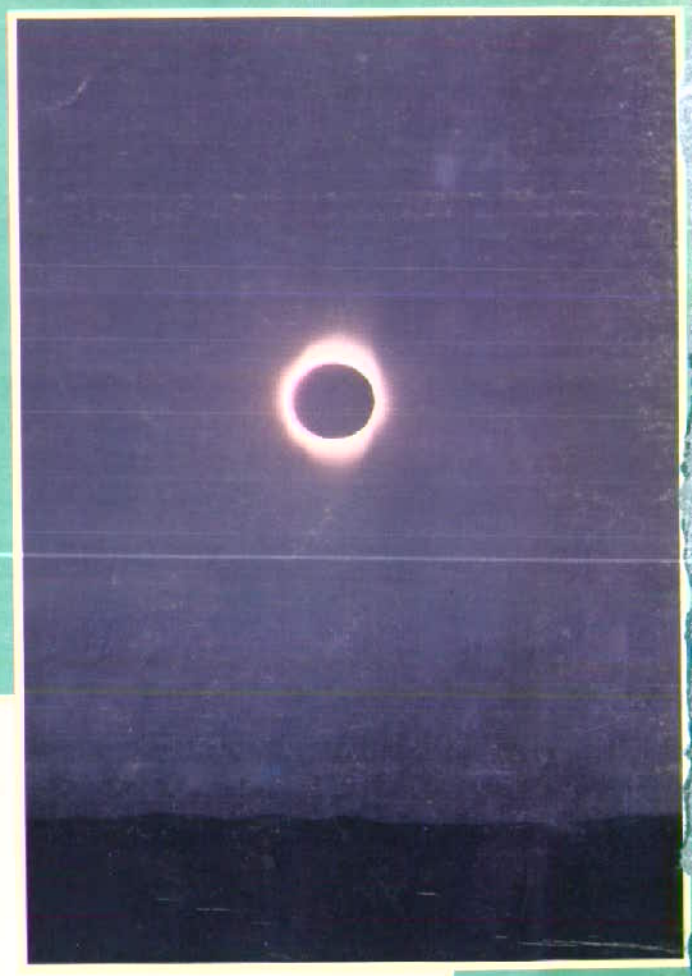
# رشد

# آموزش فیزیک



کسوف
(دوم آبان ۱۳۷۴)

سال دهم ــ پاییز و زمستان ۱۳۷۴ ــ شماره ۳۸و۳۹ ــ بها ۲۰۰ تومان

# رشد ۳۸ و ۳۹ فیزیک

سال دهم ـ پاییز و زمستان ۱۳۷۴

نشریه گروه فیزیک دفتر برنامه ریزی و تألیف کتب درسی سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش

نشانی: تهران ـ صندوق پستی ۳۶۳ ـ ۱۵۸۵۵ تلفن ۴ ـ ۸۳۹۲۶۱، داخلی ۸، ۳ و ۳۱۳


مجلهٔ رشد آموزش فیزیک، سه شماره در سال به منظور اعتلای دانش دبیران و دانشجویان دانشگاهها و مراکز تربیت معلم و سایر دانش پژوهان در این رشته منتشر می‌شود. جهت ارتقای کیفی آن، نظرات ارزندهٔ خود را به صندوق پستی ۳۶۳ ـ ۱۵۸۵۵ ارسال فرمایید.


هیات تحریریه:

دکتر منیره رهبر — دکتر حسن هروی — غلامعلی محمودزاده — سیدجعفر مهرداد

مدیر مسئول: محمد مسعود ابوطالبی

سردبیر: دکتر منیره رهبر

مدیر داخلی: محمدعلی سعادت بخت

تولید: دفتر چاپ و توزیع کتابهای درسی

صفحه آرا: محمد برسای

طراح جلد: فرید فرجنده‌گلی ـ عکسها از محمد رضا ظهیرالسلطنه نوا

ناظر چاپ: محمد کشمیری



نشانی مرکز توزیع مجلات: تهران ـ جادهٔ آبعلی ـ خیابان سازمان آب‌وبرق شرق خورشید ـ تلفن ۷۷۳۱۹۲ ـ ۷۷۵۱۱۰


## فهرست


| | | |
|---|---|---|
| بیشگفتار | | ۳ |
| درک و آموزش فرآیندهای مهم در تفکر علمی فردریک رایف | ترجمهٔ دکتر منیره رهبر | ۴ |
| در حاشیهٔ آموزش فیزیک | سید جعفر مهرداد | ۱۲ |
| رهیافتی به ترمودینامیک | سخنرانی دکتر مجتبی جعفرپور | ۱۵ |
| اهمیت اندازه‌گیری در فیزیک | سخنرانی دکتر منیره رهبر | ۲۹ |
| درسنامهٔ فضا و زمان در نسبیت خاص | دکتر منیره رهبر | ۴۰ |
| برندگان جایزهٔ نوبل فیزیک سال ۱۹۹۵ | | ۴۵ |
| پیشگفتار مجلهٔ درونی‌سازی فیزیک نشریهٔ یونسکو | ترجمهٔ محمدعلی سعادت‌بخت | ۴۷ |
| یادداشتهای خود زندگینامه البرت انیشتاین | ترجمهٔ محمدعلی سعادت‌بخت | ۵۱ |
| اخبار علمی | | ۵۵ |
| وارونگی چیست؟ | دکتر منیرهٔ رهبر | ۶۱ |
| آبهای زیرزمینی وقوع زمین‌لرزه را هشدار دادند | ترجمهٔ دکتر فرزاد وحید | ۶۴ |
| یویوهای ارزان و ساده | ترجمهٔ آزیتا مصباح | ۶۶ |
| هشتمین المپیاد فیزیک ایران (۷۴/۲/۱۴) سؤالها و مسأله‌های مرحله اول | | ۶۸ |

# پیشگفتار

سال تحصیلی ۷۴ـ۷۳ قرین با موفقیت جهانگیر دانش‌آموزان ایرانی در مسابقات علمی بین المللی پایان یافت.

وارثان بیرونی و بوعلی سینا و فارابی نشان دادند که اگر همت، یارشان و خداوند مددکارشان باشد، می‌توانند راه گذشتگان بلندآوازه خود را دنبال کنند.

توفیق این عزیزان بار وظیفهٔ کارگزاران آموزش و پرورش را بیش از پیش سنگینتر ساخته است. اگر نیم نگاهی به امور تحصیلی سایر فرزندان این کشور هم بیندازیم، آنها نیز می‌توانند بیش از پیش به موازات همسالان خود علاقمندتر و توانمندتر گام بردارند.

مشکلات آموزش و پرورش ایران در مقایسه با مسائل اجتماعی دیگر پیچیده تر و وسیعتر است. آموزش و پرورش بیش از همه درگیر افزایش تصاعدی دانش‌آموزان و هزینه گران فراهم‌آوردن کمترین وسیله تحصیلی مانند ساختمان، معلم، کتاب و ... است

سازمانها و نهادهای دیگر کشور، باید صمیمانه به یاری آموزش و پرورش برخیزند. شهرداریها با امکانات وسیعی که دارند می‌توانند در تجهیز دبستانها و راهنماییها از هر لحاظ ثمربخش باشند. وزارتخانه هایی که با امور صنعتی و فنی سر و کار دارند، با استفاده از کارخانه‌ها و مؤسسه‌های صنعتی می‌توانند در پیشرفت هنرستانها و پرورش هنرجویان سهم به سزایی داشته باشند.

با توجه به مشکلات و مسائل گوناگون آموزش و پرورش ایران اشاره به چند مورد زیر ضروری و قابل ذکر است.

۱ـ نظام آموزشی و به خصوص گزینش دانشگاهی ما در طریقی سوق داده شده است که عموماً خانواده‌ها نگران گذر فرزندان خود از هفت‌خوان کنکور و تحصیلات دانشگاهی هستند.

اعلانهای فراوان در رسانه های عمومی و آگهی های رنگین بر در و دیوار شهر برای انواع آموزش امتحانات ورودی دانشگاهها نشان می دهد که تنور مدرک گرایی روز بروز داغتر و بازار کلاسهای مجاز و غیرمجاز و خصوصی و نیمه خصوصی و تقویتی و تضمینی با سند محضری و یا با تعهد چک و سفته پر رونق تر می شود. مطابق آگهی های چند ستونی روزنامه های کثیرالانتشار کلاسهای «تست زنی حضوری» و «تست زنی مکاتبه ای» و از همه عجیبتر و تأسف بارتر «**کلاسهای تست زنی حدسی**» نیز به این مجموعه اضافه شده است. بی تردید این آشفته بازار نشان می دهد که آموزشگاهها و دبیرستانهای ما کارآیی لازم و کافی را برای آماده سازی دانش آموزان ندارند. آیا در نظام آموزشی جدید کوره راهی برای رهایی از این بلای اجتماعی و فرهنگی پیدا خواهد شد؟ شاید به همت بلند معلمان دلسوز بتوانیم بر این گونه مشکلات فایق آییم.

۲ـ بسیاری از آموزگاران و دبیران و حتی استادان شکایت دارند که دانش آموزان و دانشجویان عموماً در فراگیری علوم، سطحی، بی دقت، آسان طلب و در ادراک مفاهیم علمی کم توان و یا ناتوانند.

معمول کشورهای پیشرفته این است که استعداد شاگردان مدارس سنجیده می شود. عده کمی از آنان به مراحل عالی تحصیلی می رسند و بقیه پس از آموزش مقدمات لازم مطابق راهنمایی مؤسسه های مسؤول و یا بنا به نیاز جامعه، شغلهایی را اختیار می کنند. بدین ترتیب کارهای مهم اجتماع به خصوص کار علمی و دانشگاهی در دست افراد با هوش و لایق و مستعد خواهد بود. عموم پدران و مادران مایلند فرزندان آنان پزشک، قاضی، مهندس، استاد دانشگاه و ... شوند. عقل حکم می کند و حق هم این است که کسانی عهده دار این شغلها باشند که استعداد آن را دارند. این استعدادها نیز باید مطابق اصول روانشناسی و علمی، اندازه گیری و معین شوند. در کشور ما هنوز این ضابطه مسلم، قبول عام نیفتاده است.

۳ـ دستگاه آموزش و پرورش، با همه توجهی که به دانش آموزان معمولی و طبیعی دارد، نباید از معدود دانش آموزانی که اختلالهایی در شخصیت دارند، غافل بماند. بسیاری از این اختلالهای روحی از سالهای اول کودکی شروع می شود، در دوران بلوغ آشکار می گردد و ممکن است در سالهای بعد ادامه یابد.

بیماریها و انحرافهای روحی و علتها و عاملهای آنها بسیار گوناگون و متفاوت است. وراثت، موقعیتهای اقتصادی و اجتماعی، اوضاع خانه و مدرسه، عامل جسمی و فیزیولوژیکی از علت های مؤثر ایجاد این بیماریهاست. جلوگیری از آنها در بسیاری موارد مشکل، ولی ممکن است.

در سالهای اخیر مشاهده شده است که در بعضی از رسانه ها از دانش آموزان و افرادی نام برده می شود که مدعی کشف قوانین جدید علمی هستند. گاهی دانش آموزی با جعل مدارک خود را برنده مدال طلا در یک مسابقه بین المللی معرفی می نماید و حتی پس از تکذیب وزارت آموزش و پرورش باز هم با توسل به مقامهای صاحب نفوذ اصرار دارد در رسانه های عمومی مطرح شود. درجه های شدیدتر این گونه اختلالهای روحی در کسانی دیده می شود که با تقلب و دزدی عنوان، به نام پزشک و جراح و مأمور و یا مدیر به فساد و خلاف کاریها می پردازند. شرح و تفصیل و تصویرهای گوناگون که کم و بیش از این افراد در روزنامه ها می خوانیم، اعلام خطر و زنگ بیدارباش برای جامعه ما به خصوص مربیان و مسؤولان متعهد است.

**سردبیر**

## سخنرانی به مناسبت دریافت جایزهٔ میلیکان سال ۱۹۹۴

# درک و آموزش فرآیندهای مهم در تفکّر علمی

ترجمهٔ دکتر منیژه رهبر

### فردریک رایف

**برندهٔ مدال رابرت میلیکان در سال ۱۳۷۳ (۱۹۹۴)**

از سال ۱۳۴۲ (۱۹۶۳) مدال رابرت. ا. میلیکان در گردهمایی تابستانی انجمن معلمان فیزیک امریکا به کسانی

به خاطر سهم بارز وی در آموزش فیزیک و درک فرآیند آموزش به ویژه در ارتباط با علوم انجمن معلمان فیزیک امریکا خوشوقت است که مدال رابرت. ا. میلیکان در سال ۱۳۷۳ (۱۹۹۴) را به فردریک رایف اهداء کند.

داده می شود که « سهم جالب توجه و سازنده‌ای در آموزش فیزیک داشته باشند. » برندهٔ سال ۱۳۷۳ (۱۹۹۴) فردریک رایف است. وی استاد ممتاز مرکز نوآوری در آموزش و بخشهای فیزیک و روانشناسی در دانشگاه کارنگی ملون (Carnegie Mellon) است.

استاد رایف در وین متولد شده است، او درجه کارشناسی خود را در سال ۱۳۲۷ (۱۹۴۸) از دانشگاه کلمبیا و دکترای خود را در سال ۱۳۳۲ (۱۹۵۳) از هاروارد دریافت داشت. پس از ۸ سال خدمت در دانشگاه شیکاگو به برکلی رفت و در بخشهای فیزیک و آموزش به کار پرداخت و عضو گروه آموزش علوم و ریاضیات بود. از سال ۱۳۶۸ (۱۹۸۹) وی در کارنگی ملون تدریس می کند. استاد رایف در سال ۱۳۴۹ (۱۹۷۰) با بیش از ده سال پژوهش و چندین مقاله در زمینهٔ ابر شاره ها به تحقیق در آموزش و شناخت پرداخت. وی در این زمینه مقاله های زیادی منتشر کرده است.

