابت کرد.

**زیرنویسها:**

1- Gordon P. Ramsey Department of Physics, loyola University of Chicago, IL 60626.

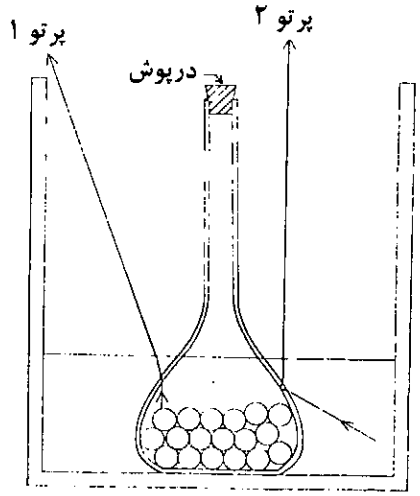
**مرجع:**

The Physics Teacher, April 1991, P. 240- 241.

# یک آزمایش جالب درباره بازتابش کلی

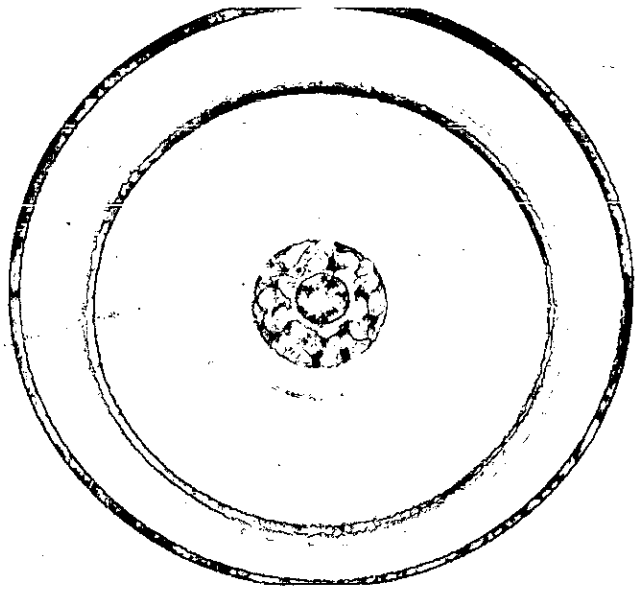
**نوشتهٔ ب. ملتون**[1]
**ترجمهٔ احمد توحیدی**[2]

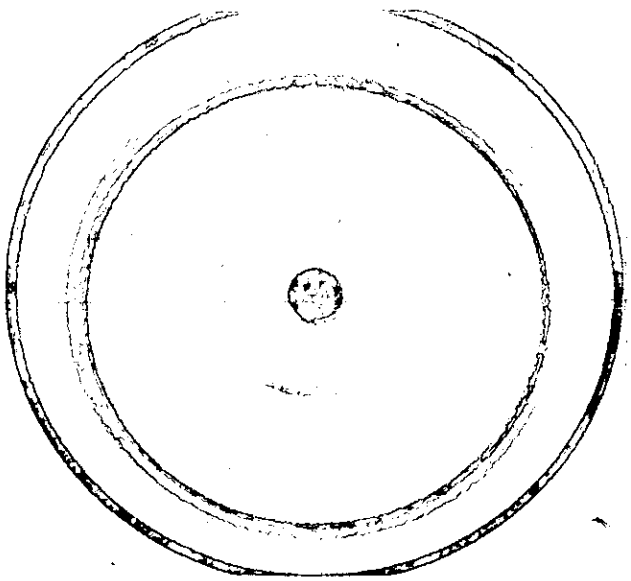
شکل ۱ طرح یک بالون ته صاف ۱۰۰۰ میلی‌متری را نشان می‌دهد که تقریباً تا نیمه از گلوله‌های شیشه‌ای پر شده است. بالون در ظرف شیشه‌ای بزرگی که در آن مقداری آب ریخته شده است قرار دارد. شکل ۲ نشان دهندهٔ چشم‌انداز ناظری است که از طرف بالا به طور عمود به بالون نگاه می‌کند. دایرهٔ سیاه رنگ در مرکز بالون، درپوش لاستیکی بالون است. گلوله‌ها را می‌توان از بخشی از بالون که بیرون از آب است مشاهده کرد. اما سطح بالون در زیر آب، کدر و براق و تقریباً نقره فام به نظر می‌رسد. با افزایش سطح آب در ظرف شیشه‌ای می‌توان گلوله‌ها را از دید ناظر به طور کامل پنهان کرد (شکل ۳).




**شکل ۱ـ** طرحی از گلوله‌ها در یک بالون ۱۰۰۰ میلی لیتری. بالون در ته ظرفی قرار گرفته است که بخشی از این ظرف از آب پر شده است.

گلوله‌ها به دو علت از دید ناظر پنهان می‌شوند. دو پرتو ۱ و ۲ را در شکل ۱ در نظر بگیرید. چون سطح جانبی بالون شیب زیادی دارد، پرتوهایی شبیه پرتو ۱ به علت شکست نور، یک بار هنگام عبور از شیشه و بار دیگر هنگام خروج از آب و ورود به هوا، کج شده و از خط عمود دور می‌شوند. به علت بازتابش کلی پرتوها از سطح داخلی بالون، بخشی از بالون که زیر آب قرار دارد کدر و براق به نظر می‌رسد. بازتابش کلی هنگامی اتفاق می‌افتد که زاویهٔ پرتوهایی شبیه پرتو ۲ هنگام ورود به شیشه بزرگتر از ۴۵° (زاویهٔ حد شیشه‌ـ هوا) باشد. اندازهٔ زاویهٔ ورودی در پیوست محاسبه شده است.



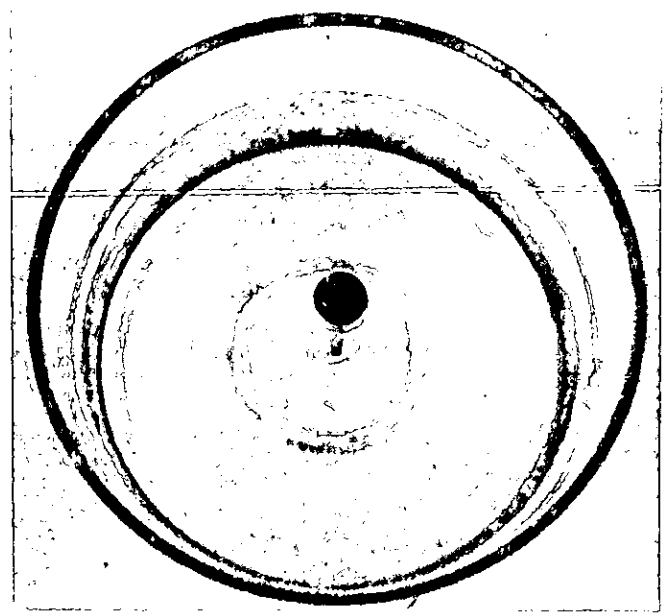


**شکل ۳ـ** همان چشم‌انداز در شکل ۲، اما با ارتفاع بیشتری از آب

هم چنان که در شکل ٤ نشان داده شده است، حتی اگر ناظر هم کمی از خط عمود دور شود باز هم گلوله‌ها از دید او پنهان می‌مانند. چشم‌انداز شکل ٤ نزدیک به حد

جابه‌جایی ناظر از خط عمود است. اگر ناظر باز هم از خط عمود دور شود، تعدادی از گلوله‌های درون بالون دیده می‌شوند. توجه کنید که در شکل ٤ عدد ۱۰۰۰ که روی سطح خارجی بالون نوشته شده است و نیز تصویر این عدد که حاصل باز تابش نور از سطح داخلی بالون است، هر دو در شکل ٤ دیده می‌شوند.

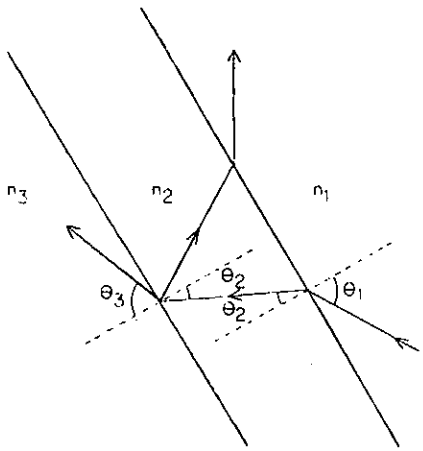
به دانش آموزان نشان دهید که چگونه با افزایش حجم آب ظرف بیرونی، گلوله‌ها به تدریج پنهان می‌شوند. بعد از بحث و توضیح رفتار مشاهده شده در آزمایش، درپوش بالون را بردارید و آن را با آب پر کنید. بار دیگر گلوله‌ها دیده می‌شوند. از دانش‌آموزان بخواهید که این پدیدهٔ جدید را توضیح دهند.



**شکل ۴ـ** همان چشم‌انداز در شکل ۳، اما ناظر اندکی از خط عمود دور شده است.

## پیوست

شکل ۵ چشم‌انداز گسترده‌ای از باز تابش پرتوی مانند پرتو ۲ در شکل ۱ را از سطح داخلی بالون، نشان می‌دهد. فرض کنید سطح داخلی و سطح خارجی بالون تقریباً موازی هم باشند. در شکل ۵، $\theta_1$ نمایانگر زاویهٔ تابش بر روی سطح شیشه، $\theta_2$ نمایانگر زاویهٔ شکست داخل شیشه و $\theta_3$ نمایانگر زاویهٔ خروجی از شیشه است. فرض کنید بخشی از پرتو از سطح داخلی شیشه باز بتابد و بخشی دیگر از آن عبور کند. ضریب شکست متناظر با محیطهای پیرامون بالون را به ترتیب $n_1$، $n_2$ و $n_3$ فرض کنید. اگر بالون در هوا باشد $n_1$ و $n_3$ هر دو برابر با ۱/۰۰




**شکل ۵ـ** چشم‌انداز گستردهٔ بازتابش پرتوی مانند پرتو ۲ از شکل ۱ از سطح داخلی بالون

هستند. بنابراین، به علت تقارن، $\theta_1$ و $\theta_3$ برابرند و پرتوی که از هوا وارد شیشه می‌شود نمی‌تواند از سطح داخلی بالون بازتابش کلی پیدا کند. اما اگر بالون در آب قرار گرفته باشد، باز تابش کلی اتفاق می‌افتد.

اگر $\theta_1$ کوچک‌ترین زاویهٔ ورودی پرتو نور از آب به داخل شیشه باشد که به ازاء آن زاویه، بازتابش کلی از سطح داخلی بالون روی می‌دهد، زاویهٔ خروجی این پرتو از سطح شیشه یعنی $\theta_3$ برابر ۹۰° است. با استفاده از قانون اسنل می‌توان $\theta_1$ را محاسبه کرد:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin 90^\circ \qquad (1)$$

فرض کنید $n_1$=۱/۳۳ برای آب و $n_3$=۱/۰۰ برای هوا باشد. اگر رابطهٔ (۱) را با توجه به مقادیر داده شده حل کنیم، $\theta_1$=۴۹° به دست می‌آوریم که به ضریب شکست شیشه بستگی ندارد. بنابراین پرتوی که زاویهٔ تابش آن هنگام ورود به داخل شیشه از ۴۹° بزرگتر است، از سطح داخلی بالون بازتابش کلی پیدا می‌کند، و پرتوی که زاویهٔ تابش آن از ۴۹° کمتر است بخشی از آنها از سطح داخلی بالون بازتابش پیدا کرده و بخشی دیگر از آن عبور می‌کند.

## زیرنویسها:

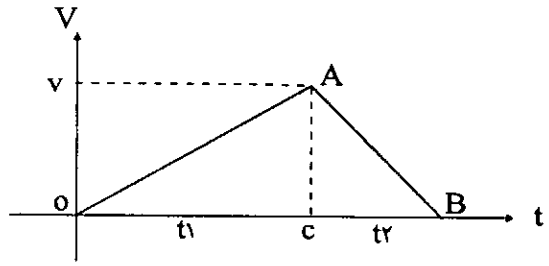
1- B. F. Melton
Department of Physics, The University of North Carolina, Charlotte, NC 28223.
۲ـ دبیر فیزیک از شیراز

## مرجع:

The Physics Teacher, November 1991, P. 539-540.

# پاسخ هفتمین المپیاد فیزیک ایران

**حل مسألهٔ ۱**




$d = S_{OAB} = \frac{۱}{۲} vt$ ①

$v = a_۱ t_۱ = ۰/۲ t_۱$

$۰ = -۰/۸ t_۲ + v \longrightarrow v = ۰/۸\, t_۲$

$t_۱ = ۵v$ و $t_۲ = \frac{۵}{۴} v$

$t_۱ + t_۲ = t \longrightarrow t = (۵ + \frac{۵}{۴}) v \longrightarrow v = \frac{۴}{۲۵} t$ ②

① و ② $\longrightarrow d = \frac{۱}{۲} \times \frac{۴}{۲۵} t^۲ = ۳۲۰۰m \longrightarrow t = ۲۰۰S$

**حل مسئله ۲**

به علت انبساط طولی ساقه دماسنج، فاصله دو عدد متوالی روی آن یعنی ۱cm افزایش یافته و بیشتر می‌شود.