بسیاری از ما با کتابهای مبانی فیزیک گرما و آماری و فیزیک آماری استاد رایف که جزء دورهٔ فیزیک برکلی است آشنا هستیم. اخیراً وی دو کتاب در زمینهٔ آموزش علوم منتشر کرده است.

استاد رایف در سالهای ۴۷ـ۱۳۴۶ (۶۸ـ۱۹۶۷) استاد مدعو در ام. ای. تی (MIT) بود و در سال ۱۳۶۷ (۱۹۸۸) جایزهٔ پی بتاکاپا (Phi Beta Kappa) را برای آموزش ممتاز و در سال ۱۳۵۵ (۱۹۷۶) جایزهٔ انجمن معلمان فیزیک امریکا را برای خدمات شایان دریافت کرده است.

# ردریک رایف

قسمت اول

## I ـ مقدمه

فیزیک رشتهٔ فکری دشواری است و بسیاری از دانشجویان در فراگیری آن با مشکل مواجه اند. از طرف دیگر، آموزش ما اغلب کم ثمرتر از آن است که تصور می کنیم. در واقع، تحقیقات اخیر نشان داده است که بسیاری از دانشجویان، حتی وقتی نمرهٔ خوبی می گیرند، دوره های فیزیک پایه را با برداشتهای غلط زیاد، نظرهای غیرعلمی، مهارت اندک در حل مسئله و عدم توانایی در استفاده از آنچه آموخته اند به پایان می رسانند. خلاصه، معلومات دانشجویان در زمینه فیزیک اغلب به جای اینکه سودمند و قابل استفاده باشد فقط جنبهٔ صوری دارد.

این وضع سبب می شود که بپرسیم: چرا چنین است؟ و چه می توان کرد؟ یا به طور دقیقتر سؤالهای زیر را مطرح می کند: (الف) آیا می توان فرآیندهای تفکر بنیادی لازم برای پرداختن به علومی چون فیزیک را درک کرد و (ب) چگونه می توان از این مطلب برای طراحی آموزش مؤثرتر استفاده کرد؟ این سؤالها زمینهٔ کار من طی چند سال اخیر بوده است و در زیر به بررسی آن می پردازم.

### الف ـ فرمولبندی مسئلهٔ آموزش

آموزش مسئله ای است که طی آن شخص، دستگاه S (دانشجو) را از حالت ابتدائی $S_i$ به حالت نهائی $S_f$ منتقل می کند. در این حالت S می تواند کارهایی را انجام دهد که در ابتداء قادر به انجام آنها نبوده است. این فرآیند تبدیل را می توان به صورت طرح وار زیر نشان داد.

$$S_i \longrightarrow S_f \qquad (1)$$

اگرچه این برخورد ممکن است برخورد بیرحمانهٔ یک فیزیکدان در فرمولبندی مسئلهٔ آموزش تلقی شود، اما بدون شک این برخورد غیرانسانی نیست. برعکس! به جای پرداختن به موضوع فیزیکی مسئله یا برنامهٔ درسی، توجه بر جزء انسانی یعنی دانشجو متمرکز شده است که می خواهد فیزیک را بیاموزد.

مهمتر از آن، فرمولبندی (۱) مسئلهٔ آموزش، نشان می دهد که رهیافت سیستماتیک نیازمند توجه به موضوعهای زیر است.

**۱ ـ تحلیل عملکرد مطلوب $S_f$**: (الف) تواناییهای نهائی مطلوب و عملکرد قابل مشاهده باید به دقت مشخص شوند. (ب) از جنبهٔ نظری، مکانیسم شناخت بنیادی (فرآیندهای معلومات و تفکر) لازم برای حصول به این تواناییها باید فهمیده شود.

**۲ـ تحلیل دانشجوی اولیه $S_i$**: (الف) مشخصات و عملکرد دانشجویی که باید آموزش ببیند باید به اندازهٔ کافی مشخص شود. (ب) از جنبهٔ نظری باید معلوم شود که دانشجو چه می داند و چگونه فکر می کند.

**۳ـ مقایسه های مفید**: (الف) تحلیل مفید از عملکرد مطلوب (یعنی از $S_f$) مقایسه های مفیدی را ممکن می سازد. یک مقایسه با متخصصان واقعی (این کار، مدلهای مهم عملکرد مطلوب را در اختیار می گذارد، می تواند به آشکار کردن «معلومات ضمنی» کمک کند که متخصصان از آن بی اطلاع اند و ممکن است گاهی نشان دهد که این متخصصان از کمال بسیار به دورند). (ب) مقایسه با دانشجویان جدید (این مطلب، مشکلات آموزش را آشکار می کند و نشان می دهد که چه چیزی باید آموزش داده شود). (پ) مقایسه با روشهای آموزش قبلی (این کار مشکلات را آشکار می کند. مثلاً مهارتهای مهمی که هرگز دقیقاً آموزش داده نمی شوند).

**۴ـ طراحی آموزش (فرآیند تبدیل $i \rightarrow f$)**: (الف) فرآیند فراگیری مؤثری باید طراحی شود که به وسیلهٔ آن دانشجو بتواند دانش و مهارتهای فکری لازم را برای رسیدن به عملکرد نهائی مطلوب کسب کند. اصل اساسی آن است که نمی توان فیزیک را بدون آگاهی کافی از فرآیندهای تفکر لازم در این مورد به طور مؤثر آموزش داد (درست همان طور که نمی توان بدون آگاهی از فرآیندهای تفکر لازم برای بازی شطرنج به کسی شطرنج آموخت.)

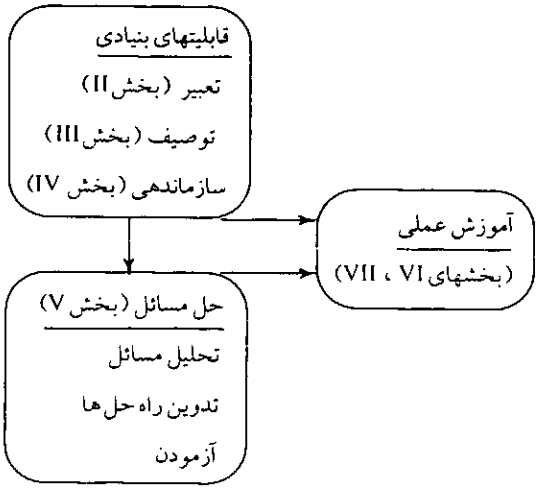
**ب ـ خلاصهٔ موارد مهم**

اجازه دهید رهیافت آموزشی را با شناسایی موارد ویژه مهم در آموزش فیزیک دنبال کنیم.

**اهداف آموزشی:** انتخاب اهداف آموزشی به قضاوت شخص و جوّ دانشجویی بستگی دارد. به هر حال، هدف اصلی من همواره این بوده است که به دانشجویان کمک کنم تا اندکی معلومات بنیادی کسب کنند تا بتوانند آن را به صورت **انعطاف پذیر** به کار برند. لااقل دو دلیل مهم برای این استفادهٔ قابل انعطاف وجود دارد (الف) هدف انباشت حقایق مختلف نیست. بلکه آن است که با استفاده از معلومات بنیادی کم بتوان پدیده های مختلف بسیار را پیشگویی یا تبیین کرد. (ب) دانشجویان باید در دنیای صنعتی پیچیده ای کار کنند که به سرعت تغییر می کند و دانشی که به طور سطحی به خاطر سپرده شده یا به درستی فهمیده نشده سود چندانی ندارد. هر نوع معلومات در زمینهٔ فیزیک فقط درصورتی مفید است که به دانشجویان این توانایی را بدهد که با دروس و کارهایی که در آینده با آنها مواجه می شوند به طور مؤثر برخورد کنند.

**قابلیتهایی که استفادهٔ قابل انعطاف را آسان می کند** چه فرآیند تفکری برای اطمینان از کاربرد انعطاف پذیر معلومات علمی ضروری است؟ تجربهٔ من نشان می دهد که قابلیتهای شناخت شکل ۱ حائز اهمیت ویژه اند. این قابلیتها شامل توانایی در تعبیر مفاهیم و اصول علمی، بیان مؤثر این معلومات، و سازماندهی مؤثر آن است. اینها پیشنیاز قابلیت کلیتر حل مسئله است که شامل تحلیل مسائل، یافتن راه حل آنها، و آزمودن این راه حلهاست.

هدف کلی این مقاله در صفحه های بعد هریک از قابلیتهای بالا را به طور دقیق بررسی و نشان خواهم داد، چرا این تواناییها از آنچه ممکن است به سادگی تصور کنیم پیچیده تر است. در هر مورد توجه به مسئلهٔ آموزش $S_i \rightarrow S_f$ به موارد زیر منجر خواهد شد. (الف) مشخص کردن نقایص مشترک موجود در قابلیتهای اولیهٔ دانشجویان (ب) تحلیل فرآیندهای تفکر لازم برای رسیدن به قابلیتهای مطلوب که دانشجویان باید در نهایت به آن برسند.




شکل ۱ ـ موضوعهای شناخت اساسی که برای کار علمی مهم اند.

(پ) بررسی موارد لازم برای طراحی مؤثر فرآیند آموزش.

همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در بخش II تعبیر مفاهیم و اصول علمی را بررسی می کنیم، در بخش III به روشهای مؤثر لازم برای کار علمی می پردازیم، بخش IV فرمهای مؤثر سازماندهی معلومات را بررسی می کند، و بخش V به بحث در مورد حل مسائل (یعنی روشهای تحلیل مسائل، پیدا کردن راه حل آنها، و آزمودن این راه حلها) اختصاص دارد. بررسی این موضوعها قابلیت وارد کردن همهٔ آنها را در طراحی آموزش عملی ممکن می سازد. درنتیجه، بخش VI به کار لازم برای اعمال این آموزش عملی و بخش VII به مشکلات موجود در این راه می پردازد. بالاخره در بخش VIII خلاصه بحث و نتیجه گیری لازم آورده شده است.

## II ـ تعبیر مفاهیم و اصول علمی

سنگ بنای معرفت علمی، مفاهیم و اصول خاص است. این مفاهیم، معمولاً برای فراهم ساختن تعمیم علمی مطلوب (یعنی اطمینان از اینکه مفاهیم یا اصول اندکی برای پیشگویی پدیده های متنوع بسیاری کافی است) بسیار مجردند.

تجـربه‌هایی از این نوع برای مـردم عادی مـشکل چندانی به‌وجـود نمی‌آورد. بسیـاری از مـفاهیم مـورد اسـتفـاده در زندگی روزمره نیـز کاملاً مـجردند (مثـلاً عشق، حقـیقت، زیبایی، عدالت، و غیره). مشکل اینجاست که مفهوم علمی را باید بتوان در هر مورد بدون ابهام تعبـیر کرد. مسئله ای که در مـفاهیم زندگـی روزمره ضـروری نیـست، برای مثـال، ممکن است در مورد این که حالتی (عشق حقیقی) است و یا عملی (عادلانه) است عدم توافق وجود داشـته باشد، اما کار علمی این نوع ابهـامها را در مـورد شناسایی صـحیح مفـهوم علمی برنمی‌تابد.

(تعبیر یک مفهـوم) از نظر من به معنای شناسایی یا تولید آن مـفـهوم در هر لحظه است. برای مثال، فـرض کنیـد، شخـصی به من بگوید کـه مثلث یک چند ضلعی با سـه ضلع است، امـا این شـخص نتـواند مـثلـث را بین سـایر اشکال هندسی تشـخیص دهد یا با سـه چوب یک مثلث بـسازد. در این مـورد خواهم گفـت که معلـومات این شخـص در مورد «مثلث» صوری است اما او نمی داند که چگونه این مفهوم را تعبیر کند.

بدیهی است که توانایی تـعبیر یک مـفهوم علمی پیـشنیاز لازم برای استفاده از این مـفهوم درنتیجه گیریهـای پیچیده یا انجـام هر نوع کـــار علمی است. بنابراین مـــمکن است این سـؤال مطرح شود: چگونه یک دانشـجـو می تواند مفـاهیم فیزیکی را کـه به طور سطحی فراگرفته است به درستی تـعبیر کند؟

### الف ـ نقایص مشاهده شده در تعبیر

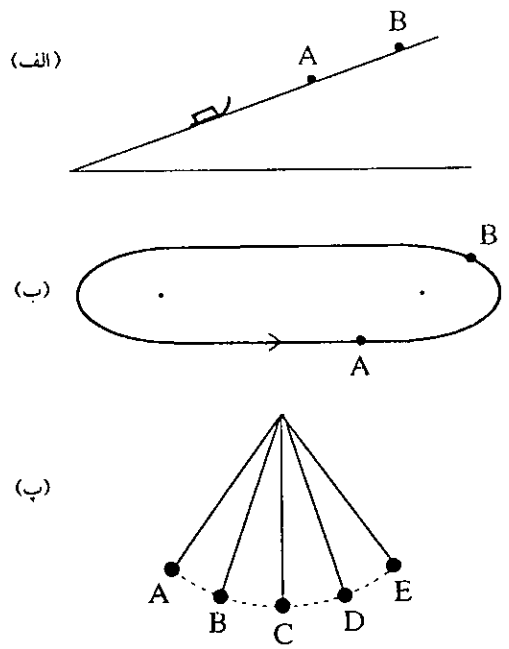
برای بررسی تفصیلی این سؤال، اجـازه دهید توجه خود را به مفـهوم «شتـاب» معطوف کنیم. این یک مفـهوم پایه در فیـزیک است کـه اهمیـتی بنیادی در مکانیک نیـوتونی دارد و معـمولاً در آغاز درسـهای پایهٔ فیـزیک تدریس می‌شود. این مفهوم بـا تعریف آشنای «شتاب آهنگ تغییـر سرعت با زمان است» بیان می‌شود، که می تـوان آن را به صورت معادلهٔ زیر خلاصه کرد.