$l = l_۱ (۱ + \lambda \Delta \theta)$

$l = ۱ (۱ + ۹ \times ۱۰^{-۶} \times ۱۷) = ۱/۰۰۰۱۵۳cm$

در نتیجه طول ستون جیوه را کمتر از آنچه که هست نشان می‌دهد. طول ستون جیوه در هواسنج در دمای جدید برابر است با:

$h' = ۷۶/۲۲ \times ۱/۰۰۰۱۵۳ \simeq ۷۶/۲۳cm$

چون فشار هوا ثابت است، فشار ستون جیوه در دو حالت یکسان است. اما چگالی و طول ستون جیوه در دو حالت یکسان نیست. انبساط جیوه در اینمورد بی‌تأثیر است:

$\rho g h = \rho' g h'$

$\rho \times ۷۶ = \frac{\rho}{۱ + a \times ۱۷} \times ۷۶/۲۳$

$a = \frac{۰/۲۳}{۷۶ \times ۱۷} = ۱/۷۸ \times ۱۰^{-۴}\ ^\circ C^{-۱}$

ضریب انبساط حجمی مطلق جیوه

**حل مسأله ۳**

در شاخه (۱) جسم جامد با گرفتن گرما از دمای ۲۰°C به ۱۲۰°C رسیده است و آمادهٔ ذوب است.

در شاخه (۲) جسم با گرفتن گرما و بدون تغییر دما در حال ذوب است.

در شاخه (۳) جسم به حالت مایع است و با گرفتن گرما، دمایش افزایش یافته است. نقطه جوش بزرگتر از ۲۴۰°C است. شیب این دو شاخه عکس ظرفیت گرمایی ($\frac{۱}{mc}$) است. و چون شیب شاخه (۳) بیشتر است، گرمای ویژه مایع کوچکتر از جامد است.

اگر در هر دقیقه به جسم Q ژول گرما داده باشیم، داریم:

در شاخهٔ (۲)

$Q_۲ = mL_f \longrightarrow Q_۲ = Q \Delta_۲ t = Q\,(۳۲ - ۱۶) = ۱۶Q$

جرم جسم $m = \frac{Q}{5} g = \frac{Q}{5000} kg \longrightarrow 16Q = m \times 80$

در شاخهٔ (۱) $Q_1 = Q\Delta_1 t = Q(16-0) = 16Q$

$Q_1 = mc_1\Delta_1\theta \longrightarrow 16Q = \frac{Q}{5000} c_1 \times (120-20)$

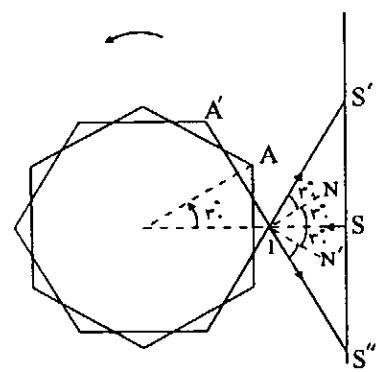
گرمای ویژه جسم در حالت جامد $c_1 = 800 \frac{J}{kg^\circ C}$

در شاخهٔ (۳) $Q_3 = Q\Delta_3 t = mc_3 \Delta_3 \theta$

$Q \times (44-32) = \frac{Q}{5000} c_3 (240-120)$

$c_3 = 500 \frac{J}{kg^\circ C}$

## حل مسأله ٤




اگر چند وجهی ابتدا در وضع A باشد. $i=0$ و $r=0$ وقتی چند وجهی شروع به دوران کند از این لحظه تا تابش نور به فصل مشترک دو آینهٔ مجاور هم (چند وجهی در وضع A′) هر وجه از جمله وجهی که نور به آن تابیده است به اندازهٔ ۳۰° چرخیده و پرتو بازتاب به نقاط بین S و S′ و بالاخره در نقطه S′ با پرده برخورد کرده و خط SS′ روشن دیده می‌شود و <SIS′ مساوی ۶۰° شده است (قضیه دوران آینه). بنابراین:

$SS' = SI \ \ tg\,60^\circ \simeq 0/6\sqrt{3}\,m$

در همین لحظه (لحظهٔ تابش به فصل مشترک دو آینه) زاویهٔ تابش برای آینهٔ دوم ۳۰° است و پرتو بازتاب مربوط به این آینه در نقطهٔ $\hat{S}$ با پرده برخورد می‌کند. از این لحظه تا وقتی که پرتو نور بر وجه مزبور عمود شود زاویهٔ تابش بین ۳۰° و صفر تغییر می‌کند و پرتو بازتاب به نقاط بین $\hat{S}$ و s با پرده برخورد کرده و خط روشن $\hat{S}\,S$ دیده می‌شود چنانکه گفته شد:

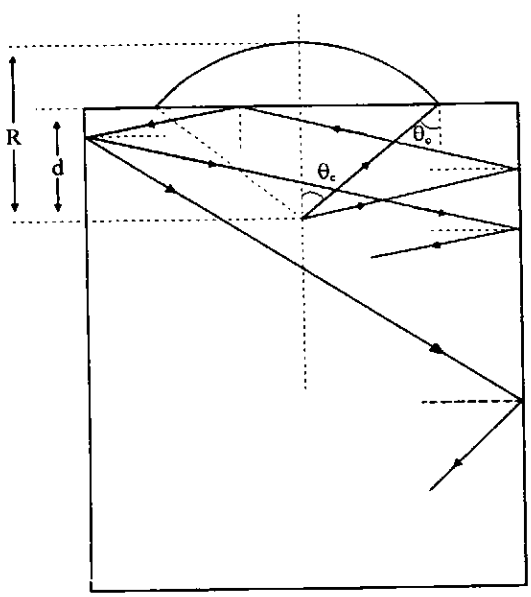
$S'S = SI \ \ tg\,60^\circ \simeq 0/6\sqrt{3}\,m$

در نتیجه:

$S'S' = 2 \times 0/6\sqrt{3} = 1/2\sqrt{3}\,m$

## حل مسأله ۵

شعاعی که با زاویه حد، $\theta_c$ به سطح مایع می‌خورد در نظر می‌گیریم. اگر این شعاع را حول محور استوانه دوران دهیم، یک مخروط به دست می‌آید. کلیه شعاعهای نورانی که داخل این مخروط باشند از سطح مایع خارج می‌شود. تمام شعاعهایی که بیرون این مخروط باشد، روی سطح مایع و یا دیواره‌های بازتابنده،بازتابهای متوالی کرده و از سطح مایع خارج نمی‌شود. یکی از این شعاعها در شکل مشخص شده است.




تمام نورهائی که در مخروط پائینی با همان زوایه نیز قرار دارد، پس از بازتاب از سطوح استوانه از سطح مایع نسبتی از انرژی منبع نورانی که از سطح مایع خارج میشود، متناسب با مساحت عرقچین کروی است که در انتهای مخروط ساخته می‌شود.

$S' = \text{مساحت عرقچین} = 2\pi R\,(R-d) = 2\pi R^2 (1-\frac{d}{R})$

$S' = 2\pi R^2 (1-\cos\theta_c)$

خارج می‌شود، بنابراین باید نورهایی را که از مساحتی دو برابر مساحت $S'$ خارج می‌شود، به حساب آورد.

نسبتی از انرژی که از سطح مایع خارج می‌شود $=\eta$

$$\eta=\frac{\text{نوری که از مساحت دو عرقچین خارج می‌شود}}{\text{نوری که از تمام مساحت کره خارج می‌شود}}$$

$$\eta=\frac{2\times 2\pi R^2(1-\cos\theta c)}{4\pi R^2}=1-\cos\theta c$$

$$\sin\theta_c=\frac{1}{n}\Longrightarrow\cos\theta_c=\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}$$

$$\eta=1-\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}$$

## حل مسأله ۶

داده‌های مسئله عبارتند از: نسبت روشنایی ظاهری ماه به خورشید از زمین $=\frac{f_{ماه}}{f_{خور}}=2\times10^{-6}$، فاصله خورشید از زمین یا ماه $=D$، فاصله ماه از زمین $=d$، شعاع ماه $=r$، روشنایی خورشید در فاصله D از آن $f_{خور}=\frac{L}{4\pi D^2}$

انرژی دریافتی ماه از تابش خورشید $S=$

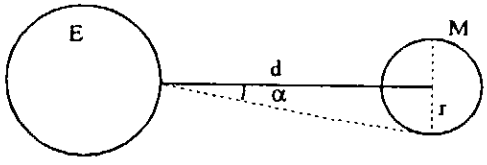
$$S=\frac{\pi r^2}{4\pi D^2}L$$

اگر ضریب انعکاس ماه K باشد، از آنجا که ماه روشنایی را در نصف کل فضا باز می‌تاباند، روشنائی ظاهری ماه ($f_{ماه}$) در فاصلهٔ d برابر است با:

$$f_{ماه}=\frac{KS}{2\pi d^2}=\frac{K\pi r^2L}{8\pi^2D^2d^2}=\frac{Kr^2L}{8\pi D^2d^2}$$

$$\frac{f_{ماه}}{f_{خور}}=\frac{Kr^2L}{8\pi D^2d^2}\times\frac{4\pi D^2}{L}\Longrightarrow\frac{f_m}{f_s}=K\frac{r^2}{2d^2}$$

$$2\times10^{-6}=K\frac{r^2}{2d^2}\longrightarrow K=4\times10^{-6}\left(\frac{d}{r}\right)^2$$




$$\alpha=\frac{1}{4}\text{ درجه}$$

$$\frac{d}{r}=\cot g\,\alpha$$

$$K=4\times10^{-6}\cot g^2\frac{1}{4}$$

$$\cot g\frac{1}{4}=229/18$$

$$K\simeq0/21$$

## حل مسأله ۷

الف) $\Delta Q=I\,\Delta t$

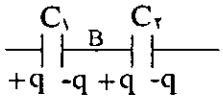
$$E=\frac{V}{d}=\frac{Q/c}{d}=\frac{Q}{\varepsilon A}$$

ب) $\Delta E=\frac{\Delta E}{\Delta t}$

ج) $\frac{\Delta E}{\Delta t}=\frac{I}{\varepsilon A}$

## حل مسأله ۸

هنگامی که کلید باز است چون دو خازن $C_1$ و $C_2$ متوالی هستند بار هر دو با هم برابر است و کل بار دو صفحهٔ میانی آنها صفر است.

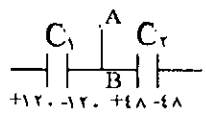



هنگامی که کلید بسته است ولتاژ دو سر $C_1$ برابر ولتاژ دو سر $R_1$ و ولتاژ دو سر $C_2$ برابر ولتاژ دو سر $R_2$ است لذا

$$i=\frac{E}{R_1+R_2}\text{ و }V_1=R_1i$$

$$q'_1=C_1V_1=C_1\frac{R_1}{R_1+R_2}E=6\times\frac{50}{50+10}\times24$$
$$=120\,\mu C$$

$$q_2'=C_2V_2=C_2\frac{R_2}{R_1+R_2}E=12\times\frac{10}{50+10}\times24$$
$$=48\,\mu C$$




کل بار دو صفحهٔ میانی $-120+48=-72\,\mu C$

یعنی $72\mu C-$ از A به B یا $72\mu C+$ از B به A رفته است.

## حل مسأله ۹

الف- قبل از بستن کلید،جریان الکتریکی از مدار نمی‌گذرد و میداز مغناطیسی داخل سیم‌پیچ صفر است. پس از بستن کلید جریان در مدار به وجود می‌آید و میدان مغناطیسی در سیم‌پیچ خواهیم داشت که شار مغناطیسی از سیم‌پیچ می‌گذرد. چون در سیم‌پیچ تغییر شار مغناطیسی داشتیم، پس نیروی محرکه القایی در آن ایجاد می‌شود.