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \qquad (۲)$$

کسی کـه می تواند مفهوم شـتاب را تعبیـر کند باید بتواند شتـاب جسم را در موارد مخـتلفی که در شکل ۲ آمده است به دست آورد.

برای مثـال، در شکل ۲ (الف) یک سـورتمه نشـان داده شده است کـه در مسیـر سربالایی یک تپـه حرکت می کند از نقطه A می گذرد و در نقطهٔ B متـوقف می شود و مـجدداً به طرف پایین حـرکت مـی کند. شکل ۲ (ب) خـودرویی را نشان می دهد کـه با سرعت ثابت در یک مـسیر افـقی حرکت می کند و از A به B می رود. شکل ۲ (پ) یک وزنهٔ آونگ نوسـانگر را نشـان می دهد کـه در نقطه A لحظه ای به حـال سکون درمی آید، با سرعت افزاینده از نقطه B می گذرد و در نقطهٔ C به سرعت بیشینهٔ خـود می رسد، سپس سرعت آن در نقطه D کم می شود و در E مجـدداً لحظه ای به حال سکون درمی آید.

در یک بررسی که من و همکارانم انجام دادیم، ۱۵ مورد از این نوع را به افراد مختلف نشان داده و پاسخ آنها را به دقت بررسی کـردیم. از این افـراد خواسـتیـم که آیا در این نقـاط مشخص شـتاب صفر است و در صورت صفـر نبودن جهت آن را مشـخص کنند. این افراد از بین دانشـجویان و اسـتادان دانشگاه برکلی در کالیفرنیا انتـخاب شده بودند. دانشجویان

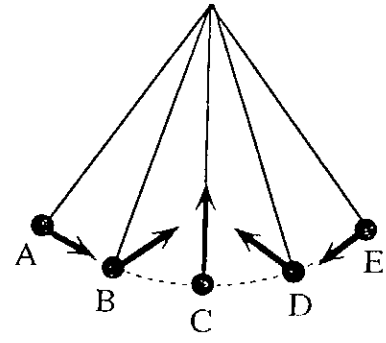



شکل ۲ ـ موارد مورد استـفاده در تعبیر شتـاب (الف) سورتمه ای که روی تپه می‌لغزد، (ب) ماشینی که در مسیر افقی حرکت می کند، (پ) وزنهٔ آونگ در حال نوسان.

## سخنرانی به مناسبت دریافت جایزهٔ میلیکان سال ۱۹۹۴

مورد نظر در دوره‌های فیزیک پایه برای دانشجویان علوم و مهندسی ثبت نام کرده بودند و حداقل دو ماه بود که در مورد شتاب کار می‌کردند. استادان همگی در سالهای اخیر فیزیک پایه را تدریس کرده بودند نتیجه این بررسی به قرار زیر بود: دانشجویان فقط به ۳۵٪ این سؤالها پاسخ درست داده بودند. نتیجه در مورد استادان بسیار بهتر بود اما کامل نبود (برای مثال، یکی از آنها فقط به ۱۰ سؤال از ۱۵ سؤال پاسخ درست داده بود).

بررسیهای اخیر در دانشگاه واشنگتن این نتیجه گیری را با داده های بیشتر در مورد افرادی که به سؤال آونگ پاسخ داده بودند، تأیید می‌کند. از ۱۲۴ دانشجو که شتاب را در دوره‌های فیزیک مقدماتی خوانده بودند، هیچکدام به این سؤال پاسخ درست نداده بودند: از ۲۲ دانشجوی دورهٔ کارشناسی ارشد که به عنوان دستیار آموزشی کار می‌کردند فقط ۱۵٪ پاسخ درست داده بودند؛ و از ۱۱ دانشجوی دورهٔ دکترا که در مرحلهٔ امتحان جامع بودند فقط ۲۰٪ جواب درست را می‌دانستند (حتی بعضی فیزیکدانهای با تجربه در تعیین شتاب وزنهٔ آونگ با مشکل مواجه بودند. پیکانها در شکل ۳ جهت شتاب را نشان می‌دهد).




شکل ۳ـ شتاب وزنهٔ آونگ

داده های بالا نشان می‌دهد که تعبیر مناسب یک مفهوم علمی کار آسانی نیست و بسیاری از دانشجویان نمی‌توانند مفاهیم علمی را که گمان می‌کنند فرا گرفته اند به درستی تعبیر کنند.

دلایل این نارساییهای موجود در تعبیر چیست؟ یک دلیل متداول آن است که به معلومات حفظ شدهٔ ظاهرفریبی رجوع می‌شود که اغلب نادرست و بندرت با تعریف آن مفهوم آزموده شده است. برای مثال، بسیاری از دانشجویان این فرض را بدیهی می‌دانند که هر کجا سرعت ذره صفر است، شتاب نیز صفر است. یا این نکته را در نظر می‌گیرند که شتاب در حرکت دایره‌ای همواره به سوی مرکز است (بدون اینکه توجه کنند این موضوع فقط در حالتی صادق است که سرعت ثابت باشد).

حتی وقتی دانشجویان تعریف یک مفهوم را به خاطر می‌آورند اغلب نمی‌توانند آن را به درستی تعبیر کنند. مثلاً، یک دانشجو وقتی شتاب وزنه در نقطه A در مسیر نوسان را در نظر می‌گرفت اظهار داشت: «سرعت صفر است، پس شتاب باید صفر باشد، چون شتاب برابر است با تغییر سرعت تقسیم بر تغییر زمان، یعنی شتاب مشتق سرعت نسبت به زمان است، و مشتق سرعت صفر است.»

بنابراین، این دانشجو تعریف شتاب را به روشنی می‌دانست، حتی زبان ریاضی این تعریف را هم می‌دانست، اما با تعبیر غلط به نتیجهٔ نادرست می‌رسید.

### ب ـ تحلیل شناخت

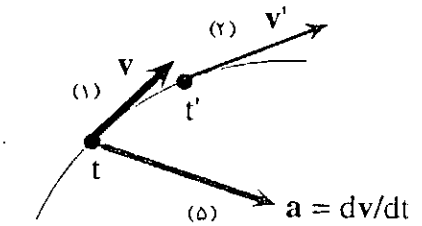
بررسیهای بالا در مورد شتاب بود، اما نتایج به دست آمده با بسیاری از تعبیرهای غلط سایر مفاهیم فیزیکی سازگار است.

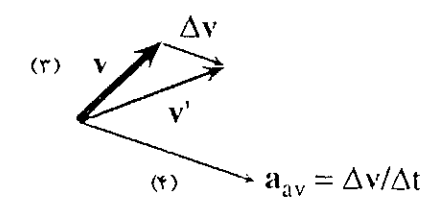
برای درک بهتر مشکلات تعبیر مفاهیم و دلایل بدفهمی، اجازه دهید فرآیندهای تفکر لازم برای تعبیر ماهرانهٔ مفاهیم علمی را به طور دقیقتر بررسی کنیم.

**تعبیر درست و قابل اطمینان:** مشخص کردن یک مفهوم علمی بدون ابهام نیاز به آن دارد که آن مفهوم با دقت کافی تعریف شود، به طوری که بتوان آن را در هر زمان به درستی تعبیر کرد. این کار نیازمند یک **روش** تعبیر است (یعنی آیین نامه ای) که مشخص کند شخص عملاً باید چه کند تا بتواند مفهوم را در هر زمان مشخص کند یا بسازد (مشخص کردن بدون ابهام اصل علمی نیز به یک روش تعبیر

آیین نامه ای نیازمند است ) . کاربرد اندیشمندانهٔ این روش اطمینان می دهد که برداشت درست و قابل اعتمادی از مفهوم شده است .

برای مثال ، شتاب یک ذره با تعریف (۲) مشخص می شود . اما این تعریف بدون مشخص کردن روش تعبیر که شامل مراحل زیر است کافی نیست ( شکل ۴ ) .




شکل ۴- روش تعریف شتاب

۱) **سرعت اولیه v** : سرعت ذره را در زمان مورد نظر t مشخص کنید .

۲) **سرعت جدید v′** : سرعت ذره را در زمان t′ کمی پس از t مشخص کنید .

۳) **تغییر سرعت Δv** : تغییر سرعت $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}' - \mathbf{v}$ را در بازهٔ زمانی $\Delta t = t' - t$ بیابید .

۴) **شتاب متوسط $\bar{\mathbf{a}}$** : نسبت $\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ ، « شتاب متوسط » را طی زمان Δt به دست آورید .

۵) **شتاب a** : مقدار حدی شتاب متوسط را اگر t′ خیلی به t نزدیک شود پیدا کنید ( به طوری که Δt بینهایت کوچک شود و بتوان آن را با dt نشان داد ) .

نسبت $\frac{d\mathbf{v}}{dt}$ حاصل را « شتاب ذره در زمان t می نامیم » .

کاربرد این روش برای تعیین شتاب در تمام موارد منظور ( مانند شکل ۲ ) کافی است . توجه کنید که این روش چقدر پیچیده است . ( به ویژه گام سوم که مستلزم کم کردن بردارهای سرعت و گام پنجم که شامل فرآیند حدگیری است ) . اما معادله ( ۲ ) یا تعریف « شتاب آهنگ تغییر سرعت نسبت به زمان است » تمام این پیچیدگیها را پنهان می دارد . بنابراین ، تعجب آور نیست که دانشجویان در تعبیر اینکه تعریف واقعاً چه معنایی دارد دچار مشکل شوند .

**تعبیر مؤثر** : معلومات تعبیری بالا « رسمی » است . یعنی عام ، و دقیق است و با یک روش تعبیر مفهوم در هر لحظه مشخص شده است . کاربرد هوشمندانهٔ این معلومات رسمی می تواند ضامن دقت قابل اعتماد باشد . اما این کار پر دردسر است . بنابراین ، ممکن است بخواهیم **کارآ** باشیم ، یعنی بتوانیم مفهوم را با کوشش ذهنی کمتر و به سرعت تعبیر کنیم .

کارآیی در شناخت برای افرادی که می خواهند دروقت صرفه جویی کنند فقط یک تجمل نیست ، بلکه می تواند برای عملکرد **کارآ** ضروری باشد . درواقع ، اگر مجبور باشیم همواره در تعبیر هر مفهوم وقت زیادی صرف کنیم ، ظرفیت ذهنی کافی برای جنبه های پیچیدهٔ کارهایی که این مفاهیم در آنها به کار می روند نخواهیم داشت ( فرض کنید که هرگز نیاموزیم معنی کلمات را بیش از یک طفل شش ساله دریابیم . چگونه ظرفیت ذهنی کافی برای خواندن و درک مقاله های فیزیکال ریویو Physical Review را پیدا می کنیم؟ )

تعبیر مفهومی کارآ با گردآوری مجموعه ای از معلومات در مورد حالتهای خاص ممکن می شود . در این صورت یک حالت خاص را می توان خود به خود تشخیص داد . بنابراین ، این « معلومات ذخیره شده » را اغلب می توان بدون نیاز به پردازش آگاهانه برای تعبیر مفهوم به کار برد .

برای مثال ، اغلب فیزیکدانها معلوماتی در مورد شتاب در موارد خاص ، مانند حرکت دایره ای با سرعت ثابت را به خاطر سپرده اند . وقتی به ذره ای برمی خورند که این گونه حرکت می کند ، فوراً وضعیت را تشخیص می دهند و نتیجه می گیرندکه شتاب به سوی مرکز دایره است . تمام این کارها به سرعت و بدون نیاز به یادآوری تعریف شتاب یا استدلال بر مبنای آن انجام می شود .

**استفادهٔ توأم از معلومات رسمی و ذخیره شده** : برای تعبیر درست و مؤثر یک مفهوم ، معلومات رسمی کلی و معلومات ذخیره شدهٔ مربوط به مورد خاص به صورت مکمل به کار

می‌روند. اگر شخص به مورد آشنایی برخورد کند که با مورد مشخص در معلومات گردآوری شده تطبیق می کند، می‌تواند بلافاصله از این معلومات استفاده کند. اما اگر به مورد ناشناخته‌ای برخورد کرد، یا دچار مورد پیچیده‌ای شد که احتیاج به بحث کلی داشت، بهتر است به معلومات رسمی خود رجوع و با استفاده از آن استدلال کند.

### ب ـ ویژگیهای آموزشی

آموزش باید ضامن توانایی دانشجو در برداشت کافی از هر موضوع یا اصل قبل از نیاز به استفاده از آن باشد تا بتواند کارهای پیچیده تر را در حل مسائل انجام دهد. در غیر این صورت، دانشجویان باید با مشکلات تعبیر مفهومی و پیچیدگیهای دیگر همزمان مواجه شوند، موقعیتی که می‌تواند فراسوی توانایی آنها باشد و منجر به اشتباههای مکرر شود.

**آموزش صریح روشهای تعبیر:** تحلیل فرآیند تعبیر استراتژی زیر را برای تعلیم مفهوم (یا اصل) علمی مطرح می کند. (الف) پس از تعریف یا معرفی مفهوم، آن را به روشنی همراه با روشهای لازم برای تعبیر مشخص کنید (ب) بگذارید خود دانشجویان این روشها را در موارد مختلف از جمله مواردی که مستعد خطا هستند به کار برند (این موارد مستعد خطا) شامل مواردی است که به مهیزی دقیق نیاز دارد، یا برداشتهای قبلی از زندگی روزمره یا آموزشهای قبلی ابهاماتی را به وجود می‌آورد). (پ) از دانشجویان بخواهید تا نتیجه تعبیرهای مفهومی را در این مورد خاص خلاصه کنند. به طوری که ذخیرهٔ سودمندی از معلومات را در مورد این مفهوم کسب کنند. دلایل بسیاری وجود دارد که نشان می‌دهد این روش آموزشی بسیار مؤثر است. مثلاً، با استفاده از این روش در یک حالت موفق شدیم قابلیت دانشجویان را در تعبیر مفهوم شتاب (از حدود ۴۰٪ تعبیر درست قبل از این کار به ۹۰٪ پس از آن) افزایش دهیم. این روش درکلاس درس نیز بسیار موفق بوده است.