ب- نیروی محرکه القایی در سیم‌پیچ از رابطه $E=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ به دست می‌آید. دو لحظه،کمی قبل از بستن کلید و کمی بعد از بستن کلید را در نظر می‌گیریم. می‌توان این دو لحظه را به $t=۰$ تا هر اندازه بخواهیم نزدیک کنیم و فاصله آندو را به صفر نزدیک کنیم. اگر قرار باشد در این مدت شار مغناطیسی سیم‌پیچ تغییر کند، نیروی محرکه القایی بینهایت خواهد شد. پس باید شار مغناطیسی در این مدت ثابت بماند. چون قبل از بستن کلید شار مغناطیسی صفر بود، پس باید بلافاصله پس از بستن کلید نیز شار مغناطیسی صفر بماند. در اینصورت از رابطه $\varphi=LI$، I نیز بلافاصله پس از بستن کلید صفر خواهد بود. در مدار داریم

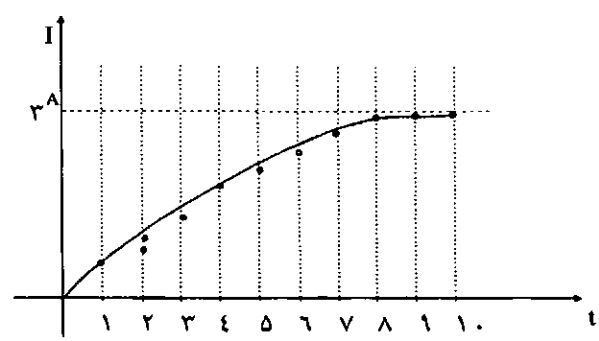
$$E_b = RI + E$$

$$t=۰ \longrightarrow E_B = R\times ۰ + E_۰ \longrightarrow E_۰ = ۱۲V$$

ج- از رابطه $E=\frac{\Delta\varphi}{\Delta\mu}$ داریم

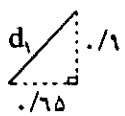
$$\Delta\varphi = E\Delta t$$

در مدت کوتاه $\Delta t$ پس از بستن کلید، (مثلاً یک واحد زمان) شار مغناطیسی به اندازه $E_۰\Delta t$ افزایش می‌یابد که تقریباً برابر با مساحت ستونی به پهنای $\Delta t$ از نمودار شکل (ب) و در کنار محور نیروی محرکه است. چون قبل از بستن کلید شار مغناطیسی صفر بود، پس با گذشت زمان $\Delta t$ شار مغناطیسی $E_۰\Delta t$ خواهد شد. با گذشت زمانهای متوالی $\Delta t$، افزایش شارهایی که برابر با مساحت ستونهای متوالی به پهنای $\Delta t$ است خواهیم داشت. پس در هر لحظه، شار عبوری از سیم‌پیچ در آن لحظه، برابر با مساحت زیر منحنی تا آن لحظه خواهد بود. اگر این مساحت را برای زمانهای متوالی حساب کنیم و در رابطه $\varphi=LI$ قرار دهیم، تغییرات جریان مانند شکل به دست می‌آید. مقدار جریان نهایتاً به $E_{b/R}=۳A$ خواهد رسید.




## حل مسأله ۱۰

فاصلهٔ بین نقاط را با استفاده از رابطهٔ فیثاغورث می‌توان به دست آورد



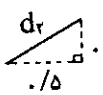

در فاصله دور از هسته

$$d_۱=\sqrt{۰/٦٥^۲+۰/۱^۲} \simeq ۱/۱۱ \text{ mm}$$

$$V_۱=\frac{d_۱}{t_۱}=\frac{۱/۱۱\times ۱۰^{-۳}}{۵\times ۱۰^{-۳}} \simeq ۲۲۲ \frac{m}{s}$$

$$Ec_۱=\frac{۱}{۲}mv_۱^۲=\frac{۱}{۲}(۱/٦۷\times ۱۰^{-۲۷})(۲۲۲)^۲ \simeq ٤/۱۲\times ۱۰^{-۲۳} J$$

$$Ep_۱ = ۰$$




$$d_۲=\sqrt{۰/۵^۲+۰/۱۵^۲} \simeq ۰/۵۲ \text{ mm}$$

در فاصله نزدیک به هسته $V_۲=\frac{d_۲}{t_۲}=\frac{۰/۵۲\times ۱۰^{-۳}}{۵\times ۱۰^{-۶}} \simeq ۱۰٤ \frac{m}{s}$

$$Ec_۲=\frac{۱}{۲}mv_۲^۲=\frac{۱}{۲}(۱/٦۷\times ۱۰^{-۲۷})(۱۰٤)^۲ \simeq ۰/۹۱\times ۱۰^{-۲۳} J$$

$$Ec_۱+Ep_۱ = Ec_۲ + Ep_۲$$

$$٤/۱۲\times ۱۰^{-۲۳} + ۰ \simeq ۰/۹۱\times ۱۰^{-۲۳} + Ep_۲$$

$$\Longrightarrow Ep_۲ = ۳/۲۱\times ۱۰^{-۲۳} J$$

$$Ep_۲ = k\frac{qQ}{r} \text{ و } \frac{Q}{q}=z \Longrightarrow Ep_۲ = k\frac{zq^۲}{r}$$

$$Z=\frac{rEp_۲}{kq^۲}=\frac{۰/٦\times ۱۰^{-۳}\times ۳/۲۱\times ۱۰^{-۲۳}}{۹\times ۱۰^{۹}(۱/٦\times ۱۰^{-۱۹})^۲}$$

$$z = ۸۳$$

# پرسشهای گزینش دانشجو

مرحلهٔ اول ۱۳۷۳

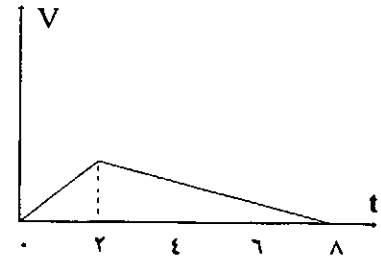
## رشتهٔ علوم ریاضی - فنی

۱۸۱- جسمی در شرایط خلاء از یک بلندی بدون سرعت اولیه رها می‌شود. مسافت طی شده در ثانیه دوم حرکت، چند برابر مسافت طی شده در ثانیه اول است؟

۱) $\frac{۳}{۲}$ ۲) ۲

۳) ۳ ۴) ۴

۱۸۲- نمودار سرعت- زمان متحرکی به شکل مقابل است. اندازه شتاب حرکت در مرحله تند شونده چند برابر اندازه شتاب در مرحلهٔ کند شونده است؟




۱) ۴ ۲) ۳

۳) $\frac{۱}{۳}$ ۴) $\frac{۱}{۴}$

۱۸۳- جسمی به جرم ۲kg روی سطح افقی بدون اصطکاکی تحت اثر دو نیروی متقاطع افقی عمود بر هم که اندازه یکی از آنها ۳ نیوتن است قرار دارد. اگر شتاب جسم $۲/۵ \frac{m}{s^۲}$ باشد، اندازه نیروی دیگر چند نیوتن است؟

۱) ۱ ۲) ۳

۳) ۴ ۴) ۵

۱۸۴- جسمی را با سرعت اولیه $V_۰$ در امتداد سطح شیبداری که با افق زاویه $\alpha$ می‌سازد و ضریب اصطکاک آن M است به طرف بالا پرتاب می‌کنیم. اگر شتاب حرکت این جسم در حال بالا رفتن a باشد، اندازه a در کدام رابطه صادق است؟

۱) $a > g \sin\alpha$ ۲) $a = g \sin\alpha$

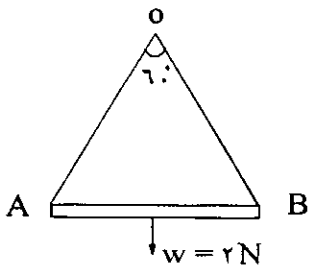
۳) $a < g \sin\alpha$ ۴) $a = Mg \sin\alpha$

۱۸۵- نیروی ۱۰ نیوتن به جسمی شتاب $a \frac{m}{s^۲}$ و نیروی ۱۴ نیوتن بر آن شتاب $(a+2) \frac{m}{s^۲}$ می‌دهد، a چند متر بر مجذور ثانیه است؟

۱) ۷ ۲) ۵

۳) ۴ ۴) ۲

۱۸۶- میلهٔ همگن AB به وسیلهٔ دو نخ با طولهای مساوی از نقطه O مطابق شکل آویزان است. اگر وزن میله ۲ نیوتن باشد، نیروی کشش هر نخ چند نیوتن خواهد بود؟




۱) $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$ ۲) $۲\frac{\sqrt{۳}}{۳}$

۳) ۱ ۴) ۲

۱۸۷- اگر جسمی روی سطح شیب‌دار بدون اصطکاکی که شیب آن ($\sin\alpha = ۰/۶$) است از پایین به بالا با سرعت اولیه ۱۲ $\frac{m}{s}$ پرتاب شود، پس از پیمودن چند متر سرعت آن صفر می‌شود؟ ($g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$)

۱) ۲۴ ۲) ۱۸
۳) ۱۲ ۴) ۶

۱۸۸- اگر در شرایط خلاء، از یک ارتفاع همزمان گلوله A رها، و گلوله B با سرعت افقی $V_۰$ پرتاب شود چگونه به زمین خواهند رسید؟

۱) با هم و با سرعتهای متفاوت
۲) با هم و با سرعتهای مساوی
۳) گلوله B دیرتر و با سرعت بیشتر
۴) گلوله B زودتر و با سرعت بیشتر

۱۸۹- یک آونگ مخروطی با سرعت زاویه‌ای ۴ رادیان بر ثانیه حول محور قائمی می‌چرخد. اگر زاویه نخ آونگ با امتداد قائم ۶۰ درجه باشد، طول نخ چند متر است؟ ($g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$)

۱) $\frac{۵}{۱۶}$ ۲) ۰/۸
۳) ۱/۲۵ ۴) ۵

۱۹۰- سرعت زاویه‌ای متوسط عقربه دقیقه شمار ساعت، چند رادیان بر ثانیه است؟

۱) $\frac{\pi}{۳۰}$ ۲) $\frac{\pi}{۶۰}$
۳) $\frac{\pi}{۳۶۰۰}$ ۴) $\frac{\pi}{۱۸۰۰}$

۱۹۱- سرعت جسمی به جرم ۸ kg تحت تاثیر نیروی F از ۴ $\frac{m}{s}$ به ۶ $\frac{m}{s}$ می‌رسد، کار این نیرو چند ژول است؟

۱) ۱۶ ۲) ۳۲
۳) ۴۰ ۴) ۸۰

۱۹۲- جسمی به جرم m که روی سطح افقی بدون اصطکاک با سرعت ثابت حرکت می‌کند به جسم دیگری با همان جرم که روی سطح ساکن است برخورد می‌کند و هر دو با هم در همان راستای اولیه حرکت می‌کنند. نسبت انرژی جنبشی پس از برخورد به انرژی جنبشی قبل از برخورد کدام است؟

۱) $\frac{۱}{۴}$ ۲) $\frac{۱}{۲}$
۳) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$ ۴) ۱

۱۹۳- حلقه‌ای به جرم ۱ kg روی سطح شیبداری غلتیده با سرعت خطی ۶ $\frac{m}{s}$ جلو می‌رود. انرژی جنبشی این حلقه چند ژول است؟

۱) ۹ ۲) ۱۸
۳) ۲۴ ۴) ۳۶

۱۹۴- تار مرتعشی به طول یک متر و به جرم ۵ گرم با نیروی ۵۰ نیوتن کشیده شده است. سرعت انتشار ارتعاشات عرضی در این تار چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۳/۱۵ ۲) ۱۰
۳) ۱۰۰ ۴) ۳۱۵

۱۹۵- هر قدر به سختی یک فنر افزوده شود وقتی تحت تاثیر یک نیرو به نوسان درآید ..... نوسانات آن ..... می‌شود.

۱) تواتر- بیشتر ۲) تواتر- کمتر
۳) پریود- بدون تغییر ۴) دامنه- بیشتر

۱۹۶- هرگاه نقطه‌ای تحت تاثیر دو حرکت ارتعاشی هم راستا به معادلات $y_۱ = r \sin\omega t$ و $y_۲ = r \sin(\omega t + \frac{۲\pi}{۳})$ قرار گیرد، دامنه ارتعاش آن چند برابر r خواهد شد؟

۱) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$ ۲) ۱
۳) $\sqrt{۳}$ ۴) ۲

۱۹۷- هرگاه به انتهای یک فنر سبک وزنه ۵۰۰ گرمی بیاویزیم و آن را در راستای قائم با دامنه کم به نوسان درآوریم ۶۰ نوسان کامل در دقیقه انجام می‌دهد. ثابت این فنر تقریباً چند نیوتن بر متر است؟

۱) ۰/۰۱۲۵ ۲) ۱۲/۵
۳) ۲۰ ۴) ۲۰۰۰۰

۱۹۸- اگر درون لوله صوتی بسته‌ای به طول L به هنگام تولید صوت دو گره ایجاد شود طول موج ارتعاشات کدام مضرب L است؟

۱) $\frac{۲}{۳}$ ۲) $\frac{۳}{۲}$
۳) $\frac{۳}{۴}$ ۴) $\frac{۴}{۳}$

۱۹۹- نسبت سرعت انتشار صوت در هوای ۳۷ درجه سلسیوس به سرعت انتشار صوت در هوای ۱۷ درجه سلسیوس کدام است؟

۱) $\frac{۳۱}{۲۹}$ ۲) $\frac{۲۹}{۳۱}$ ۳) $\sqrt{\frac{۲۹}{۳۱}}$ ۴) $\sqrt{\frac{۳۱}{۲۹}}$

۲۰۰ـ گازی با دمای ۱۵ درجه سلسیوس را تا ۷۳ـ درجه سلسیوس سرد کرده‌ایم. در نتیجه سرعت صوت در آن گاز $۱۲۵\frac{m}{s}$ تغییر کرده است. سرعت صوت قبل از سرد کردن چند متر بر ثانیه بوده است؟

۱) ۷۵۰ ۲) ۶۵۰

۳) ۶۰۰ ۴) ۵۵۰

۲۰۱ـ فاصلهٔ شنونده از منبع صوت دو برابر شده. اگر دامنه ارتعاش در منبع نیز دو برابر شود، شدت صوت برای شنونده چند برابر می‌شود؟