### ت ـ اطمینان از معلومات گردآوری شدهٔ قابل اعتماد

همان طور که قبلاً گفته شد، معلومات علمی گردآوری شده در مورد حالتهای خاص بسیار مفید است. چون می‌توان آنها را به سرعت تشخیص داد. بدین ترتیب می‌توان شم علمی خوبی به دست آورد و لازم نیست که همواره به استدلال پر دردسر از تعریف اصول اولیه پرداخت.

**ضرورت ضمانت کیفیت:** این معلومات گردآوری شدهٔ مربوط به موارد خاص در مواردی می‌تواند غیر قابل اعتماد باشد، مگر دارای ویژگیهای زیر باشد: (الف) باید با معلومات علمی رسمی سازگار باشد. (ب) بتوان آن را به دقت از سایر معلومات شهودی که در زندگی روزمره یا سایر موارد به کار می رود تمیز داد (برای مثال، مفهوم شتاب در فیزیک دارای ویژگیهای کاملاً متفاوت از معانی وابسته به کلمهٔ شتاب در گفتگو با رانندهٔ تاکسی است.)

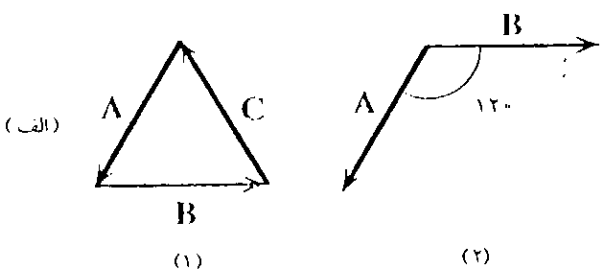
از همه مهمتر، باید بتوان و مایل به بررسی این مسئله بود که آیا معلومات گردآوری شدهٔ شهودی، در واقع به طور صحیح مورد استفاده قرار گرفته است (قضاوت در این مورد با سازگاری صریح با تعریف و اصول ویژه انجام می گیرد) در غیر این صورت، می‌توان به آسانی تفاوتهای ظریف و شرایط اعتباری که کاربرد معلومات در موارد خاص را محدود می کند نادیده گرفت.

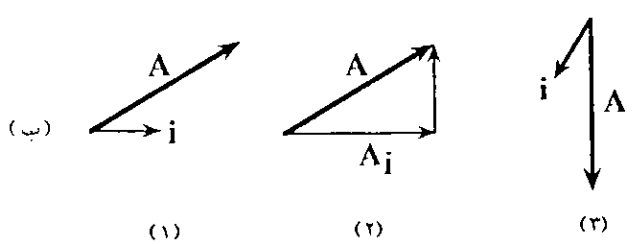
آموزش صحیح نیازمند اطمینان از برقراری شرایط بالاست. این کار آسان نیست، به ویژه چون دانشجویان از زندگی روزمره که معلومات شهودی مورد استفاده در معرض چنین شرایط دشوار نیست به علوم روی می‌آورند.

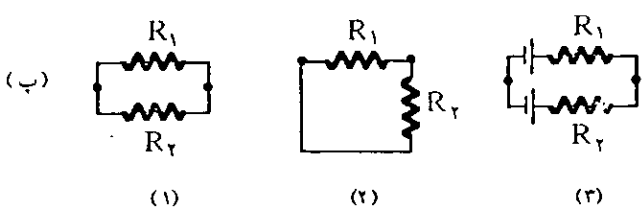
**جایزالخطابودن شرایط بازشناسی:** قابلیت بازشناسی موارد آشنا یا مشابه می تواند تعبیر مفاهیم را سریع و بی‌دردسر سازد. اما، فرآیندهای بازشناسی مستعد خطا هستند، زیرا مشخصات روشنی ندارند که بتوان نتیجه گرفت به چه جنبه هایی باید توجه کرد و کدام را نادیده گرفت. بنابراین، فرآیندهای بازشناسی مورد استفاده در علوم را باید با مقایسه با روشهای تعبیر قابل اعتمادتر آزمود (پس معرفی مفاهیم فیزیک فقط با مثالها یا مقایسه بدون توجه به تعاریف مشخص نیز می تواند خطرناک باشد). مثالهای این مورد

به قرار زیرند:

شکل ۵ (الف) سه بردار را نشان می دهد که بزرگی آنها یکسان و برآیند شان صفر است. وقتی مثلث متساوی الاضلاع نمودار اول به دانشجویان نشان داده و از آنها خواسته شد که زاویهٔ میان **A** و **B** چقدر است، بسیاری پاسخ دادند که این زاویه "۶۰ است. البته ظاهراً چنین به نظر می رسد! اما زاویهٔ واقعی "۱۲۰ است. اگر به خاطر بیاوریم که زاویهٔ بین دو بردار زاویهٔ میان پیکانهای معرف آنهاست که از یک نقطه رسم شده باشد. (همان طور که در نمودار دوم رسم شده است.)




شکل ۵ ـ خطاپذیربودن تعبیر بازشناسی (الف) زاویه بین دو بردار. (ب) مؤلفه برداری یک بردار. (پ) مقاومتهایی که به طور موازی متصل شده اند.

شکل ۵ (ب) بردار **A** و جهتی را نشان می دهد که با **i** مشخص شده است. وقتی اولین نمودار به دانشجویان نشان داده شد و از آنها خواسته شد که مؤلفهٔ بردار **A** که با **i** موازی است را رسم کنند، اغلب توانستند این کار را انجام دهند (این تصویر در نمودار (۲) نشان داده شده است). اما وقتی از آنها همان پرسش در موارد بردارهایی شد که مطابق نمودار (۳) قرار گرفته بودند، بسیاری دچار مشکل شدند یا جواب نادرست دادند. علت آن است که اغلب دانشجویان می خواهند پاسخ سؤال را با تطبیق با مورد شناخته شده بدهند که در آن جهت مرجع **i** روی صفحه افقی یا قائم است. نمودار اول با این وضعیت سازگار است، اما نمودار سوم نیست، پس مشکل ایجاد می شود. (اگر از روش تعبیر در به دست آوردن مؤلفه بردار استفاده شود، هر دو مورد به یک اندازه آسانند).

شکل ۵ (پ) دو مقاومت $R_1$ و $R_2$ را نشان می دهد که به سه طریق به هم متصل شده اند. بسیاری از دانشجویان می گویند اتصال مقاومتها در نمودارهای اول و سوم موازی است، اما در نمودار دوم چنین نیست (در واقع اولین نمودار نمونهٔ اتصال موازی است). به نظر می رسد که نمودار سوم نیز با این نوع اتصال منطبق است، اما اگر به دقت به اتصال پایانه ها توجه شود، مشخص می شود که مقاومتها در نمودار دوم به طور موازی متصل شده اند، اما در نمودار سوم چنین نیستند.

ادامه دارد.

مرجع:

American Journal of Physics, Jan 95, p 17-32.

# در حاشیه آموزش فیزیک

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

**سید جعفر مهرداد**

## (۱) فشار در مایع ساکن

می خواهیم با محاسبه نشان دهیم **برای هر نقطه مایع ساکن، در همه راستاها اندازه فشار یکسان است.**

مطابق شکل۱ منشوری از مایع را در نظر می گیریم. مقطع آن مثلث قائم‌الزاویه ABC و BC افقی و BA قائم و $CD = AE = L$ برابر طول منشور است.

جرم واحد حجم یا چگالی مایع را $\rho$ و فشار وارد بر سطحهای BC و CA و AB را به ترتیب $P_1$، $P_2$ و $P_3$ می نامیم. وزن این منشور برابر $\frac{1}{2}AB.BC.L.\rho g$ و نیروهای وارد بر این سطحها نیز به ترتیب $P_1.BC.L$، $P_2.CA.L$ و $P_3.AB.L$ است. برای اینکه این منشور در حال سکون باقی بماند باید برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد.

برای راستای افقی می توانیم بنویسیم:

$(CA\cos\hat{A} = AB)$

$P_3.AB.L = P_2.CA.L\cos\hat{A}$

$\Rightarrow P_3.AB.L = P_2.AB.L$

$$\boxed{P_3 = P_2}$$

برای راستای قائم می توانیم بنویسیم:

$(CA\cos\hat{C} = BC)$

$$P_1.BC.L = P_2.CA.L\cos\hat{C} + \frac{1}{2}\rho gAB.BC.L$$
$$= P_2.BC.L + \frac{1}{2}\rho gAB.BC.L$$

$$\Rightarrow \boxed{P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho g.AB}$$

هرگاه ابعاد منشور بی نهایت کاهش یابد $P_1 = P_2$ می شود خواهیم داشت:

$$\boxed{P_1 = P_2 = P_3}$$

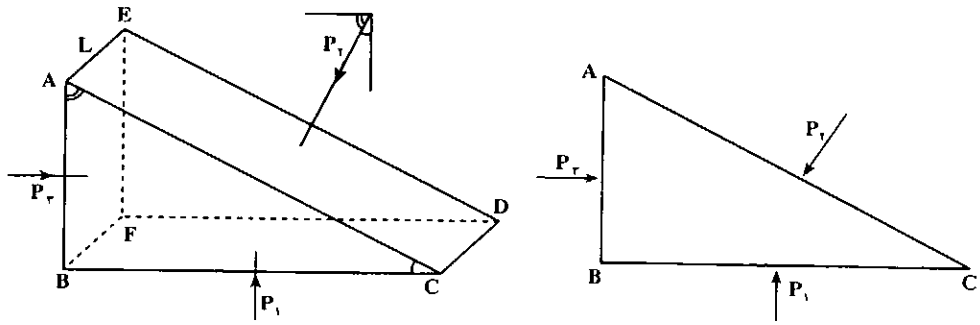
**نتیجه می گیریم برای هر نقطه مایع ساکن، در همه راستاها اندازه فشار یکسان است. بنابراین فشار در مایع کمیت نرده ای است.**

## (۲) سرعت متوسط در حرکت با شتاب ثابت

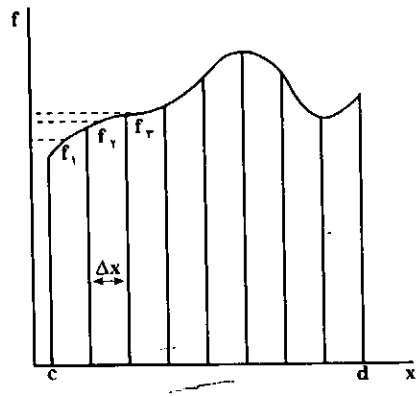
ذره‌ای بر روی خط راست با شتاب ثابت حرکت می کند. سرعت آن در لحظه $t = 0$ برابر $V_0$ و در لحظه $t$ برابر $V$ است. سرعت متوسط در این فاصله زمان برابر است با $\overline{V} = \frac{V + V_0}{2}$ یعنی در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط متحرک در یک مدت معین برابر است با نصف مجموع سرعت اول و آخر آن.

در این باره علاوه بر روش معمول در دبیرستانها، توضیح زیر قابل ذکر و توجه است.

فرض می کنیم f تابعی از متغیر x و منحنی نمایش آن برای




شکل ۱




شکل ۲

محدوده $c \le x \le d$ مطابق شکل ۲ است. فاصله cd را به n قسمت مساوی تقسیم کرده و طول هر قسمت را $\Delta x$ و عرضهای نقاط تقسیم را $f_1$ ، $f_2$ ، . . . و $f_n$ می نامیم. بنا به تعریف اندازه متوسط n عدد $f_1$ ، $f_2$ ، . . . و $f_n$ عبارت است از :

$$\bar{f} = \frac{1}{n}(f_1 + f_2 + \ldots + f_n) = \frac{f_1 + f_2 + \ldots}{(d-c)/\Delta x}$$

و یا $\bar{f} = \frac{\Sigma f_n \Delta x}{d-c}$ . به ازای $n \to \infty$ (یا $\Delta x \to 0$) اندازه متوسط تابع $f(x)$ از $x = c$ تا $x = d$ با دستور زیر تعریف می شود.

$$\bar{f} = \frac{\int_c^d f dx}{d-c}$$

در رابطه $V = V_0 + at$ ، V تابعی از متغیر t و a مقدار ثابت است برای پیدا کردن اندازه سرعت متوسط در فاصله زمان 0 و $t_f$ می توانیم بنویسیم.

$$\bar{V} = \frac{\int_0^{t_f} (v_0 + at)dt}{t_f}$$

این اندازه متوسط را در فاصله $0 \le t \le t_f$ پیدا می کنیم.

$$\int_0^{t_f} (v_0 + at)dt = \int_0^{t_f} v_0 dt + \int_0^{t_f} at\, dt$$

چون a و $V_0$ ثابت است می توانیم بنویسیم :

$$\int_0^{t_f} (v_0 + at)dt = (v_0 t_f - 0) + (\frac{a}{2} t_f^2 - 0) \Rightarrow$$

$$\bar{V} = V_0 + \frac{1}{2} a t_f$$

با توجه به رابطه $V = V_0 + at_f$ نتیجه می گیریم :

$$\bar{V} = V_0 + \frac{1}{2}(V - V_0) \Rightarrow \boxed{\bar{V} = \frac{V_0 + V}{2}}$$

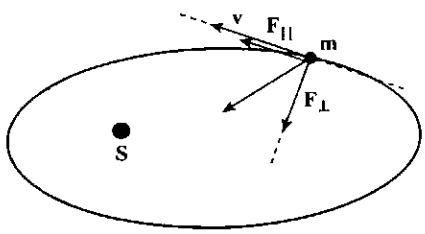
### (۳) سرعت سیاره به دور خورشید

در آزمون گزینش دانشجو سال ۱۳۷۲ مرحله اول سؤال شده است: مسیر حرکت سیاره‌ای به دور خورشید به صورت بیضی است. با دورتر شدن این سیاره از خورشید سرعت آن چه تغییری می یابد؟

۱ ـ کمتر می شود ۲ ـ در فواصل مینیموم و ماکزیموم سرعت حداقل است ۳ ـ تفاوتی نمی کند ۴ ـ بیشتر می شود.

در پاسخنامه های تشریحی با استفاده از قانون دوم کپلر و محاسبه سطح پیموده شده به وسیله شعاع حامل سیاره در دو مدت زمان مساوی به این پرسش پاسخ داده شده است. با استفاده از قانون بقای اندازه حرکت زاویه ای هم می توانیم به این سؤال پاسخ دهیم. دو روش زیر نیز در پاسخ به این سؤال قابل ذکر و توجه است.

الف ـ مطابق قانون بقای انرژی مکانیکی مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل سیاره به دور خورشید همواره ثابت است. بنابراین هنگامی که سیاره نزدیک خورشید است دارای انرژی پتانسیل کم و انرژی جنبشی زیاد است و وقتی سیاره از خورشید دور می شود انرژی پتانسیل آن زیاد و انرژی جنبشی آن کم و درنتیجه سرعت سیاره کمتر است.




شکل ۳

ب ـ مطابق شکل ۳ در یک لحظه نیروی گرانش وارد بر سیاره را در نظر می گیریم. این نیرو دارای دو همنه عمود بر هم $F_{\parallel}$ و $F_{\perp}$ است. همنه $F_{\parallel}$ موازی با سرعت V سیاره و موجب تغییر اندازه سرعت است. همنه $F_{\perp}$ عمود بر سرعت V و عامل تغییر سوی سرعت است. بنابراین هنگامی که سیاره به خورشید نزدیک می شود سرعت آن زیاد می شود. در نزدیکترین فاصله سیاره با خورشید ( حضیض ) سیاره

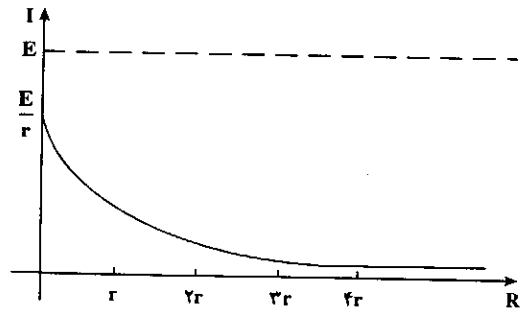
دارای بیشترین سرعت و در دورترین فاصله سیاره تا خورشید (اوج) سیاره دارای کمترین سرعت است.

**(۴) تغییر مقاومت بیرونی در مدار الکتریکی ساده**

یک مدار الکتریکی شامل مولدی به نیروی محرکه E با مقاومت درونی r و یک مقاومت بیرونی متغیر R است. می خواهیم تغییر شدت جریان مدار و اختلاف پتانسیل دو سر مولد و توان مصرف شده در مقاومت بیرونی را برحسب تغییر R نمایش و مورد بررسی قرار دهیم.

الف ـ در رابطه $I = \frac{E}{R+r}$ ، R متغیر و I تابع است.

(نظیر $y = \frac{a}{x+b}$)

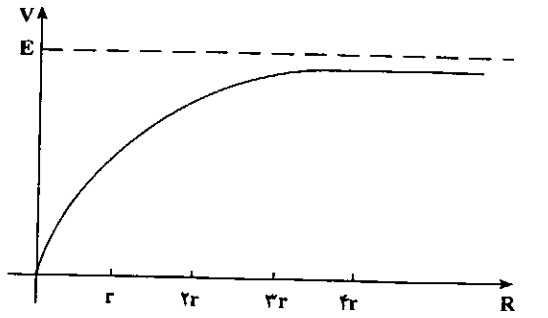



برای $R \to 0$ شدت جریان I در مدار بیشینه و برابر $\frac{E}{r}$ است.

ب ـ اختلاف پتانسیل دو سر مولد یا مقاومت بیرونی را برحسب R پیدا می کنیم.

$V = RI \Rightarrow \boxed{V = \frac{RE}{R+r}}$

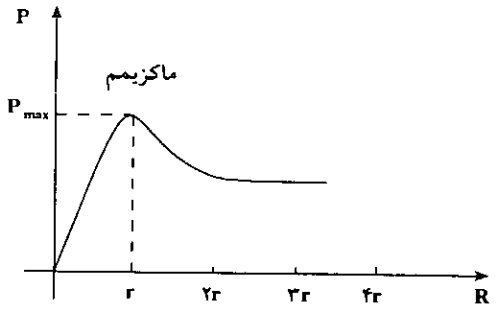
(نظیر $y = \frac{ax}{x+b}$)




برای $R \to \infty$ اختلاف پتانسیل دو سر مولد بیشینه و $V = E$ است.

ج ـ توان مصرف شده در مقاومت بیرونی را برحسب متغیر R به دست می آوریم.

$P = RI^2 \Rightarrow P = \frac{RE^2}{(R+r)^2}$ (نظیر $y = \frac{ax}{(x+b)^2}$)




هنگامی که نمودار P برحسب تغییر R رسم شود ملاحظه می کنیم که برای $R = r$ توان مصرف شده بیشینه است. در این صورت $P_{max} = \frac{E^2}{4r}$ است. می توانیم با مشتق گیری به همین نتیجه برسیم به صورت زیر:

$$P = \frac{E^2}{R + \frac{r^2}{R} + 2r} \qquad (1)$$

$$\frac{dP}{dR} = \frac{-(1 - \frac{r^2}{R^2})E}{(R + \frac{r^2}{R} + 2r)^2} \Rightarrow \frac{dP}{dR} = 0$$

$$1 - \frac{r^2}{R^2} = 0 \Rightarrow \boxed{R = r}$$

منابع:


1) D.Humphrey, Hydrostatics, P, 348
2) Frederick, Introduction to Physics, 1981, P.46
3) ARTHUR BEISER, The Foundations of Physics, P .95 _ Richard, Physics, 1989, P, 317
4) Raymond A, Serway, Physics, 1990. P. 767

# رهیافتی به ترمودینامیک

سخنرانی دکتر مجتبی جعفرپور
عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران در چهارمین کنفرانس آموزش فیزیک
ایران (مشهد ـ تیرماه ۱۳۷۴)

**دیدگاههای میکروسکپی و ماکروسکپی**

برای انجام مطالعات فیزیکی ناچاریم بخش معینی از ماده را برگزینیم، که این بخش معین را «دستگاه» و بقیهٔ جهان (عملاً بخشی از جهان که بر رفتار دستگاه تأثیر دارد) را «محیط» می نامیم. حدفاصل دستگاه و محیط «مرز» دستگاه نامیده می شود. گاهی مرز دستگاه همان سطح دستگاه است، مانند سطح یک قطرهٔ آب، اما معمولاً دستگاه به وسیلهٔ نوعی «دیوار» از محیط جدا می شود. دیوار و نوع آن در بررسی اندرکنشهای یک دستگاه با محیط از اهمیت زیادی برخوردار است. مثلاً دیوار «سخت» از تغییر حجم و شکل دستگاه جلوگیری می کند. به این معنی که، کارهای از نوع مکانیکی بر آن قابل انجام نیست. دیوارهایی که از اندرکنش گرمایی جلوگیری می کنند، دیوارهای «بی دررو» نام دارند. دیوار دررو یا رسانا اندرکنش های گرمایی را ممکن می سازد و دو دستگاهی که با دیوار دررو از هم جدا شده اند، گفته می شود که در «تماس گرمایی» هستند.

پس از انتخاب دستگاه، می توان یکی از دو دیدگاه میکروسکپی و یا ماکروسکپی را برای مطالعهٔ دستگاه برگزید. در دیدگاه میکروسکپی، تئوری اتمی و ملکولی ماده نقشی اساسی را بازی می کند. در این دیدگاه ماده از تعداد زیادی ملکول تشکیل گردیده است که می توانند بین حالات مختلفی از انرژی توزیع گردند. اندیشه های آماری در این دیدگاه مورد استفاده قرار می گیرند و محتمل ترین حالت دستگاه، حالت تعادل آن محسوب می گردد. از این دیدگاه میکروسکپی معمولاً تحت عنوان «مکانیک آماری» نام برده می شود.

در دیدگاه ماکروسکپی، چند ویژگی اساسی و قابل اندازه گیری دستگاه فیزیکی، مورد مطالعه قرار می گیرند. مثلاً حجم، فشار، دما و ترکیب گاز داخل یک ظرف، کمیتهایی هستند که مبنای مطالعهٔ آن گاز را تشکیل می دهند و به سهولت قابل اندازه گیری هستند. از این دیدگاه تحت عنوان «ترمودینامیک» و از کمیتهای مورد نیاز برای توصیف دستگاه، تحت عنوان مختصات «ترمودینامیکی» نام برده می شود.

برای بسیاری از اهداف علمی و عملی، تجزیه و تحلیل میکروسکپی دستگاه لازم نیست. می توان براساس قوانین ترمودینامیک، بدون اینکه نیازی به فرضیات میکروسکپی باشد، روابط ما بین کمیتهای ماکروسکپی را بدست آورد. عمومیت فراگیر دانش ترمودینامیک نتیجهٔ مستقیمی از حقیقت بالاست. چون ترمودینامیک به هیچ نظریهٔ

میکروسکپی وابسته نیست، تابع شیوه های نظریهٔ میکروسکپی نمی باشد و محدود به کاربردهای خاص نمی شود و درست به همین دلیل یک دانش بسیار مفید محسوب می گردد. در اغلب مواردی که فهم فرآیندهای بنیادی، پیچیده و یا غیرممکنند، ترمودینامیک جواب را ارائه می دهد. ترمودینامیک مانع از اشتباهات می شود، چون نتایجی که با ترمودینامیک سازگار نباشند، نادرست هستند اما شاید مهمتر از همهٔ اینها، کافی نیست که فیزیکدان فقط تئوریهای بنیادی و میکروسکپی را بیاموزد، بلکه می باید در ارتباط با چگونگی رفتار دستگاهها احساس و قضاوت معقولی داشته باشد و ترمودینامیک چهارچوبی فراگیر را فراهم می آورد، که در این زمینه بسیار راهگشاست. توصیف زیبای زیر از دانش ترمودینامیک، به قلم ر. استفن بری، خواندنی است:

«ترمودینامیک یک دانش شکوهمند است و فقط به خاطر اینکه تجربه ها را با اختصار تعمیم می دهد، در میان همهٔ خلاقیت های انسانی، یکتاست. ترمودینامیک یک دانش باب روز نیست، چون جهت فیزیک قرن بیستم به سوی تجزیه بوده است؛ یعنی تشریح و یا تفسیر در سطوح هر چه ریزتر. اما شیوهٔ دیگری برای مشاهدهٔ جهان طبیعی وجود دارد. این شیوه به کمک روابطی است که جهانی بودن آنها را باور داریم و ما بین کمیتهایی برقرارند که می توانیم مستقیماً آنها را مشاهده کنیم و یا از مشاهده پذیرهایی که جهان ماکروسکپی را توصیف می کنند، محاسبه نمائیم. کشف این روابط که آنها را قوانین علمی می نامیم، یک پیروزی بزرگ بصیرت انسانی است؛ حتی، برجسته تر از آن، اختراع اندیشه ها و متغیرهایی است که در آن روابط صدق می کنند. در اینجاست که راز و افسون ترمودینامیک قرار دارد.»

ترمودینامیک را می توان به مفهوم وسیع، دانشی توصیف کرد که در مورد فرآیندهایی به کار می رود که در آنها دما و گرما نقش اساسی را بازی می کنند. در ترمودینامیک، قوانین بنیادی به عنوان فرضیه های مبتنی بر تجربه پذیرفته می شوند، و بدون اینکه به ساز و کارمکانیکی پدیده ها توجه شود، نتایج فیزیکی از این قوانین استخراج می شوند. در حقیقت ترمودینامیک دارای یک ساختار منطقی زیباست که بدون استعانت از مکانیک کلاسیک، مکانیک کوانتومی، تئوری جنبشی و یا آمار و احتمالات، ارائه می گردد.

ترمودینامیک در خلال قرن نوزدهم به تکامل رسید. در این قرن، مکانیکی شدن گسترش یافت و برای این منظور، انواع ماشینها، ازجمله ماشینهای گرمایی، برای تبدیل انرژی گرمایی به انرژی مکانیکی ساخته شد. دانش ترمودینامیک از مطالعهٔ این ماشین ها سر برآورد و تا سال ۱۹۰۰ نه تنها به تکامل رسید، بلکه در بسیاری از رشته های علمی و نه فقط ماشینهای گرمایی، به کار گرفته شد.

دیدگاه گرمایی قانون اول ترمودینامیک، اول بار در سال ۱۸۲۴ به وسیلهٔ سعدی کارنو Sadi Carnot مطرح گردید و در سال ۱۸۳۴ امیل کلاپیرون Emile Clapeyron آن را تکمیل کرد. اما فهم کاملی از قانون اول ترمودینامیک و سرشت گرما تا این زمان وجود نداشت. در حقیقت، تئوری «کالریک»، تا نیمهٔ اول قرن نوزدهم، بر اندیشهٔ عموم غالب بود و حتی لردکلوین Lord Kelvin که بنیان گذار درجه بندی مطلق دما محسوب می گردد، تا آن زمان از این آسیب برکنار نمانده بود.