۱) ۲ ۲) ۱

۳) $\frac{۱}{۲}$ ۴) $\frac{۱}{۴}$

۲۰۲ـ از سیم‌پیچی به مقاومت R یک بار جریان پیوسته‌ای به شدت ۲ آمپر و بار دیگر جریان متناوبی که شدت موثر آن در سیم‌پیچ ۲ آمپر است عبور می‌دهیم. اگر گرمای ایجاد شده در سیم‌پیچ در زمانهای مساوی و نسبتاً زیاد به ترتیب $Q_1$ و $Q_2$ باشد، کدام رابطه صحیح است؟

۱) $Q_1 = Q_2$ ۲) $Q_1 > Q_2$

۳) $Q_1 < Q_2$ ۴) $Q_1 = \sqrt{2}\, Q_2$

۲۰۳- سلفی به برق شهر متصل است. ضریب توان مدار $Cos\Phi$ و شدت موثر Ie می‌باشد. اگر یک میله آهنی را درون سیم‌پیچ (سلف) بگذاریم، Ie و $Cos\Phi$ به ترتیب چه می‌شود؟

۱) افزایش- افزایش ۲) افزایش- کاهش

۳) کاهش- افزایش ۴) کاهش- کاهش

۲۰۴ـ یک مقاومت و یک خازن را به طور سری بسته دو سر مدار را به منبع برق متناوب وصل می‌کنیم. اگر ولت‌سنج ولتاژهای دو سر خازن، دو سر مقاومت و دو سر مدار را به ترتیب $V_C$، $V_R$ و V نشان دهد، بین این سه ولتاژ کدام رابطه برقرار است؟

۱) $V < V_R + V_C$ ۲) $V = V_R + V_C$

۳) $V > V_R + V_C$ ۴) $V^2 = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$

۲۰۵ـ برای نور تک‌رنگی ضریب شکست شیشه $\frac{۳}{۲}$ و ضریب شکست آب $\frac{۴}{۳}$ است. نسبت فرکانس این نور در شیشه به فرکانس آن در آب کدام است؟

۱) $\frac{۸}{۹}$ ۲) ۱

۳) $\frac{۹}{۸}$ ۴) ۲

۲۰۶ـ اگر ثابت پلانک J.S $۶/۶ \times ۱۰^{-۳۴}$ باشد، فوتونی با طول موج ۰/۳۳ میکرون چند ژول انرژی دارد؟

۱) $۲ \times ۱۰^{-۳۶}$ ۲) $۲ \times ۱۰^{-۲۳}$

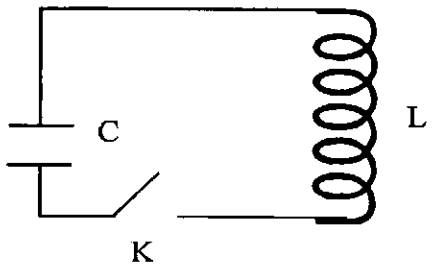
۳) $۶ \times ۱۰^{-۲۳}$ ۴) $۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

۲۰۷ـ در آزمایش یانگ با نور تک‌رنگ فاصله پرده نوارها از شکافها ۲۰۰۰ برابر فاصله دو شکاف از یکدیگر است. فاصله وسط دومین نوار تاریک از وسط نوار روشن مرکزی چند برابر طول موج نور مورد آزمایش است؟

۱) ۱۰۰۰ ۲) ۱۵۰۰

۳) ۳۰۰۰ ۴) ۶۰۰۰

۲۰۸ـ در مدار نوسان‌کننده LC (شکل مقابل) وقتی کلید k باز باشد، اختلاف پتانسیل دو سر خازن V است، وقتی کلید بسته شود حداکثر جریانی که از بوبین می‌گذرد کدام است؟




۱) $V\sqrt{\frac{C}{L}}$ ۲) $C\sqrt{\frac{V}{C}}$

۳) $\frac{VL}{c}$ ۴) Lc

۲۰۹ـ در پرتوهای X:

۱) جنسیت با جنس پرتوهای کاتودیک یکی است.

۲) فرکانسها به مراتب بزرگتر از فرکانس نور مرئی است.

۳) فرکانس کوچکتر از فرکانس نور مرئی است.

۴) طول موج بزرگتر از طول موج پرتوهای بالای بنفش است.

۲۱۰ـ نور و گرما رسانایی یک مادهٔ نیمه رسانا را به ترتیب چه می‌کنند؟

۱) زیاد- زیاد ۲) زیاد- کم

۳) کم- زیاد ۴) کم- کم

## رشتهٔ علوم تجربی

۲۰۱ـ معادلهٔ حرکت متحرکی (در سیستم SI) به صورت $x = t^2 + 8$ است. شتاب آن چند متر بر مجذور ثانیه است؟

۱) ۰/۵ ۲) ۱
۳) ۲ ۴) ۸

۲۰۲ـ معادله سرعت ـ زمان متحرکی بر مسیر مستقیم در SI، $V = 2t - 20$ است. اگر این متحرک در لحظه $t = 0$ در مبدأ مکان باشد، ۲ ثانیه بعد در فاصله چند متری آن خواهد بود؟

۱) صفر ۲) ۱۰
۳) ۲۰ ۴) ۴۰

۲۰۳ـ جسمی در شرایط خلاء بدون سرعت اولیه از ارتفاع h سقوط می‌کند و با سرعت V به زمین می‌رسد. اگر جسم با همان شرایط از ارتفاع 2h سقوط کند با سرعت چند V به زمین می‌رسد؟

۱) $\sqrt{2}$ ۲) ۲
۳) $2\sqrt{2}$ ۴) ۴

۲۰۴ـ جسمی روی سطح افقی با ضریب اصطکاک $\mu$ قرار دارد. نیروی افقی ۱۰ نیوتن شتاب $1/6 \frac{m}{s^2}$ و نیروی افقی ۱۲ نیوتن شتاب $2 \frac{m}{s^2}$ به جسم می‌دهد. جرم این جسم چند کیلو گرم است؟

۱) ۰/۸ ۲) ۴
۳) ۵ ۴) باید $\mu$ معلوم باشد

۲۰۵ـ بر جسم ساکنی به جرم 5 kg نیروی 20 N وارد می‌شود. سرعت جسم پس از ۳ ثانیه، چند متر بر ثانیه خواهد شد؟

۱) ۴ ۲) ۷
۳) ۹ ۴) ۱۲

۲۰۶ـ وزنه‌ای به جرم 0/5 kg تحت تاثیر نیروی افقی F، با سرعت ثابت 2m/s روی یک سطح افقی حرکت می‌کند. با قطع نیروی F، وزنه پس از یک ثانیه می‌ایستد. نیروی F چند نیوتن است؟

۱) ۱ ۲) ۱/۲
۳) ۱/۵ ۴) ۲

۲۰۷ـ وزنه‌ای به جرم m به انتهای ریسمان سبکی بسته شده است. اگر ریسمان را بالا کشیده به طوری که وزنه در راستای قائم با شتاب a به طرف بالا حرکت کند، نیروی کشش ریسمان کدام است؟

۱) $m(g-a)$ ۲) $m(g+a)$
۳) $m(g-\frac{a}{g})$ ۴) $m(g+\frac{a}{g})$

۲۰۸ـ یک سفینه فضایی در سطح زمین یک تن جرم دارد. در نقطه‌ای که از سطح زمین به اندازه شعاع زمین ارتفاع دارد، جرم آن چند تن است؟

۱) ۰ ۲) $\frac{1}{\sqrt{2}}$
۳) ۰/۲۵ ۴) ۱

۲۰۹ـ ذره‌ای به جرم ۲ گرم روی دایره‌ای به شعاع ۰/۵ متر حرکت دایره‌ای یکنواخت دارد. اگر انرژی جنبشی ذره ۰/۰۲ ژول باشد، شتابش چند متر بر مجذور ثانیه است؟

۱) ۵۰ ۲) ۴۰
۳) ۱۲/۵ ۴) ۱۰

۲۱۰ـ جسمی به جرم ۵ کیلوگرم به اندازه ۲ متر روی سطح افقی جا به جا می‌شود. اگر ضریب اصطکاک جسم و سطح افقی ۰/۲ باشد، کار نیروی اصطکاک بر حسب ژول برابر است با: $(g = 10 \frac{m}{s^2})$

۱) ۲۰۰ ۲) ۲۰
۳) ۲۰ـ ۴) ۲۰۰ـ

۲۱۱ـ توان یک تلمبه برقی ۲ کیلووات و بازده آن ۹۵% است. این تلمبه در هر دقیقه چند کیلوگرم آب را از عمق ۹/۵ متر بالا می‌آورد؟ $(g = 10 \frac{m}{s^2})$

۱) $1/2 \times 10^4$ ۲) $1/2 \times 10^3$
۳) ۲۰۰ ۴) ۲۰

۲۱۲ـ اتومبیلی به جرم ۸۰۰ کیلوگرم که با سرعت 10m/s در جاده افقی در حرکت است ترمز می‌شود و پس از طی مسافتی متوقف می‌گردد. کار برآیند نیروهای وارد بر اتومبیل در مدت ترمز شدن چند ژول است؟

۱) $-8 \times 10^3$ ۲) $-4 \times 10^4$
۳) $8 \times 10^3$ ۴) $4 \times 10^4$

۲۱۳ـ سیمی به طول ۱ متر و به جرم ۴ گرم که با نیروی کشش ۹۰ نیوتن بین دو نقطه کشیده شده است مرتعش می‌شود. سرعت انتشار امواج عرضی در طول این سیم

چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۳۶۰ ۲) ۱۵۰

۳) $۳۰\sqrt{۱۰}$ ۴) $\frac{۳}{۵}\sqrt{۱۰}$

۲۱۴ـ یک منبع موج امواجی با فرکانس ۱۰ هرتز ایجاد می‌کند که با سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه در یک محیط منتشر می‌شوند. فاصله نزدیک‌ترین نقطه‌ای که با منبع موج در فاز متقابل است چند سانتیمتر است؟

۱) ۷/۵ ۲) ۵

۳) ۲/۵ ۴) ۱/۲۵

۲۱۵ـ وقتی ذره‌ای بر روی یک خط راست نوسان می‌کند، اختلاف فاز بین سرعت ذره و شتاب آن چقدر است؟

۱) صفر ۲) $\frac{\pi}{۴}$

۳) $\frac{\pi}{۲}$ ۴) $\pi$

۲۱۶ـ در یک حرکت نوسانی ساده اگر فاز حرکت در مدت ۰/۱ ثانیه $\frac{\pi}{۴}$ تغییر کند، پریود حرکت چند ثانیه است؟

۱) ۰/۸ ۲) ۰/۴

۳) ۰/۱ $\pi$ ۴) ۲/۵ $\pi$

۲۱۷ـ در هوای درون یک لوله صوتی بسته دو گره تولید شده است. طول لوله در این حالت چند برابر طول موج است؟

۱) $۱\frac{۱}{۴}$ ۲) $۱\frac{۱}{۲}$

۳) $\frac{۱}{۲}$ ۴) $\frac{۳}{۴}$

۲۱۸ـ سرعت انتشار صوت در هوای صفر درجه سلسیوس ۳۳۱ m/s است. اگر سرعت صوت در هوای یک محیط ۳۴۰ m/s باشد دمای آن بر حسب درجهٔ سلسیوس به کدام عدد نزدیک‌تر است؟

۱) ۱۵ ۲) ۹

۳) ۶ ۴) ۳

۲۱۹ـ اگر طول یک لوله صوتی بسته دو برابر شود، فرکانس صوت اصلی آن چند برابر خواهد شد؟

۱) $\frac{۱}{۴}$ ۲) $\frac{۱}{۲}$

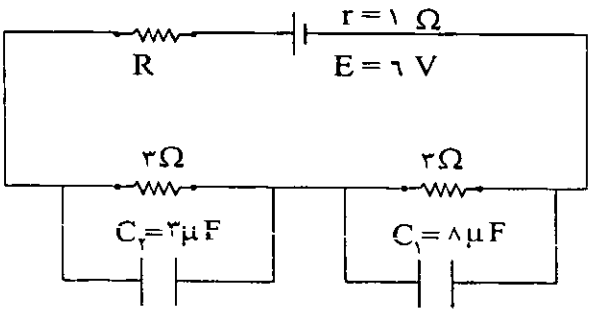
۳) ۲ ۴) ۴

۲۲۰ـ طول تار مرتعشی را سه برابر می‌کنیم. با نیروی کشش ثابت، فرکانس صوت اصلی چند برابر می‌شود؟

۱) ۹ ۲) ۳

۳) $\frac{۱}{۹}$ ۴) $\frac{۱}{۳}$

۲۲۱ـ در مدار شکل مقابل، نسبت بار خازن $C_۱$ به بار خازن $C_۲$ برابر است با:




۱) $\frac{۳}{۸}$ ۲) ۱

۳) ۲ ۴) $\frac{۸}{۳}$

۲۲۲ـ ظرفیت یک خازن مسطح ۱۰ μF و بار الکتریکی آن ۲۰ μC است. اگر فاصله صفحات خازن از یکدیگر ۱ میلی‌متر باشد، شدت میدان الکتریکی میان صفحات خازن چند ولت بر متر است؟