اعتقاد بر این است که بیان روشنی از قانون اول ترمودینامیک برای اولین بار در سال ۱۸۴۲ به وسیلهٔ ژولیاس روبرت میر Julius Robert Mayer ارائه گردید. در همان ایام، یعنی سال ۱۸۴۳، پرسکات ژول Prescott Joule، نتایج اندازه گیری دقیقی از معادل مکانیکی گرما را به چاپ رسانید.

شگفت آور است که علی رغم طرد نظریهٔ کالریک به وسیلهٔ کانت رامفورد Count Rumford در سال ۱۸۰۰، قانون اول ترمودینامیک مدتها بعد از قانون دوم تکمیل گردید. با اینحال، نوشته های کارنو که بعد از وفات او در سال ۱۸۷۸ به چاپ رسیده است، حاکی است که او قانون اول ترمودینامیک را در زمان حیاتش به طور کامل تشخیص داده بوده است.

دانش ترمودینامیک با مقالهٔ سال ۱۸۶۵ رادولف کلازیوس Rudolf Clausius که در آن اندیشهٔ «آنتروپی» را معرفی کرد، به اوج خود رسید.

قانون سوم ترمودینامیک، رفتار حدّی دستگاهها را در دماهای نزدیک صفر مطلق بررسی می کند و در سال ۱۹۰۷ در یک مقالهٔ علمی به وسیله نرنست Nernst معرفی گردید. با اینحال پس از ۳۰ سال مطالعات نظری و عملی، سرانجام به صورت نهائی مورد توافق عام فیزیکدانها قرار گرفت.

قانون صفرم ترمودینامیک حاکم بر رفتار تعادلی دستگاههاست و اهمیت آن برای اولین بار به وسیلهٔ

آر . اچ . فالر R.H.Fowler در سال ۱۹۳۱ تشخیص داده شد و با عنایت به اولویتی کـه برای آن در نظر گرفته شـد، ناچار «قانون صفرم» نامیده شد.

## دما و قانون صفرم ترمودینامیک

دستگاههای ترمـودینامیکی A و B را در اختـیار داریم. اینک دستگاه سوم C را با A در تماس گرمایی قرار می دهیم و فـرض می کنیم، هیچ تغـیـیـری در دسـتگاههـای A و C ملاحظه نگردد. سـپس دستگاه C را با دستگاه B در تماس گرمـایی قرار می دهیم و فـرض می کنیم کـه باز هم تغـیـیری مـشاهده نمی شـود. در این صـورت براساس یک حـقیـقت تجربی که بارها صـحت آن مورد آزمایش قرار گـرفته است، اگر دستگاههای B و A را در تماس گرمایی قرار دهیم، هیچ تغـیـیری ملاحظـه نخواهد شد. برمـبنای اینگونه آزمایشـها، قانون صفرم ترمودینامیک به صورت زیر بیان می گردد.

«اگر دو دستگاه هر کدام به تنـهایی با یک دستگاه سوم در تعادل گـرمایی باشند، خود آنهـا نیز با هم در تعادل گـرمایی هستند».

براساس این قانون، تمام دستگاههایی که با دستگاه C در تعادل گرمـایی هستند، خودشان نیز با هم در تعـادل گرمایی هستند و گفته می شود که همـهٔ آنها دمای مشترک دارند. البته این دمای مشـترک را می توان مقداری دلخواه انتـخاب کرد، امـا برای ایجاد یک نظـم علمی و ارتباط منطـقی بین مقـادیر گوناگـون دما از یک سـو و احساسـاتمان در مـورد سردی و گرمی از سوی دیگر، لازم است که شـیوهٔ مشخصی را برای ساختن دماسنج و تعیین دما انتخاب نماییم.

فرض کنیم دستگاه C مقداری مایع با فشار P و حجم V است، که در یـک ظرف قرار دارد. اگر فـشار مـایع را ثابت نگهداریم و فقط اجازه دهیم که حجم آن تغییر کند، می توانیم دما را به عنوان تابعی از حجم، که در این آزمایش «مختصات دماسنجی» نامـیده می شـود، در نظر بگیریم. طبـعاً این تابع اختیاری است، اما سـاده تر اینست که، تابع را خطی انتخاب کنیم، یعنی دما را متناسب با حجم فرض نماییم:

$$\theta = CV$$

بدین ترتیب یک دمـاسنج ساختـه ایم و با مشـخص کردن ضریب اختیاری C، یک درجه بندی دمای تجربی را به وجود آورده ایم. در حقـیقت با انتخاب یـک مختصـات دماسنجی X، و ثابت نگهداشتن بقـیه مختصات مـستقل، می توان هر دستگاه ترمودینامیکی را به عنوان یک دمـاسنج مورد استفاده قرار داد و از رابطهٔ زیر برای تعیین دما استفاده کرد.

$$\theta(X) = CX \qquad (1)$$

تعیین دلخواه ثابت C، یک درجه بندی تجربی را تعریف خواهد کرد.

آشکار است که می توان انواع دمـاسنجها را با مخـتصات دماسنجی گوناگون و با Cهای متفـاوت، برای اندازه گیری دما مورد استفاده قرار داد. اما متأسفانه حتی اگر دماسنجها از یک نوع هم باشند و در یک نقطهٔ مرجع هم دمـای مشترکی را نشان دهـند، دمای تجربی را یـکسان اندازه نمی گـیرند. در جستجوی حل این مشکل آشکار گـردید که دماسنجهایی که براساس رفتار گازها ساخته شده اند، هماهنگی بهتری دارند و اختلاف اندازه گیری دما در آنهـا ناچیز است و حتی بهتر از آن، در حد چگالیـهای خیلی پایین (حـد فشار صفـر)، تمام دماسنجهای گازی، صرفنظر از سـاختمان و نوع گاز، دمای یکسانی را برای یک جـسم معین اندازه می گیـرند. گاز را در چنین شـــرایطی یک گـاز ایده آل و درجـه بـندی حـاصل را «درجه بنـدی گاز ایده آل» می نامند. بدین ترتیب درجـه بندی گاز ایده آل مستقل از نوع دماسنج گازی و نوع گاز است.

در یک دماسنج گازی مثلاً از گاز هـلیوم استفاده می گردد و مختصات دماسنجی را یکی از دو مختصات P یا V انتخاب می کنند. مـثلاً در یک دمـاسنج با حجم ثابت، مـخـتـصات دماسنجی P است و حجم ثابت نگه داشـته می شود. در این صورت، دما متناسب با فشار، $\theta = CP$، فرض می گردد. اینک با تعیین C، درجه بندی گاز ایده آل حاصل می شود. تا قبل از سال ۱۹۵۴، ثابت C به روش زیر تعیـین می گردید. اختلاف دما در نقاط بخار آب و یخ ۱۰۰ درجه فرض می شد و با اندازه گیری فشـار دماسنج در نقاط یاد شده، $P_s$ و $P_i$، ثابت C به شیوهٔ زیر محاسبه و دماسنج مدرج می گردید.

$$C = \frac{\theta_s - \theta_i}{P_s - P_i} = \frac{100}{P_s - P_i}$$

$$\theta = CP = \frac{100}{P_s - P_i} \times P$$

در روش بالا برای تعیین C، نیاز به اندازه گیری فشار در دو نقطهٔ مرجع، یعنی نقاط یخ و بخار آب است. اما این نقاط تحت شرایط مـحیط قرار می گـیرند و به سـهولت تکرارپذیر نیـستـند و بنابراین دوبار مـوجب خطا در اندازه گـیری دمـا می شونـد. در سال ۱۹۵۴، در دهمـین کنفـرانس اوزان و

مقادیر، به منظور کاهش خطا، تصمیم گرفته شد که برای درجه‌بندی دمای گاز ایده‌آل، فقط از یک نقطهٔ مرجع استفاده شود. بدین معنی که به جای اینکه اختلاف دما در دو نقطهٔ مرجع معین گردد، مقدار دما در یک نقطهٔ مرجع مشخص شود. چون نقطهٔ سه گانهٔ آب (مخلوط آب، یخ و بخار در حال تعادل) در مقایسه با نقاط بخار آب و یا یخ از تکرارپذیری بهتری برخوردار است، به عنوان نقطهٔ مرجع انتخاب گردید. ضمناً مصلحت بر این بود که دمای نقطهٔ سه گانه، عددی انتخاب می شد که اختلاف دمای نقاط بخار آب و یخ، همان ۱۰۰ درجه باقی بماند؛ اندازه گیری نشان داد که این دما باید ۲۷۳/۱۶ درجه انتخاب گردد. بنابراین اگر فشار و دمای نقطهٔ سه گانه را به ترتیب با $P_t$ و $\theta_t = ۲۷۳/۱۶$ نشان دهیم، خواهیم داشت.

$$C = \frac{\theta_t}{P_t} \qquad \text{(فشار کم)}$$

$$\theta = CP = ۲۷۳/۱۶ \times \frac{P}{P_t} \qquad (۲) \quad \text{(فشار کم)}$$

بدین ترتیب درجه بندی گاز ایده‌آل تکمیل گردیده است. برای اندازه گیری هر دمایی کافی است فشار گاز دماسنج گازی را در آن دما اندازه بگیریم و سپس از رابطهٔ بالا دما را محاسبه کنیم.

اینک معادلهٔ حالت گازها در فشار پایین را مطالعه می کنیم. اگر حجم مولی گاز را $v = \frac{V}{n}$ فرض کنیم، از رابطهٔ (۲) داریم:

$$\theta = \frac{۲۷۳/۱۶}{(Pv)_t} \cdot \frac{PV}{n} = \frac{PV}{nR} \qquad \text{(فشار کم)}$$

که در آن کمیت R را به صورت زیر تعریف کرده ایم:

$$R = \frac{(Pv)_t}{۲۷۳/۱۶} \qquad \text{(فشار کم)}$$

البته R برای دماسنج مورد نظر مقدار ثابتی است. اما خاصیت قابل ملاحظهٔ گازها، که آنها را برای استفاده در دماسنجی مناسب می سازد، در این است که برای تمام آنها (در فشار کم)، مقدار کمیت R برابر است. به همین دلیل، R ثابت جهانی گازها نامیده می شود و برای تمام گازها در فشار کم می توانیم بنویسیم.

$$PV = nR\theta \qquad (۳) \quad \text{(همهٔ گازها در فشارکم)}$$

با الهام از بحث فوق، اینک گاز ایده‌آل را گازی تعریف می کنیم که در همهٔ دماها و فشارها از رابطهٔ بالا، که معادلهٔ حالت گاز ایده‌آل نامیده می شود، پیروی می کند.

$$PV = nR\theta \qquad (۴) \quad \text{(برای گاز ایده‌آل در همهٔ دماها و فشارها)}$$

به منظور تأکید براین حقیقت که گازها فقط در فشار کم مانند گاز ایده‌آل عمل می کنند، آنها را گاز حقیقی می نامیم. بنابراین هر گاز حقیقی در فشار کم یک گاز ایده‌آل است.

آنچه معادلهٔ حالت گاز کامل را جالب و مفید می سازد اینست که اولاً برحسب دمای گاز ایده‌آل بیان گردیده است و ثانیاً دما به صورت بسیار ساده (توان اول) در آن ظاهر شده است. بدین معنی که در فشار ثابت، دمای گاز ایده‌آل با حجم آن و در حجم ثابت، دمای گاز ایده‌آل با فشار آن متناسب است. بر همین مبناست که دماسنجهای گازی در فشار ثابت و یا در حجم ثابت کار می کنند و دما را در درجه بندی دمای گاز ایده‌آل، اندازه می گیرند.

به نظر می رسد که درجه بندی دمای گاز ایده‌آل، براساس شیوهٔ تعریف، به خواص گازها وابسته است. در این صورت آیا تعریف یک درجه بندی مطلق دما، که به خواص هیچ ماده ای بستگی نداشته باشد، امکان پذیر است؟ خوشبختانه جواب این پرسش مثبت است. هنگام مطالعهٔ قانون دوم ترمودینامیک، یک درجهٔ بندی مطلق دما، $T$، را که به خواص هیچ ماده ای وابسته نیست، براساس خواص ماشین کارنو معرفی می کنیم. اما در آنجا خواهیم دید که درجه بندی مطلق تعریف شده با دمای گاز ایده‌آل کاملاً تطبیق می کند و بنابراین از هم اکنون دمای گاز ایده‌آل را دمای مطلق (یا کلوین) می نامیم و با علامت K نشان می دهیم. مثلاً دمای نقطهٔ سه گانهٔ آب در درجه بندی مطلق $۲۷۳/۱۶\ K$ و از آن یخ و بخار به ترتیب برابر $۲۷۳/۱۵\ K$ و $۳۷۳/۱۵\ K$ است. برای اینکه صفر درجه بندی دما به گسترهٔ دماهای مورد نیاز روزانه منتقل گردد، دمای سلسیوس به شکل زیر برحسب دمای مطلق تعریف گردیده است.

$$t = T - ۲۷۳/۱۵ \qquad (۵)$$

برای مثال، دمای نقطهٔ یخ در درجه بندی سلسیوس $۰^\circ C$ و از آن بخار $۱۰۰^\circ C$ است. چنانچه ملاحظه می شود فقط صفر سلسیوس نسبت به صفر مطلق جابه جا شده است و اندازهٔ درجات آنها یکسان است.

آیا بررسیهای فوق ما را به این نتیجه می رساند که باید انواع دیگر دماسنجها را، به دلیل اینکه منجر به نتایج هماهنگ نمی شوند دور بریزیم و فقط از دماسنج گازی استفاده کنیم؟ البته جواب منفی است. کارکردن با دماسنجهای گازی کار آسانی نیست و اندازه گیری دقیق دما با این دماسنجها به مهارت، امکانات آزمایشگاهی و زمان کافی

نیاز دارد و بنابراین فقط در مؤسسات استاندارد و یا تحقیقاتی انجام می شود. اما می توان براساس این دماسنجها انواع دیگر دماسنجها مانند دماسنج مقاومتی و یا جیوه ای را درجه بندی کرد. بنابراین دماسنج جیوه ای که شما در منزل و یا آزمایشگاه مورد استفاده قرار می دهید، با چند مقایسه و اندازه گیری واسطه، براساس یک دماسنج گازی موجود در یکی از آزمایشگاههای استاندارد جهان، درجه بندی گردیده است. طبعاً این دماسنجهای ثانویه، بسته به نوع و نحوهٔ ساختمان، در مقایسهٔ با دماسنجهای گازی اولیه، از دقت کمتری برخوردارند.