۱) ۲۰۰۰ ۲) ۲۰۰

۳) ۲۰ ۴) ۲

۲۲۳ـ در یک سیم‌پیچ واقع در میدان مغناطیسی تغییرات شار نسبت به زمان $\varphi = 5\cos 60t$ (برحسب وبر) است. ماکزیمم نیروی محرکه القایی در دو سر سیم چند ولت است؟

۱) صفر ۲) ۵

۳) $۵\sqrt{۲}$ ۴) ۳۰۰

۲۲۴ـ سیمی به طول ۲۰ cm با سرعت ۵ m/s عمود بر خطوط میدان مغناطیسی به شدت ۵۰۰ گوس در حرکت است. نیروی محرکه القایی دو سر سیم چند ولت است؟

۱) ۰/۰۵ ۲) ۰/۵

۳) ۵۰ ۴) ۵۰۰

۲۲۵ـ در مداری یک سلف و یک خازن و یک مقاومت به طور متوالی به هم بسته شده‌اند و از آنها جریان متناوبی میگذرد. اگر اختلاف پتانسیل دو سر این اجزاء به ترتیب ۲۰ و ۱۴ و ۸ ولت باشد، اختلاف پتانسیل دو سر مدار چند ولت است؟

۱) ۴۲ ۲) ۱۸

۳) ۱۶ ۴) ۱۰

۲۲۶ـ از سیمی به مقاومت الکتریکی ۱۰ اهم، جریان متناوبی به معادله $I=3\sin(100\pi t+\frac{\pi}{3})$ عبور می‌کند. در هر ثانیه چند ژول گرما در این سیم تولید می‌شود؟

۱) ۱۵ ۲) ۳۰

۳) ۴۵ ۴) ۹۰

۲۲۷ـ از سیم‌پیچی شدت جریان ۵ آمپر عبور می‌کند. اگر در مدت $\frac{1}{40}$ ثانیه شدت جریان به طور یکنواخت کم شود و به صفر برسد، نیروی محرکه القایی ۲ ولت تولید می‌شود. ضریب خودالقایی سیم‌پیچ چند هانری است؟

۱) ۰/۰۱ ۲) ۰/۲۵

۳) ۰/۴۰ ۴) ۱/۲۵

۲۲۸ـ یک مدار جریان متناوب شامل مقاومت R، سیم‌پیچ با ضریب خود القایی L و خازن C که به طور سری قرار دارند در حال تشدید است. اختلاف پتانسیل موثر دو سر مدار برابر اختلاف پتانسیل موثر دو ..... است.

۱) سیم‌پیچ ۲) خازن

۳) مقاومت ۴) سیم‌پیچ و خازن

۲۲۹ـ فوتون کدام یک از پرتوهای زیر پر انرژی‌تر است؟

۱) ایکس ۲) گاما

۳) گرمایی ۴) ماورا، بنفش

۲۳۰ـ اگر طول موج نور در آزمایش یانگ ۰/۶ میکرون، فاصله دو شکاف ۲ میلیمتر و فاصله پرده از شکافها ۲ متر باشد، فاصله دو نوار روشن متوالی چند میلیمتر خواهد بود؟

۱) ۰/۳ ۲) ۰/۴

۳) ۰/۶ ۴) ۱/۲

# پاسخهای تشریحی گزینش دانشجو

## مرحلهٔ اول

## ۱۳۷۳

غلامعلی محمودزاده - محمدعلی سعادت‌بخت

## رشتهٔ علوم ریاضی - فنی

۳-۱۸۱

اگر محور مکان را قائم و به طرف پایین انتخاب کنیم، خواهیم داشت:

$$y=\frac{1}{2}gt^2+V_0t$$

مسافت طی شده در ۱ ثانیه $y_1=\frac{1}{2}g(1)^2=\frac{1}{2}g$

مسافت طی شده در ۲ ثانیه $y_2=\frac{1}{2}g(2)^2=2g$

$$\frac{y_2-y_1}{y_1}=\frac{2g-\frac{g}{2}}{\frac{g}{2}}=3$$

۲-۱۸۲

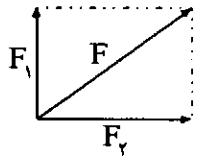
شیب نمودار سرعت- زمان برابر شتاب حرکت است. اگر سرعت متحرک را در لحظه $t=2$ ثانیه برابر $V$ بگیریم، داریم:

$$a=\frac{V_2-V_1}{t_2-t_1}$$

$$a_1=\frac{V-0}{2-0}=\frac{V}{2}\quad ,\quad a_2=\frac{0-V}{8-2}=\frac{-V}{6}$$

$$\left|\frac{a_1}{a_2}\right|=\left|\frac{\frac{V}{2}}{\frac{-V}{6}}\right|=3$$

۳-۱۸۳




$F = ma$

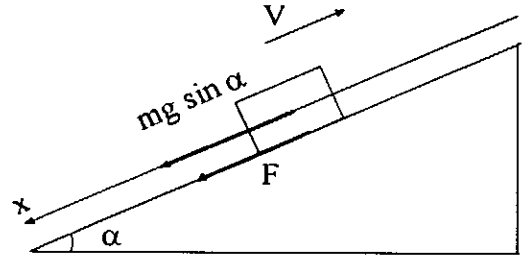
$F = ۲\times۲/۵ = ۵N$

$F^۲ = F_۱^۲ + F_۲^۲$

$$F_۲ = \sqrt{۵^۲ - ۳^۲} = ٤\ N$$

۱-۱۸٤

اگر جهت محور مکان را رو به پایین سطح شیبدار ر مثبت فرض کنیم طبق قانون دوم نیوتون داریم:




$mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha = ma$

$a = g\sin\alpha + \mu g\cos\alpha$

از آنجا که همهٔ عوامل در رابطهٔ فوق مثبت هستند لذا

$a > g\sin\alpha$

۲-۱۸۵

$$\begin{cases} ۱۰ = ma \\ ۱٤ = m(a+۲) \end{cases} \Longrightarrow \frac{۱۰}{۱٤} = \frac{a}{a+۲}$$

$$a = ۵\ \frac{m}{s^۲}$$

۲-۱۸٦

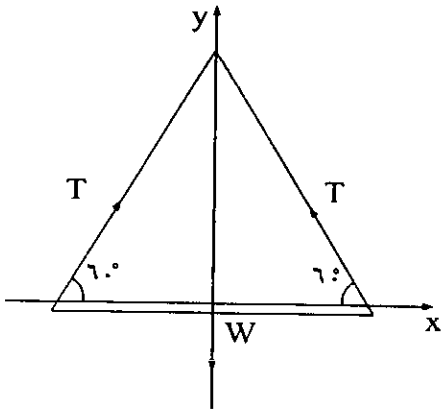
شرط تعادل نیروها:

$\Sigma \vec{F} = .$

$\Sigma \vec{F}_y = .$

$۲\ T\sin ٦۰^\circ = w$

$$T = \frac{w}{۲\sin ٦۰^\circ} = \frac{۲}{۲\times\frac{\sqrt{۳}}{۲}} = \frac{۲\sqrt{۳}}{۳} N$$




۳-۱۸۷

اگر محور X موازی سطح شیبداروجهت مثبت آن رو به بالا بگیریم، چون اصطکاک وجود ندارد پس داریم:

$a = -g\sin\alpha$

$V^۲ - V_۰^۲ = ۲ax = -۲g\sin\alpha\ .x$

$$x = \frac{V_۰^۲}{۲g\sin\alpha} = \frac{۱۲^۲}{۲\times۱۰\times/٦} = ۱۲\ m$$

۱-۱۸۸

اگر جهت مثبت محور y رو به پایین و مبدأ آن در مکان اولیه دو گلوله فرض شود طبق رابطه‌های

$V_y^۲ - V_{۰y}^۲ = +۲g\,y$ و $y = +\frac{۱}{۲}gt^۲ + V_{۰y}t$

چون در راستای قائم هر دو گلوله بدون سرعت اولیه ($V_{۰y}=۰$) و هر دو از یک ارتفاع رها شده‌اند لذا داریم

$t_A = t_B$ و $V_{Ay} = V_{By}$.

و طبق رابطهٔ $V = \sqrt{V_x^۲ + V_y^۲}$ چون در راستای افقی گلولهٔ A بدون سرعت اولیه و نتیجه $V_{xA}=۰$ و گلولهٔ B دارای سرعت اولیه $V_۰$ است و در نتیجه $V_{xB}=V_۰$ است و از آنجا نتیجه می‌شود $V_B > V_A$.

۳-۱۸۹

$$\frac{۱}{\cos\phi} = \frac{L\omega^۲}{g} \Longrightarrow L = \frac{g}{\omega^۲\cos\phi}$$

$$L = \frac{۱۰}{٤^۲\times\frac{۱}{۲}} = ۱/۲۵\ m$$

۴-۱۹۰

عقربهٔ دقیقه شمار یک دور یا $2\pi$ رادیان را در مدت یک ساعت می‌چرخد لذا داریم:

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\bar{\omega} = \frac{2\pi}{3600} = \frac{\pi}{1800} \ \frac{rad}{s}$$

۴-۱۹۱

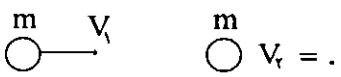
بنا به قضیهٔ کار- انرژی داریم:

$$w = \Delta E_c = \frac{1}{2} m(V_2^2 - V_1^2)$$

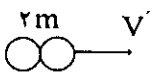
$$w = \frac{1}{2} \times 8 (6^2 - 4^2) = 80\ J$$

۲-۱۹۲

پیش از برخورد




پس از برخورد (غیر الاستیک کامل)




بنا به قانون بقاء اندازه حرکت:

$$\Sigma \vec{P}_1 = \Sigma \vec{P}_2$$

$$mV_1 + 0 = 2m\,V' \longrightarrow V' = \frac{V_1}{2}$$

$$\frac{\Sigma E_{c_2}}{\Sigma E_{c_1}} = \frac{\frac{1}{2} m V'^2}{\frac{1}{2} m V_1^2} = \frac{(2m)(\frac{V_1}{2})^2}{m V_1^2} = \frac{1}{2}$$

۴-۱۹۳

انرژی جنبشی حلقه برابر مجموع انرژیهای جنبشی خطی و دورانی حلقه است. (لختی دوران حلقه که در سؤال قید نشده است از رابطهٔ $I=mR^2$ محاسبه می‌شود.)

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 + \frac{1}{2} I\omega^2$$

$$= \frac{1}{2} m V^2 + \frac{1}{2} (mR^2) (\frac{V}{R})^2 = mV^2$$

$$E_c = 1\,(6)^2 = 36\,J$$

۳-۱۹۴

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{Fl}{m}}$$

$$V = \sqrt{\frac{50 \times 1}{5 \times 10^{-3}}} = 100 \ \frac{m}{s}$$

۱-۱۹۵

بنا به رابطهٔ $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ چون جرم ثابت است اگر سختی فنر افزوده شود پریود آن کمتر می‌شود و بنا به رابطهٔ $f=\frac{1}{T}$ تواتر آن بیشتر می‌شود.

۲-۱۹۶

$$a = 2a_1 \cos\frac{\varphi}{2}$$

$$a = 2r \cos\frac{\frac{2\pi}{3}}{2} = 2r \cos\frac{\pi}{3} = 2r \times \frac{1}{2} = r$$

$$\longrightarrow \frac{a}{r} = 1$$

۳-۱۹۷

$$T = \frac{t}{N}$$

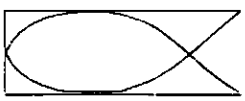
که در آن t، مدت N نوسان کامل است.

$$T = \frac{60}{60} = 1s$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \Longrightarrow K = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

$$K \simeq \frac{4 \times 10 \times 0.5}{1^2} = 20\ \frac{N}{m}$$

۴-۱۹۸



$$L = (2k - 1)\frac{\lambda_k}{4}$$

$$\lambda_k = \frac{4}{2k-1} L = \frac{4}{2\times 2 - 1} L = \frac{4}{3} L$$

۴-۱۹۹

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = \sqrt{\frac{\theta_2 + 273}{\theta_1 + 273}}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{37 + 273}{17 + 273}} = \sqrt{\frac{31}{29}}$$

۱-۲۰۰

$$\frac{V_۲}{V_۱}=\sqrt{\frac{\theta_۲+۲۷۳}{\theta_۱+۲۷۳}}=\sqrt{\frac{-۷۳+۲۷۳}{۱۵+۲۷۳}}$$

$$\frac{V_۲}{V_۱}=\sqrt{\frac{۱۰۰}{۱۴۴}}=\frac{۱۰}{۱۲}$$

چون سرعت با دما رابطهٔ مستقیم دارد لذا با کاهش دما سرعت کاهش می‌یابد.

$$\frac{V_۲-V_۱}{V_۱}=\frac{۱۰-۱۲}{۱۲}$$

$$\frac{-۱۲۵}{V_۱}=\frac{-۲}{۱۲}\Longrightarrow V_۱=۷۵۰\,\frac{m}{s}$$

۲-۲۰۱

شدت صوت با مجذور دامنهٔ ارتعاشی منبع نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ شنونده از منبع نسبت وارون دارد یعنی

$$\frac{I_۲}{I_۱}=(\frac{a_۲}{a_۱})^۲(\frac{d_۱}{d_۲})^۲$$

$$\frac{I_۲}{I_۱}=(۲)^۲(\frac{۱}{۲})^۲=۱$$

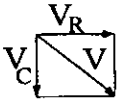
۱-۲۰۲

به تعریف شدت جریان مؤثر توجه کنید.

۴-۲۰۳

با قرار دادن میلهٔ آهنی درون سیم‌پیچ، ضریب خود القائی آن (L) و در نتیجه مقاومت القائی آن ($X_L=\omega L$) افزایش می‌یابد. از این رو مقاومت ظاهری مدار ($z=\sqrt{R^۲+X_L^۲}$ ، R ثابت است) افزایش می‌یابد. و طبق رابطهٔ $\cos\Phi=\frac{R}{Z}$ ضریب توان و طبق رابطهٔ $V_e=I_eZ$ ($V_e$ ثابت است) شدت جریان مؤثر هر دو کاهش می‌یابند.

۱-۲۰۴




به نامساوی $V<V_R+V_c$ در مثلث توجه کنید.

۲-۲۰۵

فرکانس امواج هنگام تغییر محیط ثابت می‌ماند.

۴-۲۰۶

$$E=hf=h\frac{c}{\lambda}$$

$$E=۶/۶\times۱۰^{-۳۴}\times\frac{۳\times۱۰^{۸}}{۰/۳۳\times۱۰^{-۶}}=۶\times۱۰^{-۱۹}\,J$$

۳-۲۰۷

$$\frac{\lambda}{۲}=\frac{x'd}{(۲k'-۱)D}\Longrightarrow x'=\frac{(۲k'-۱)D\lambda}{۲d}$$

$$x'=\frac{(۲\times۲-۱)۲۰۰۰d\lambda}{۲d}=۳۰۰۰\lambda\rightarrow\frac{x'}{\lambda}=۳۰۰۰$$

۱-۲۰۸

انرژی مغناطیسی سیم‌پیچ از رابطهٔ $E_L=\frac{۱}{۲}LI^۲$ و انرژی الکتریکی خازن از رابطهٔ $E_c=\frac{۱}{۲}CV^۲$ به دست می‌آیند. هر گاه کل انرژی خازن در سیم‌پیچ تخلیه شود شدت جریان در سیم‌پیچ ماکزیمم می‌شود.

$$E_L=E_C\ ,\ \frac{۱}{۲}LI_m^۲=\frac{۱}{۲}CV^۲\Longrightarrow I_m=V\sqrt{\frac{C}{L}}$$

۲-۲۰۹

پرتوهای X جزء پرتوهای الکترو مغناطیسی است (پرتوهای کاتدی متشکل از الکترونها هستند). فرکانس پرتوهای الکترو مغناطیسی از نور مرئی، به طرف فرا بنفش، و X به ترتیب افزایش می‌یابد و برعکس طول موج آنها کاهش می‌یابد.

۱-۲۱۰

نور و گرما به دلیل ایجاد زوج الکترون- حفره، رسانایی مادهٔ نیمرسانا را افزایش می‌دهند.

## رشته علوم تجربی

۳-۲۰۱

$$a = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a = ۲\ \frac{m}{s^2}$$

۱-۲۰۲

$V = ۲۰t - ۲۰$

$t_1 = ۰ \longrightarrow V_1 = -۲۰\ \frac{m}{s}$

$t_2 = ۲s \longrightarrow V_2 = ۲۰\ \frac{m}{s}$

چون معادلهٔ سرعت- زمان از درجهٔ اول است پس شتاب ثابت است و داریم:

$$x = \frac{V_1 + V_2}{۲} t + x_0 \Longrightarrow$$

$$x = \frac{-۲۰ + ۲۰}{۲} \times ۲ + ۰ = ۰$$

۱-۲۰۳

$V^2 - V_0^2 = ۲gy$

$$V_2 = \sqrt{۲g\,y} \longrightarrow \frac{V_2}{V} = \sqrt{\frac{y_2}{y_1}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{y_2}{y_1}}\ V_1 = \sqrt{\frac{۲h}{h}}\ V = \sqrt{۲}\ V \longrightarrow \frac{V_2}{V} = \sqrt{۲}$$

۳-۲۰۴

$F - f = ma$

$$\begin{cases} ۱۰ - f = ۱/۶m \\ ۱۲ - f = ۲\,m \end{cases} \Rightarrow ۲ = ۰/۴\,m \Longrightarrow m = ۵\,kg$$

۴-۲۰۵

$$f = ma = \frac{m\,(V - V_0)}{t}$$

$$۲۰ = \frac{۵\,(V - ۰)}{۳} \Longrightarrow V = ۱۲\ \frac{m}{s}$$

۱-۲۰۶

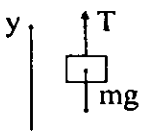
با وجود F، برآیند نیروها برابر صفر و با قطع F، برآیند نیروها برابر نیروی اصطکاک است.

نیروی اصطکاک

$$f = \frac{m\,(V - V_0)}{t} = \frac{۰/۵\,(۰ - ۲)}{۱} = -۱\ N$$

$$\vec{F} + \vec{f} = ۰ \longrightarrow \vec{F} = -\vec{f} \longrightarrow F = ۱N$$

۲-۲۰۷




$\Sigma \vec{F} = ۰$

$T - mg = ma$

$T = m(g + a)$

۴-۲۰۸

جرم جسم به مکان آن بستگی ندارد

۲-۲۰۹

$$\begin{cases} E_c = \frac{۱}{۲} mV^2 \\ a = \frac{V^2}{r} \end{cases} \Longrightarrow a = \frac{۲E_c}{mr}$$

شتاب جانب مرکز

$$a = \frac{۲ \times ۰/۰۲}{۲ \times ۱۰^{-۳} \times ۰/۵} = ۴۰\ \frac{m}{s^2}$$

۳-۲۱۰

$$W = \vec{f} \cdot \vec{d} = -fd = -\mu mgd$$

$W = -۰/۲ \times ۵ \times ۱۰ \times ۲ = -۲۰J$

۲-۲۱۱

بازده $R_a = \frac{W_2}{W_1} = \frac{mgh}{P_1 t}$

$$۰/۱۵ = \frac{m \times ۱۰ \times ۱/۵}{۲۰۰۰ \times ۶۰} \Longrightarrow m = ۱/۲ \times ۱۰^3\ kg$$

۲-۲۱۲

قضیهٔ کار- انرژی:

$$W = \Delta E_c = \frac{۱}{۲} m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$w = \frac{۱}{۲} \times ۸۰۰\,(۰ - ۱۰^2) = -۴ \times ۱۰^4\ J$$

۲-۲۱۳

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{Fl}{m}}$$

$$V = \sqrt{\frac{۱۰\times۱}{۴\times۱۰^{-۳}}} = ۱۵۰\ \frac{m}{s}$$

۳-۲۱۴

$$\begin{cases} \varphi = \frac{۲\pi x}{\lambda} = \frac{۲\pi f x}{V} \\ \varphi = (۲k-۱)\pi \end{cases}$$

$$x = \frac{(۲k-۱)\pi V}{۲\pi f}$$

اگر $K=۱$، $x$ کوتاه‌ترین فاصلهٔ نقطه تا منبع است:

$$x = \frac{V}{۲f} = \frac{۰/۵}{۲\times۱۰} = \frac{۱}{۴۰}\ m = ۲/۵\ cm$$

۳-۲۱۵

$$x = r\sin\omega t$$
$$v = r\ \omega\cos\omega t$$

$$a = \frac{dV}{dt} = -r\omega^{۲}\sin\omega t = r\omega^{۲}\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{۲}\right)$$

۱-۲۱۶

$$\varphi = \omega t + \theta_{۰} \longrightarrow \Delta\varphi = \omega\Delta t = \frac{۲\pi}{T}\Delta t$$

$$T = \frac{۲\pi}{\Delta\varphi}\Delta t = \frac{۲\pi}{\frac{\pi}{۴}} \times ۰/۱ = ۰/۸\ s$$

۴-۲۱۷

$$L = (۲k-۱)\frac{\lambda_k}{۴}$$

$$L = (۲\times۲-۱)\frac{\lambda_۲}{۴} = \frac{۳}{۴}\lambda_۲ \longrightarrow \frac{L}{\lambda} = \frac{۳}{۴}$$

۱-۲۱۸

$$V \simeq V_{۰} + ۰/۶۱\ \theta$$

$$\theta \simeq \frac{V - V_{۰}}{۰/۶} = \frac{۳۴۰ - ۳۳۱}{۰/۶} = ۱۵^{\circ}C$$

۲-۲۱۹

$$f = \frac{V}{۴L} \Longrightarrow \frac{f_۲}{f_۱} = \frac{L_۱}{L_۲} = \frac{۱}{۲}$$

۴-۲۲۰

مطابق رابطهٔ $V=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ چون نیروی کشش تار و جرم واحد طول آن ثابت هستند لذا سرعت انتشار موج در تار ثابت می‌ماند.

$$f = \frac{V}{۲L} \Longrightarrow \frac{f_۲}{f_۱} = \frac{L_۱}{L_۲} = \frac{۱}{۳}$$

۴-۲۲۱

چون دو مقاومت برابرند و شدت جریان گذرنده از آنها یکسان است لذا اختلاف پتانسیل دو سر مقاومتها برابرند و از آنجا که هر خازن به دو سر یکی از آنها متصل است پس

$$V_۱ = V_۲$$

$$\frac{q_۱}{C_۱} = \frac{q_۲}{C_۲} \Longrightarrow \frac{q_۱}{q_۲} = \frac{C_۱}{C_۲} = \frac{۸}{۳}$$

۱-۲۲۲

$$E = \frac{V}{d} = \frac{\frac{q}{C}}{d} = \frac{q}{Cd}$$

$$E = \frac{۲۰}{۱۰\times۱\times۱۰^{-۳}} = ۲۰۰۰\ \frac{V}{m}$$

۴-۲۲۳

$$E = -\frac{d\varphi}{dt} = ۳۰۰\sin ۶۰t$$
$$E_m = ۳۰۰v$$

۱-۲۲۴

$$E = v'LB\sin\alpha$$
$$E = ۵\times۵۰۰\times۱۰^{-۴}\times۰/۲\times۱ = ۰/۰۵\ V$$

۴-۲۲۵

$$V = \sqrt{V_R^{۲} + (V_L - V_c)^{۲}}$$

$$V = \sqrt{۸^{۲} + (۲۰-۱۴)^{۲}} = ۱۰\ V$$

۳-۲۲۶

$$Q = RI_e^{۲}t = \frac{۱}{۲}RI_m^{۲}t$$

$$Q = \frac{۱}{۲}\times۱۰\times۳^{۲}\times۱ = ۴۵J$$

۱-۲۲۷

$$E = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$۲ = -L\frac{۰-۵}{\frac{۱}{۴۰}} \Longrightarrow L = ۰/۱\ H$$

۳-۲۲۸

در حالت تشدید داریم $V_L = V_c$ در نتیجه:

$$V_e = \sqrt{V_R^{۲} + (V_L - V_c)^{۲}} = V_R$$

۲-۲۲۹

برحسب افزایش فرکانس و در نتیجه انرژی (طبق رابطهٔ $E=hf$) امواج به ترتیب عبارتند از: گرمایی، مرئی، ماورا، بنفش، ایکس، گاما.

۳-۲۳۰

$$\lambda = \frac{xd}{kD} \Longrightarrow x = \frac{k\lambda D}{d}$$

$$x = \frac{۱\times۲\times۰/۶\times۱۰^{-۶}}{۲\times۱۰^{-۳}} = ۰/۶\times۱۰^{-۳}m = ۰/۶\ mm$$

# مجله و خوانندگان

از خوانندگان محترم، دربارهٔ نامهٔ ارسالی به مجلهٔ رشد آموزش فیزیک یا گروه فیزیک، تقاضا می‌شود:
**الف** - نامه تا حد امکان خلاصه، واضح، و خوانا باشد.
**ب** - نامه با الگوی زیر نوشته شود.

**برگهٔ نامه**

نشانی گیرنده — نشانی فرستنده
نام و عنوان گیرنده — نام و عنوان فرستنده
تاریخ ارسال نامه

متن نامه

امضاء فرستنده

**نشانی مجله:** تهران، صندوق پستی ۳۶۳-۱۵۸۵۵ - گروه فیزیک
منظور از عنوان گیرنده، سردبیر یا مدیر داخلی، مسؤول گروه، کارشناس متوسطه، ... و منظور از عنوان فرستنده، دبیر، سرگروه، دانشجو، دانش‌آموز ... است.

**نشانی اشتراک مجله** تهران، جادهٔ آب‌علی، خیابان سازمان آب، بیست متری خورشید، مرکز توزیع انتشارات کمک آموزشی، کدپستی ۱۶۵۹۸.