## کار، گرما و قانون اول ترمودینامیک

اگر مختصات یک دستگاه ترمودینامیکی خود بخود و یا تحت تأثیر عوامل محیطی تغییر کند، گفته می شود که دستگاه «تغییر حالت» داده است (در اینجا منظور از یک تغییر حالت، یک تغییر فاز مانند ذوب یخ نیست). اگر دستگاه تحت تأثیر عوامل بیرونی نباشد، آنرا «منزوی» می نامند. البته دستگاههای منزوی چندان کاربرد عملی در ترمودینامیک ندارند؛ اغلب، تغییر حالت تحت تأثیر عوامل بیرونی اتفاق می افتد.

اصولاً یک دستگاه ترمودینامیکی هنگامی دستخوش تحول می شود که از «تعادل ترمودینامیکی» خارج گردد. تعادل ترمودینامیکی در یک دستگاه مستلزم وجود تعادلهای مکانیکی، شیمیایی و حرارتی در آن دستگاه است. اگر نیروی خنثی نشده بین بخشهای یک دستگاه و یا بین دستگاه و محیط وجود نداشته باشد، دستگاه در حال تعادل مکانیکی است. عدم وجود واکنش های شیمیایی، پخش و عمل حل شدن، در دستگاهی که در حال تعادل مکانیکی است، موجب می شود که دستگاه در حال تعادل شیمیایی باشد. اگر دستگاهی در حال تعادل مکانیکی و شیمیایی باشد و دما در تمام نقاط دستگاه و محیطی که با آن در تماس گرمایی است، یکسان باشد، دستگاه در حال تعادل گرمایی نیز خواهد بود. اگر شرایط لازم برای حصول این سه تعادل فراهم باشد، گفته می شود که دستگاه در حال تعادل ترمودینامیکی است و بنابراین هیچگونه تغییری در دستگاه و یا محیط اطراف روی نخواهد داد. در این شرایط، مختصات دستگاه ثابت و سرتاسر یکسان است و بنابراین می توان حالت تعادل را با مختصات ثابت، و مستقل از زمان، یعنی مختصات ترمودینامیکی، توصیف کرد. در «ترمودینامیک کلاسیک» که مورد بحث ماست، با نرخ تحولات دستگاهها کاری نداریم و هر وقت از حالت تعادل صحبت می کنیم، هر اندازه لازم باشد، برای حصول تعادل منتظر می مانیم.

برای مثال، جرم معینی از یک گاز را که اندرون یک ظرف قرار دارد، به عنوان یک دستگاه ترمودینامیکی در نظر می گیریم و فرض می کنیم ابزارهای لازم، برای اندازه گیری حجم، فشار و دمای گاز تعبیه گردیده است. پدیدهٔ جالب زیر را در مورد این گاز ملاحظه می کنیم. اگر حجم و فشار گاز را مقادیر دلخواهی اختیار کنیم، خواهیم یافت که در مورد انتخاب دما اختیاری نداریم و دما فقط مقدار معینی را می تواند داشته باشد. به همین ترتیب با انتخاب دلخواه حجم و دما، فشار فقط مقدار معینی را خواهد داشت و انتخابی نخواهد بود. این مشاهدات می رسانند که فقط دو مختصات از سه مختصات P، V و T مستقل هستند و یا به بیان دیگر یک معادله، $f(T,P,V)=0$، که معادلهٔ حالت دستگاه نامیده می شود، این سه مختصات را مربوط می سازد. لازم به یادآوری است که فقط در شرایط تعادل می توان مختصات ترمودینامیکی را برای کل دستگاه تعریف کرد و بنابراین فقط در شرایط تعادل معادلهٔ حالت برای یک دستگاه قابل تعریف است. معادلهٔ حالت را می توان براساس نظریه های میکروسکپی بدست آورد، اما در ترمودینامیک به عنوان یک واقعیت تجربی پذیرفته می شود. طبعاً یک معادلهٔ حالت در تمام گستره های مختصات ترمودینامیکی صادق نیست. هر معادلهٔ حالت فقط در گستره هایی از مختصات ترمودینامیکی، که درستی معادله در آنها مورد تأیید قرار گرفته، صادق است.

دستگاه فوق، نمونه ای از دستگاههای ترمودینامیکی ساده است که با سه مختصات (دو مختصات مستقل) توصیف می گردند. یک سیم کشیده با مختصات ترمودینامیکی کشش، طول و دما، نمونه ای دیگر از یک دستگاه ترمودینامیکی ساده است. یک نمک پارامغناطیس نمونه ای از یک دستگاه ترمودینامیکی مرکب است و بیش از سه مختصات برای توصیف آن به کار می رود.

برای مطالعهٔ اصول ترمودینامیک آسانتر است که دستگاههای هیدروستاتیک را مورد مطالعه قرار دهیم. یک دستگاه هیدروستاتیک دستگاهی است با جرم ثابت که در غیاب میدانهای جاذبه، مغناطیسی، الکتریکی و اثرات کشش

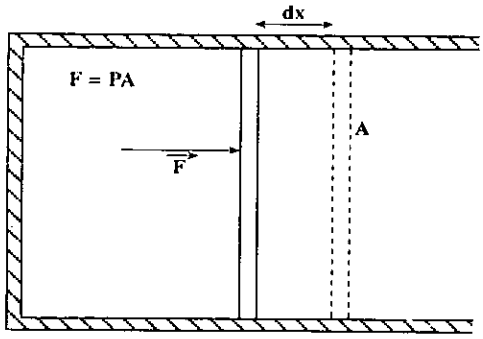
سطحی، یک فشار یکنواخت را به محیط اطراف وارد می‌کند. در مثال بالا، گاز داخل محفظه، مثالی از یک دستگاه هیدروستاتیک است. جامد خالص، مایع خالص، مخلوط خالص، مخلوط گازها، مخلوط مایعات و امثال آنها، نمونه‌های دیگری از دستگاههای هیدروستاتیک هستند. براساس تجربه دریافته‌ایم که دستگاههای هیدروستاتیک را می‌توان با متغیرهای ترمودینامیکی P، V و T توصیف کرد.

اینک به بررسی مفهوم کار می‌پردازیم. اگر دستگاهی تحت تأثیر یک نیرو تغییر مکان دهد، کار انجام می‌شود و کار انجام شده برابر حاصلضرب نیرو در مؤلفهٔ تغییر مکان در امتداد نیروست. مثلاً در جابجایی جرم m از سطح زمین تا ارتفاع h، دست مقدار نیروی mg را به سوی بالا بر سنگ وارد می‌کند، کار mgh را انجام می‌دهد و انرژی مکانیکی سنگ را به همین اندازه افزایش می‌دهد. تأکید بر یک نکته در این آزمایش مفید است؛ نیرویی که دست بر سنگ وارد می‌کند، درست با نیروی جاذبه برابر (در عمل فقط مقدار بسیار کوچکی بزرگتر) و در خلاف جهت آن است. در این صورت سنگ به آهستگی به سوی بالا جابه جا خواهد شد. برعکس اگر نیروی وارد بر سنگ فقط مقدار بسیار ناچیزی از نیروی جاذبه کمتر باشد، سنگ به آهستگی در جهت عکس جابجا می‌شود.

در ترمودینامیک، کار انجام شده به وسیلهٔ کل یک دستگاه بر محیط و یا بردستگاه دیگر مورد توجه قرار دارد. مثلاً اگر کل دستگاه نیرویی را بر محیط وارد سازد و موجب جابجایی شود، گفته می‌شود که کار انجام گردیده است. برای مثال، استوانهٔ محتوی گازی را که به یک پیستون، با سطح مقطع A مجهز است، مطابق شکل (۱) در نظر می‌گیریم. فرض کنید فشار درون استوانه به اندازهٔ بسیار کوچکی از فشار محیط بیشتر باشد. در این صورت پیستون به سمت بیرون حرکت می‌کند و کار انجام می‌شود. مقدار کار کوچک انجام شده، در یک جابجایی کوچک dx پیستون، dW، برابر با $Fdx = PAdx = PdV$ است. اگر قرارداد کنیم که وقتی انجام کار موجب افزایش انرژی دستگاه می‌شود آنرا مثبت و وقتی موجب کاهش انرژی دستگاه می‌شود آنرا منفی در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$dW = -PdV$$

که در آن، dV هنگامی مثبت است که حجم افزایش می‌یابد.



شکل ۱

در صورتی که فشار درون از فشار بیرون به میزان بسیار کمی کمتر باشد، پیستون به آهستگی به سوی داخل حرکت می‌کند و کار انجام شده از همان رابطهٔ (۱) بدست می‌آید. معذالک در این مورد dV منفی است و کار انجام شده مثبت خواهد شد، یعنی موجب افزایش انرژی دستگاه گردیده است.

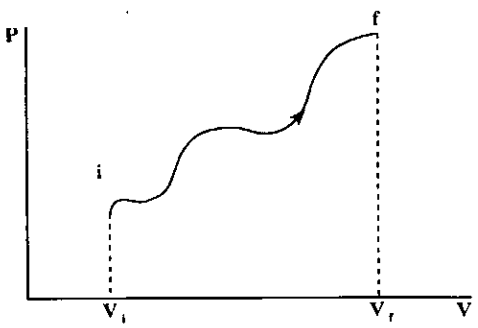
در این آزمایش، توجه به دو نکته ضرورت دارد. اولاً، با اینکه بخشهای درونی دستگاه (گاز) بر هم نیرو وارد می‌سازند و کار انجام می‌دهند، اما این نوع کار که کاردرونی نامیده می‌شود، مورد توجه ما نیست. کار مورد توجه ما فقط کار خارجی است که ناشی از نیروی وارده از کل دستگاه بر محیط است. دوماً انجام کار با تغییر شکل و حجم دستگاه همراه است، یعنی درنتیجهٔ انجام کار، دستگاه از یک حالت به حالت دیگر تغییر یافته است.

اینک به محاسبهٔ کار، در یک تحول متناهی که در آن دستگاه از حالت تعادل اولیه با حجم $V_i$ به حالت تعادل نهائی با حجم $V_f$ می‌رسد، می‌پردازیم. فرض می‌کنیم که تحول «ایستاوار» است. یعنی در طول تحول نیروهای نامتعادل بر دستگاه وارد نمی‌شود و تحول چنان به آهستگی انجام می‌شود که در هر مرحله از تحول، دستگاه به یک حالت تعادل ترمودینامیکی بسیار نزدیک است. در چنین تحولی اندازه گیری و تعیین مختصات ترمودینامیکی دستگاه امکان پذیر است و معادلهٔ حالت دستگاه نیز صادق است. بنابراین رسم تحول در یک نمودار PV مطابق شکل (۲) امکان پذیر است و کار انجام شده در این تحول متناهی چنین خواهد بود.

$$W = -\int_{V_i}^{V_f} PdV \qquad (۷)$$

آشکار است که کار انجام شده در تغییر حجم از $V_i$ به $V_f$ برابر مساحت زیر منحنی در نمودار PV (با علامت منها) در فاصلهٔ $V_i$ و $V_f$ می‌باشد.

نکتهٔ جالبی را در ارتباط با کار انجام شده ملاحظه



شکل ۲

می‌کنیم. اگر متغیرهای P و V را در این دستگاه هیدروستاتیک به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب کنیم، به ازاء هر انتخاب V، هر انتخابی از P کاملاً اختیاری است. به بیان دیگر، برای رفتن از حالت اولیه با فشار و حجم معین $P_i$ و $V_i$ به حالت نهائی با فشار و حجم معین $P_f$ و $V_f$، هر مسیری را می‌توان در نمودار PV طی کرد و کار انجام شده که مساحت زیر منحنی است، در هر مسیر با مسیر دیگر متفاوت است. نتیجهٔ مهم این مشاهده اینست که کار انجام شده در یک دستگاه ترمودینامیکی به مسیر تحول وابسته است و فقط تابع حالات ابتدائی و انتهائی نیست. معنای دیگر این موضوع اینست که به هر حالت دستگاه (با P، V و T معین) نمی‌توان کاری را نسبت داد و یا کار درون یک دستگاه بی‌معنی است و یا کار به عنوان تابعی از مختصات ترمودینامیکی قابل توصیف نیست. بدیهی است اگر کار تابعی از مختصات ترمودینامیکی دستگاه و یا تابع حالت می‌بود، کار انجام شده در یک تحول فقط به اختلاف مقدار آن در نقاط انتهائی و ابتدائی بستگی می‌داشت و به مسیر تحول وابسته نمی‌بود. این واقعیت موجب می‌شود که $dW = -PdV$ نیز فقط یک کار کوچک را نشان دهد و خواص یک دیفرانسیل واقعی را نداشته باشد. به همین دلیل dW را با $đW$ نشان می‌دهیم و آن را دیفرانسیل غیرکامل می‌نامیم.

همانطوری که ملاحظه کردیم، می‌توان با انجام کار تحولی را در یک دستگاه ترمودینامیکی ایجاد کرد. اما این تنها روش ایجاد تحول در یک دستگاه نیست. برای مثال، مقداری آب را در یک استوانهٔ رسانا می‌ریزیم و درب آن را محکم می‌کنیم و روی شعله قرار می‌دهیم. پس از مدتی آب به بخار تبدیل می‌شود و بنابراین تحول ایجاد گردیده است و دستگاه از حالت اولیه به حالت نهائی تغییر حالت داده است. با اینحال در تحول فوق، مبادلهٔ کار با خارج انجام نگرفته است (حجم را ثابت فرض می‌کنیم). در این آزمایش اختلاف دمای دستگاه و محیط موجب انجام تحول در دستگاه گردیده است و ازجملهٔ این تحولات افزایش دمای دستگاه می‌باشد.