تذکر- لطفاً هر گونه نارسایی در مورد دریافت مجله و یا تهیهٔ شماره‌های پیشین مجله را با نشانی اشتراک در میان بگذارید.

**۱- اصفهان- آقای علی کاظمی:** در سؤال مورد بحث شما، چون شتاب گلوله صفر است پس برآیند نیروهای وارد بر آن صفر خواهد بود حتی هنگامی که وزن آن را در هر دو راستای دلخواه تجزیه کنیم.

**۲- کرج- آقای غلامرضا سام خانیان:** در مایع در حال سکون در تمام نقاطی که در یک سطح افقی قرار دارند فشار به یک اندازه است. در مورد کتاب مورد تقاضای شما کافی است به مبحث هیدروستاتیک در کتابهای مکانیک پیشدانشگاهی مراجعه کنید. برای دریافت رشد فیزیک با مرکز توزیع آن به نشانی زیر مکاتبه کنید:
تهران- جاده آبعلی- خیابان سازمان آب، بیست متری خورشید. مرکز توزیع دفتر انتشارات کمک آموزشی

**۳- زابل- آقای عباسعلی‌میر:** نوشته‌اید (... می‌توانم دستگاهی بسازم که بدون مصرف انرژی و سوخت، آب از یک رودخانه به زمینهای اطرافش منتقل نماید...) همانطور که یادآوری کرده‌اید می‌توانید نمونه آزمایشی آن را در معرض بررسی مؤسسه‌های تحقیقاتی کشور قرار دهید.

**٤- تهران- آقای سیدبهمن روستایی:** «چند انتقاد» شما در مورد مطالب مجله مورد توجه ماست. امکانات مجله بیش از این نیست. مانند جنابعالی از آموزش نادرست فیزیک در بعضی از دبیرستانها متأسفیم.

**۵- کازرون- آقای شاهرخ محمدی:** لطفاً «قانونی» را که در مورد آینه معقر پیدا کرده و به معلم خود ارائه نموده‌اید با تأیید ایشان برای ما ارسال دارید.

**٦- بوشهر- آقای حمید نامداری:** بررسی مطالب مورد بحث شما به تحصیلات دانشگاهی نیاز دارد. یک دانشجوی رشته علوم پزشکی می‌تواند با عنایت به علوم فیزیک به مطالعات خود استحکام بیشتری ببخشد.

**۷- اصفهان- آقای علی ملت‌اردکانی:** طرح پیشنهادی شما برای اثبات اینکه (نور دارای جرم است)، غیر عملی به نظر می‌رسد. اظهار نظر در این گونه موارد بدون تحصیلات اولیه دانشگاهی موجب تلف کردن وقت است.

**۸- نی‌ریز فارس- آقای عباس ربیعی:** از توجه شما به مجله رشد تشکر می‌کنیم. چاپ سؤالات فیزیک امتحانات نهایی نیز مورد تقاضای برخی دیگر از خوانندگان مجله است. تست مورد نظر شما درست است.

**۹- اراک- خانم نیره دهقان:** علاقمندی شما به درس فیزیک قابل تقدیر است. سؤالات و مشکلات درسی را با معلم خود مورد بحث و مذاکره قرار دهید.

**۱۰- کرمانشاه- آقای محسن رضا باواخانی:** مجله رشد

از ارسال پاسخ کتبی جداگانه برای متقاضیان معذور است. سؤالات عمومی در فرصت مناسب در مجله توضیح و پاسخ داده می‌شود.

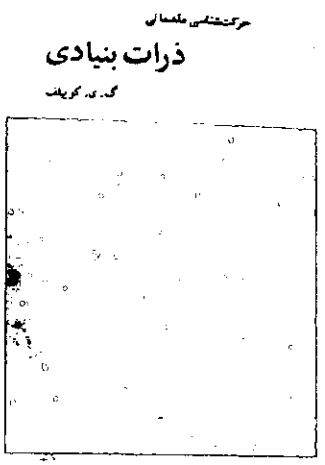
**۱۱- اقلید فارس- آقای اکبر قائدی:** نظر شما در باره توضیح بیشتر مطالب علمی مورد توجه مجله است. برای آشنایی با کتابهای فیزیک که مورد استفاده شما باشد از دبیرتان کمک بگیرید. اساس مسأله ارسالی شما در مجله رشد شماره ۲۹-۲۸ توضیح داده شده است. و نیازی به بحث و مثال‌های عددی گوناگون ندارد.

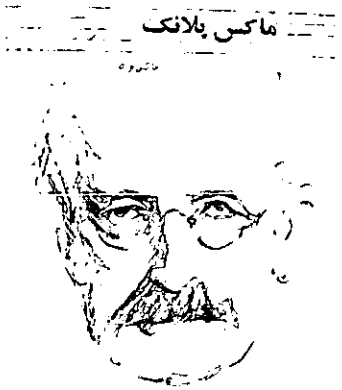
**۱۲- نیشابور، آقای رضا شاه‌اکبری:** حل مسأله مورد اشارهٔ شما ایرادی ندارد و مشابه آن در مسابقات بین‌المللی داده شده است.

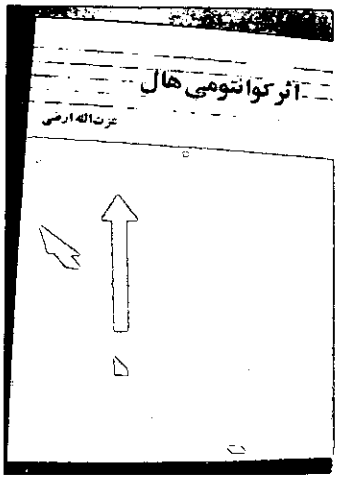
**۱۳- جناب آقای اصغر درویشی کولایی:** از متن نامه شما به مجلهٔ رشد فیزیک چنان برمی‌آید که به این رشته علاقمند هستید. ولی باید توجه کنید که علم فیزیک امروزه به اندازه‌ای گسترش یافته است که تسلط بر کلیهٔ مطالب مربوط به آن حتی از توان بزرگترین نوابغ خارج است و یافتن نگرش صحیح حتی در یک شاخهٔ آن به مطالعه و کوشش فراوان نیازمند است. شما نیز اگر می‌خواهید در این زمینه صاحب نظر شوید بهتر است ابتدا از کتابهای مقدماتی و پایه در این رشته شروع کنید تا بر مفاهیم اساسی مسلط شوید. مطالعهٔ تاریخ علم فیزیک نیز می‌تواند در این زمینه به شما کمک کند زیرا متوجه می‌شوید که کدام نظریه موفق بوده است و علت موفقیت آن چه بوده است و مسائل حل نشدهٔ فیزیک کدام‌اند؟

**۱۴- جناب آقای محمدباقر سیفی‌پور** با سلام و امید به موفقیت جنابعالی در ادامه تحصیل به استحضار می‌رساند که آزمون کارشناسی ارشد فیزیک همه ساله در آخر زمستان در یکی از دانشگاههایی که دورهٔ کارشناسی ارشد فیزیک را دارند برگزار می‌شود. در این امتحان از دروس فیزیک پایه I، مکانیک تحلیل I و II در حد کتابهای هالیدی و سایمون. فیزیک پایه II، الکترومغناطیس I و II در حد هالیدی و میلفورد فیزیک جدید از کتاب وایدنر و سلز و مکانیک کوانتومی I و II در حد کتاب گازیرویچ از هر درس دو مسئله داده می‌شود و امتحان به صورت تشریحی است. سؤالات سالهای قبل را انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران تکثیر کرده و می‌توانید آن را خریداری نمایید.

# معرفی کتاب





به منظور آشنایی علاقمندان، کتابهایی معرفی می‌شوند که دربارهٔ فیزیکدانان بزرگ همراه با تصویر روشنی از اوضاع علمی زمانهٔ آنها، و فیزیک جدید به زبان نسبتاً ساده و فیزیک عمومی باشند.
در این راستا «انتشارات انجمن فیزیک ایران» و «انتشارات فرهنگان» کتابهای زیر را به دفتر مجلهٔ رشد آموزش فیزیک ارسال کرده‌اند.

**الف - انتشارات انجمن فیزیک ایران:**

۱- **«ماکس پلانک»** نوشتهٔ ماکس بورن ترجمهٔ احمد شایگان؛ و نیز «چاندرا سیکارا **رامان**» نوشتهٔ جایارمان و رامداس ترجمهٔ جهانشاه میرزابیگی، دربارهٔ زندگینامه و نمونه‌هایی از نوشته‌ها و فعالیتهای علمی دو فیزیکدان آلمانی و هندی است.

۲- **«اثر کوانتمی هال»** نوشتهٔ عزت‌ا... ارضی، به بیان چگونگی کشف، کاربرد و منشأ فیزیکی اثر کوانتوامی هال می‌پردازد. در تمام طول کتاب سعی شده است مطالب به زبان ساده بیان شود. در انتهای کتاب، زندگینامهٔ کوتاهی از کلاوئس فون کلیتسینگ کاشف این اثر و برندهٔ جایزهٔ نوبل ۱۹۸۵ آمده است.

۳- **«نیمرساناها»** نوشتهٔ پولیاکوف ترجمهٔ حسن عزیزی، شامل مباحثی چون نظریهٔ نواری جامدها، رسانندگی الکتریکی جامدها، فرآیندهای غیر تعادلی در نیمرساناها، پدیده‌های تماسی و وسائل نیمرسانا می‌باشد.

٤- **«حرکت شناسی مقدماتی ذرات بنیادی»** نوشتهٔ گرتسن کوبیلف ترجمهٔ جلال‌الدین پاشایی‌راد، ابتدا فرمولها مفاهیمی از نظریهٔ نسبیت را توضیح می‌دهد سپس خواننده را با مسائلی آشنا می‌کند که با استفاده از روشهای متداول فیزیک ذرات قابل حل هستند. این کتاب برای افرادی نوشته شده است که تحصیلات دبیرستانی را به پایان رسانده‌اند.

۵- **«ذره، موج، کوانتوم»** نوشتهٔ اسمور ودینسکی ترجمهٔ

بهرام معلمی، دوگانگی موج- ذره و اصل عدم قطعیت را با بیانی ساده شرح داده است. این کتاب گشت و گذاری به شهر پدیده‌های کوانتومی است و چشم‌انداز زیبای آن را به خواننده نشان می‌دهد.

۶- «**از کوارک تا کوازار**» نوشتهٔ ادوارد تامس ترجمه جهانشاه میرزابیگی، تصویری از فیزیک نوین و مفاهیم اساسی وابسته به آن ارائه می‌کند. ابتدا از اتمها، الکترونها، و هسته‌ها صحبت می‌شود سپس به سراغ ذرات بنیادی و آنگاه به کوارک می‌رسد. سرانجام پس از معرفی پلاسما، در مقیاس بزرگ به ستاره، کهکشان و کوازار می‌پردازد.

۷- «**آزمونهای فیزیک**» گردآوری و نوشتهٔ سوزان لی ترجمهٔ ناصر مقبلی، مجموعه‌ای از آزمونهای حوزه‌های امتحانی مختلف انگلستان، از طریق تحلیل دقیق سؤالها پاسخ داده شده است. این کتاب هم برای دانش آموزان و هم دبیران علاقمند و طراح سؤالات دقیق فیزیک مفید است.

۸- «**سیارهٔ ما زمین**» نوشتهٔ بیالکو.

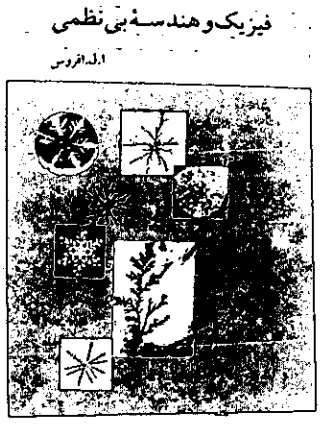
۹- «**دما**» نوشتهٔ اسمورودینسکی، ترجمهٔ لطیف کاشیگر.

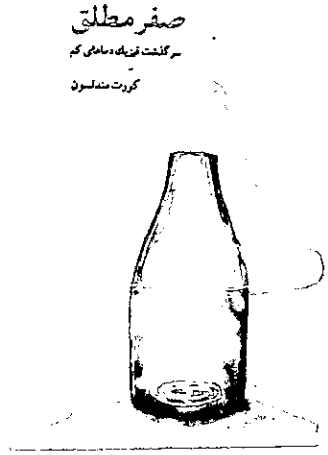
۱۰- «**فیزیک و هندسهٔ بی‌نظمی**» نوشتهٔ افروس، ترجمهٔ محمد قاسم وحیدی اصل.

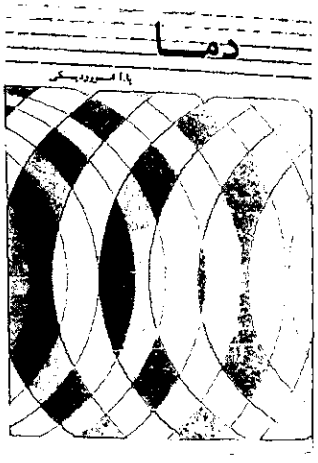
۱۱- «**صفر مطلق**» نوشتهٔ کورت مندلسون، ترجمهٔ مرتضی قریب.

**ب - انتشارات نرهنگان**

«**فیزیک در تاریخ**» نوشتهٔ جان برنال ترجمهٔ علی معصومی، تاریخ علم فیزیک از آغاز تا پایان سدهٔ نوزدهم است. ابتدا با فیزیک چیست شروع می‌شود سپس علم باستان و سرچشمه‌های آن، فیزیک در یونان و در قرون وُسطی، فیزیک خورشید مرکزی، تولد دینامیک، ماهیت نور و رنگ، ظهور ماشین بخار و نظریهٔ گرما، الکتریسیته و مغناطیس شرح داده می‌شوند.



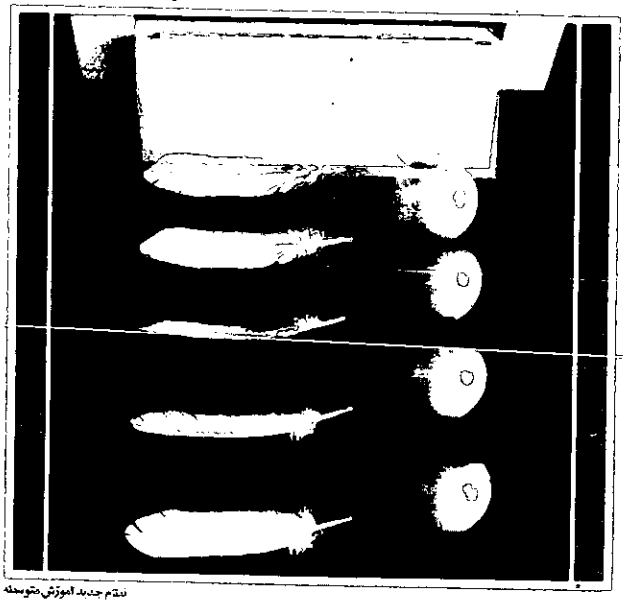


# فیزیک

۱

نظری ،فنی و حرفه‌ای - کاردانش

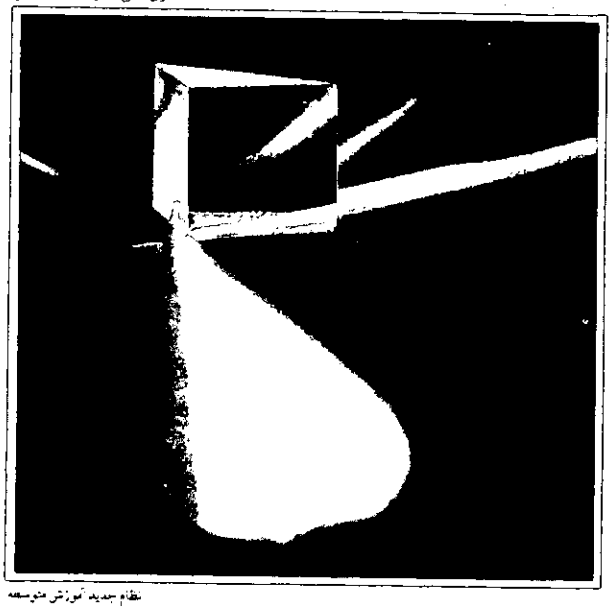


نظام جدید آموزش متوسطه

# آزمایشهای فیزیک

۱

نظری ه فنی و حرفه ای ه کاردانش

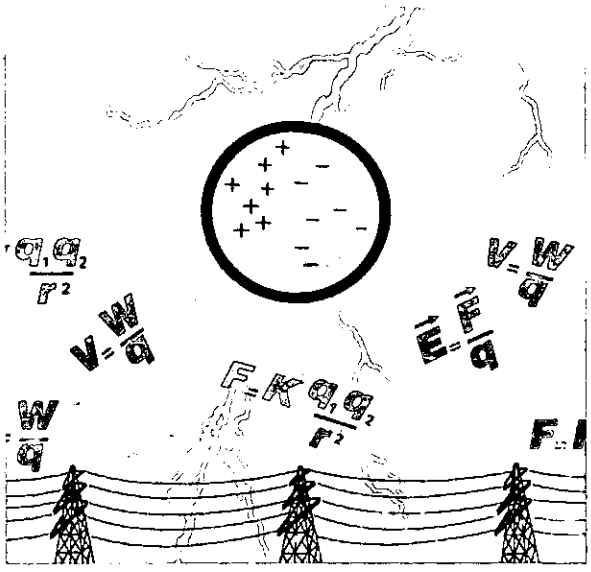


نظام جدید آموزش متوسطه

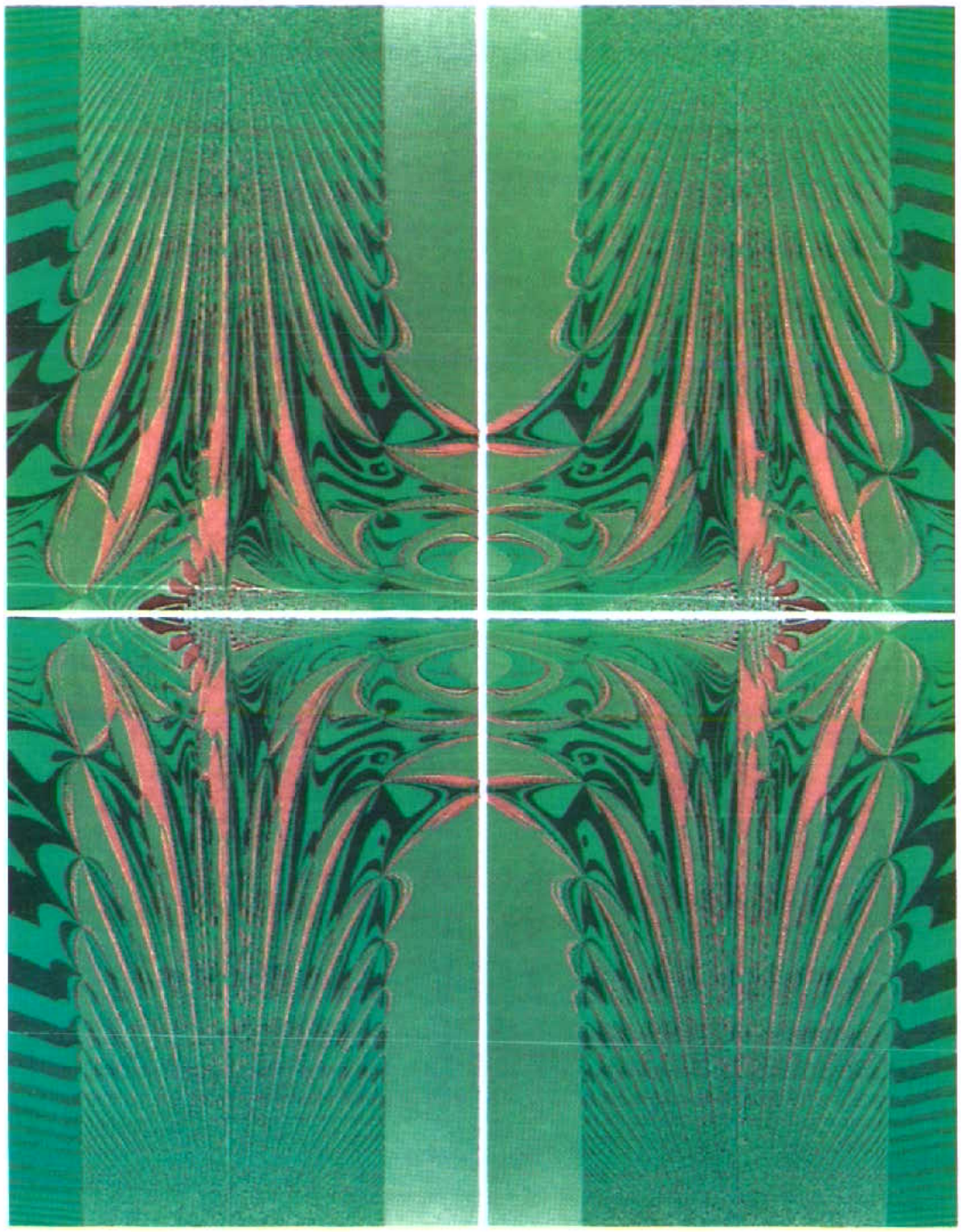
# فیزیک

۲

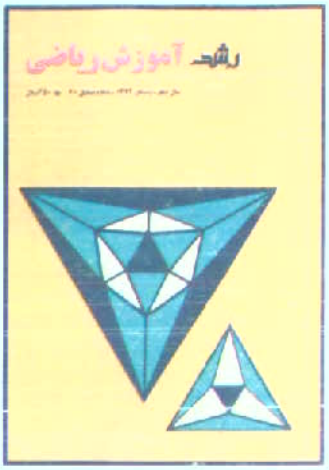
نظری (رشته‌های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک)




نظام جدید آموزش متوسطه

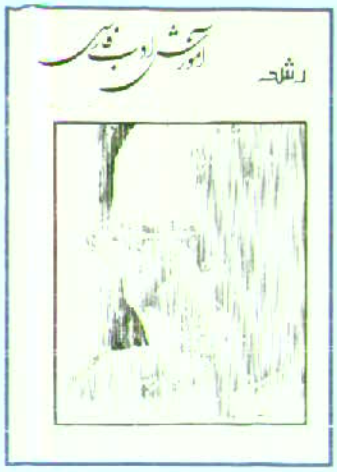


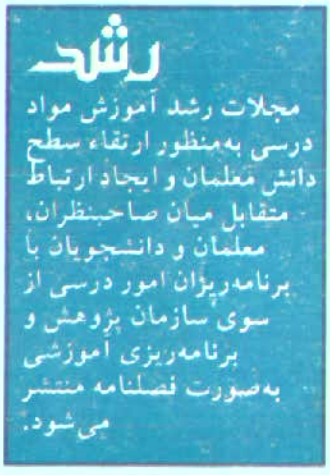
این طرح از آرمایشی به‌دست آمده است که دربرگیرنده روش نیوتون برای معادله‌های چندجمله‌ای حقیقی است (برگرفته از کتاب «زیبایی فراکتالها»).

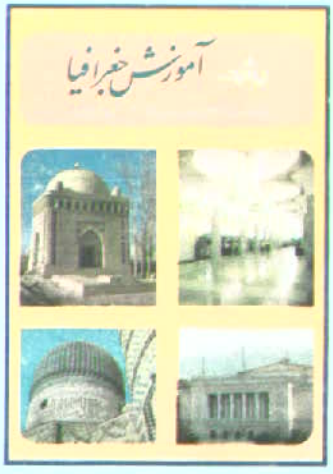

رشد آموزش ریاضی

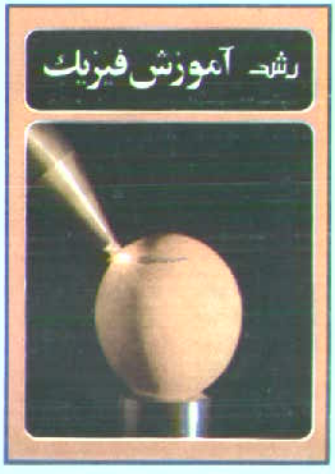
رشد آموزش شیمی

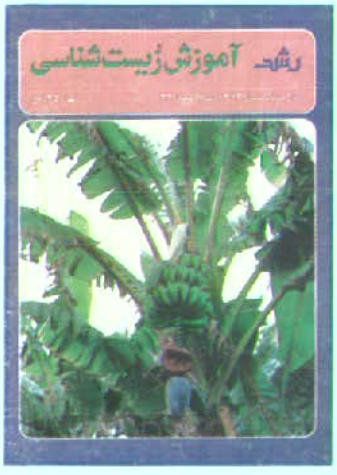
رشد
آموزش زبان
Journal
The


رشد آموزش ادب فارسی


رشد
مجلات رشد آموزش مواد درسی به‌منظور ارتقاء سطح دانش معلمان و ایجاد ارتباط متقابل میان صاحبنظران، معلمان و دانشجویان با برنامه‌ریزان امور درسی از سوی سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی به‌صورت فصلنامه منتشر می‌شود.


رشد آموزش جغرافیا

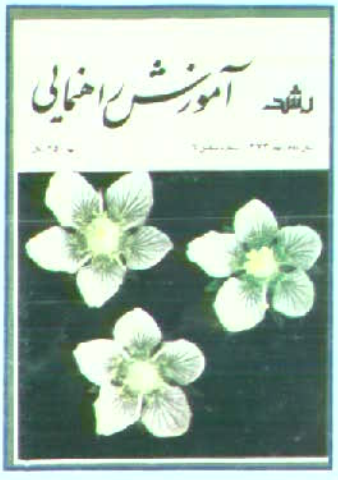

رشد آموزش فیزیک


رشد آموزش زیست‌شناسی

رشد آموزش زمین‌شناسی

رشد آموزش معارف اسلامی

رشد آموزش علوم اجتماعی


رشد آموزش راهنمایی