تحولاتی که در اثر اختلاف دما انجام می‌شوند از دیرباز در دانش کالریمتری مورد مطالعه قرار می‌گرفته‌اند. تا اوائل قرن نوزدهم، توجیه این بود که سیالی به نام «کالریک» یا گرما در همهٔ اجسام وجود دارد. جسم گرم مقدار بیشتری از گرما و جسم سرد مقدار کمتری از آن را دارد. در اثر مجاورت جسم گرم و سرد، مقداری گرما از جسم گرم به جسم سرد منتقل می‌گردد، ضمناً کل گرما ثابت است. اما مطالعات کانت رامفورد که در آغاز قرن نوزدهم بر روی لوله‌های توپ در حال تراش انجام گرفت، نظریهٔ کالریک را به زیر سؤال برد. با مطالعات بعدی که به وسیلهٔ ج. ر. میر در سال ۱۸۴۲ انجام شد، تقریباً این اندیشهٔ درست و نهائی در مورد گرما حاصل شد که گرما نوعی از انرژی است و از جسم گرم به جسم سرد منتقل می‌گردد، اما رفتار سیال گونه ندارد، یعنی از گرمای داخل یک جسم نمی‌توان صحبت کرد و ثابت بودن مقدار گرما نیز بی‌معنی است. بدین ترتیب اینک ما می‌توانیم تعریف مناسب زیر را برای گرما ارائه نماییم.

«گرما عبارت است از نوعی از انرژی که بین یک دستگاه و محیط مجاور آن فقط در اثر اختلاف دما منتقل می‌گردد.»

گرمای مبادله شده در یک فرآیند ترمودینامیکی، Q، همانند کار مبادله شده در چنین تحولی، به مسیر فرآیند بستگی دارد. یعنی گرما تابع مختصات ترمودینامیکی دستگاه نیست و برای تأکید براین حقیقت، مقدار کوچک گرما را با $đQ$، که به مفهوم یک دیفرانسیل غیرکامل است، نشان می‌دهیم.

بدین ترتیب، با مبادلهٔ کار و یا گرما می‌توان تحولی را در یک دستگاه ترمودینامیکی ایجاد کرد. اگر دیوار دستگاه بی‌دررو باشد، فقط امکان مبادلهٔ کار وجود دارد و اگر دیوار سخت و رسانا باشد، فقط گرما مبادله می‌شود. با اینحال در اکثر موارد عملی، دیوار چنان است که کار و گرما هر دو مبادله می‌شوند و بنابراین در محاسبات تغییرات انرژی دستگاه، هر دو سهیم هستند. اگر تغییرات انرژی دستگاه، در یک تحول از حالت اولیه به حالت نهائی را با $\Delta U$ و کار و گرمای مبادله شده در این تحول را به ترتیب با W و Q نشان دهیم، براساس اصل بقاء انرژی باید داشته باشیم،

$$\Delta U = Q + W \qquad (۸)$$

که در آن $\Delta U$ وقتی مثبت است که انرژی دستگاه افزایش یابد و $Q$ و $W$ وقتی مثبت هستند که موجب افزایش انرژی دستگاه گردند.

بطوری که ملاحظه کردیم، در انتقال دستگاه از حالت اولیه (i) به حالت نهائی (f)، کار انجام شده (W) و گرمای مبادله شده (Q) به مسیر تحول بستگی دارند. در این صورت شاید انتظار منطقی خواننده این باشد که $\Delta U = Q + W$ نیز به مسیر تحول بستگی داشته باشد. در حقیقت بررسیهای ما در این بحث تاکنون دلیلی را برخلاف این انتظار ارائه نکرده است. با اینحال، بر اساس یکی از جنبه های مهم قانون اول ترمودینامیک، که ما به عنوان یک واقعیت تجربی می پذیریم، $\Delta U$ فقط تابع حالات ابتدایی و انتهائی است و به مسیر تحول وابسته نیست. به عبارت دیگر، با اینکه مسیرهای متفاوتی i و f را مربوط می سازند و مقادیر Q و W در این مسیرها متفاوتند، اما همیشه چنان تبانی می کنند که در نهایت جمع آنها، $\Delta U$، مستقل از مسیر باشد. این حقیقت می رساند که می توان تابع انرژی دستگاه، U، را تعریف کرد که یک تابع واقعی از مختصات ترمودینامیکی دستگاه است و تغییرات آن در یک تحول فقط به مقادیر اولیه و نهائی دستگاه بستگی دارد. برای مثال در یک دستگاه هیدروستاتیک، انرژی داخلی را می توان به عنوان یک تابع واقعی از متغیرهای P و V یا P و T یا V و T توصیف کرد. بنابراین، می نویسیم:

$$\Delta U = U_f - U_i = Q + W \qquad (۹)$$

بدین معنی که به همان اندازه که یکی گرما از دست داده است دیگری گرما را بدست آورده است. نتیجه ای که مبنای اغلب محاسبات کالریمتری است.

اینک پرسش زیر را مطرح می سازیم. اگر گرمای بسیار کوچک $đQ$ به یک دستگاه ترمودینامیکی منتقل شود، تغییرات بسیار کوچک دمای آن، $dT$ چه اندازه است؟ شاید موجب شگفتی شما گردد، اما پاسخ معینی برای این پرسش وجود ندارد. حقیقت اینست که گرمای مبادله شده در یک تحول به مسیر آن وابسته است و بنابراین می توانیم مسیرهای بی شماری را در نظر بگیریم که همه از حالت اولیهٔ یکسان آغاز می شوند و گرمای مبادله شده در آنها نیز یکسان است، اما تغییرات دما در آنها متفاوت است. اما فرض کنید در طول انتقال گرمای $đQ$، مسیر تحول معین باشد، در اینصورت حالت انتهائی دستگاه و مختصات ترمودینامیکی آن، از جمله دما مشخص خواهد بود. در این شرایط $dT$ مشخص و یکتاست. برای مثال، اگر در یک دستگاه هیدروستاتیک، در طول تحول انتقال گرما، فشار را ثابت نگه داریم، مسیر تحول و تغییرات دما، $dT$، معین خواهد بود. اینک نسبت دو کمیت معین $đQ$ و $dT$ در شرایط یاد شده را، ظرفیت گرمایی در فشار ثابت برای دستگاه می نامیم و می نویسیم:

$$C_p = \left(\frac{đQ}{dT}\right)_p \qquad (۱۲)$$

که در آن، نماد p تأکید می کند که مبادلهٔ گرما در شرایط فشار ثابت انجام گرفته است. به همین ترتیب ظرفیت گرمایی در حجم ثابت را برای یک دستگاه هیدروستاتیک به شیوهٔ زیر تعریف می کنیم:

$$C_v = \left(\frac{đQ}{dT}\right)_v \qquad (۱۳)$$

ظرفیت های گرمایی برحسب واحد انرژی بر درجه توصیف می شوند. در دستگاه بین المللی از واحد ژول بر کلوین استفاده می شود. تصادفاً چون اندازهٔ واحدهای مطلق و سلسیوس برابرند، مقدار ظرفیت گرمایی بر حسب ژول بر کلوین و ژول بر درجهٔ سلسیوس یکسان است. البته از واحدهای دیگر مانند کالری بر کلوین نیز می توان استفاده کرد. با اینحال اصولاً اصرار بر استفاده از واحد کالری برای تعیین میزان گرما ضرورتی ندارد. چون یکی از اهداف قانون اول ترمودینامیک تأکید بر یکی بودن کار و گرماست و چه بهتر که با انتخاب واحد یکسان برای آنها، دریافت مفاهیم را آسانتر سازیم. در حقیقت تأکید می کنیم که کالری یک واحد انرژی است مانند ژول یا ارگ، نه کمتر و نه بیشتر.

گرمای ویژهٔ مُولی در حجم ثابت را برای یک دستگاه که شامل n مول از مادهٔ مورد نظر است، به شکل زیر تعریف می کنیم:

$$C_{vn} = \frac{C_v}{n} \qquad (۱۴)$$

که برحسب واحد «ژول بر کلوین بر مول» بیان می گردد. اگر جرم دستگاه m باشد، گرمای ویژهٔ جرمی در حجم ثابت آن که معمولاً فقط گرمای ویژه در حجم ثابت نامیده می شود و برحسب واحد ژول بر کلوین بر کیلوگرم بیان می شود، به شکل زیر تعریف می گردد:

$$C_{vm} = \frac{C_v}{m} \qquad (۱۵)$$

گرمای ویژه در فشار ثابت و گرمای ویژهٔ مُولی در فشار ثابت را نیز می توان به شیوهٔ مشابهی تعریف کرد.

اصولاً ظرفیتهای گرمایی، تابع مختصات ترمودینامیکی دستگاه هستند. مثلاً در یک دستگاه هیدروستاتیک، $C_p$ تابع دو مختصات مستقل از سه مختصات P، V و T است. بنابراین برای هر حالت دستگاه یک $C_p$ وجود دارد که الزاماً با مقدار $C_p$ برای حالت دیگر یکسان نیست. علاوه بر این مقدار $C_p$ و $C_v$ نیز در یک حالت دستگاه الزاماً برابر نیستند. البته در عمل ممکن است تغییرات $C_p$ و یا $C_v$ از یک حالت به حالت دیگر ناچیز باشد و یا مثلاً تابع تغییرات فشار نباشد و فقط تابع تغییرات دما باشد و یا اینکه اصولاً مقادیر $C_p$ و $C_v$ اختلاف ناچیزی با هم داشته باشند. برای مثال، بلور نمک طعام را در نظر می گیریم. ظرفیتهای گرمایی آن تابع فشار نیستند و تابع دما هستند. علاوه براین ظرفیتهای گرمایی در فشار ثابت و در حجم ثابت آن، در دماهای خیلی پایین برابرند، در حالیکه با افزایش دما از هم دور می شوند. این تغییرات را در جدول (۱) ملاحظه می کنید.

یک مشاهدهٔ تجربی جالب اینست که ظرفیتهای گرمایی با کاهش دما، به سمت صفر میل می کنند و در دماهای پایین با هم برابرند. با افزایش دما، $C_p$ به افزایش خود ادامه می دهد، اما $C_v$ (و البته $C_{vn}$ و $C_{vm}$) تقریباً به سمت مقدار ثابتی میل می کند. در واقع $C_{vn}$ برای بلورهای تک اتمی مانند الماس ۳R و برای دو اتمی مانند نمک طعام ۶R است. از این موضوع تحت عنوان قانون دولن و پتی (Dulong @ Petit) نام برده می شود.

آب چهار درجهٔ سلسیوس دو خاصیت جالب دارد. اولاً کمترین حجم و یا بیشترین چگالی را دارد و ثانیاً گرمای ویژه در حجم ثابت و در فشار ثابت آن برابرند. در دیگر دماها ظرفیت گرمایی در فشار ثابت آن، بسیار اندک از ظرفیت گرمایی در حجم ثابت بیشتر است. اما این اختلاف کوچک معمولاً نادیده گرفته می شود. به همین دلیل است که وقتی از گرمای ویژهٔ آب صحبت می شود، معمولاً شرایط «در فشار ثابت» و یا «در حجم ثابت» بیان نمی گردد. در جدول (۲) تغییرات گرمای ویژه در فشار ثابت آب را (که عملاً با گرمای ویژهٔ در حجم ثابت آن برابر فرض می شود) برحسب دما ملاحظه می کنیم. این گرمای ویژه، حداقل در فشارهای معمولی، تابع فشار نیست.

## ماشینهای گرمایی و قانون دوم ترمودینامیک

اصل بقاء انرژی، بخش مهمی از محتوای قانون اول ترمودینامیک است و هر فرآیندی که با این قانون سازگار نباشد، ممنوع است. اما الزاماً تمام فرآیندهایی که با قانون اول ترمودینامیک هماهنگند، امکان پذیر نیستند. مثلاً از لحاظ قانون اول ترمودینامیک بلامانع است که یک لیوان چای گرم، گرمتر و هوای اطراف آن، سردتر شود. اما هرگز مشاهده نشده است که این فرآیند خود به خود انجام شود. تجربه نشان می دهد که فرآیند یاد شده فقط در جهت وارونه به صورت خود به خود می تواند انجام گیرد. بدین معنی که دمای لیوان چای و هوای اطراف به سمت مقدار مشترکی میل می کنند و تعادل گرمایی برقرار می گردد. بنابراین یک «برگشت ناپذیری طبیعت» یا «جهت طبیعی تغییرات» وجود دارد که در فرآیندهای گرمایی می باید مورد توجه قرار گیرد. بیان این برگشت ناپذیری یکی از اهداف قانون دوم ترمودینامیک است.

هدف دوم قانون دوم ترمودینامیک، بیان محدودیتهایی است که اساساً در میزان بهرهٔ تبدیل گرما به کار وجود دارد. با اینکه قانون اول ترمودینامیک، یکسان بودن کار و گرما را به عنوان شکلهایی از انرژی مورد تأکید قرار می دهد، اما در مورد نحوهٔ تبدیل یکی به دیگری، ساکت است. در واقع با اینکه می دانیم که تبدیل کار به گرما، با استفاده از یک ابزار مناسب مانند پرهٔ چرخان در یک مایع یا یک مقاومت

جدول ۱ ـ تغییرات ظرفیتهای گرمایی بلور نمک طعام با دما. دما برحسب کلوین و ظرفیتها برحسب ژول بر مول بر کلوین داده شده اند.

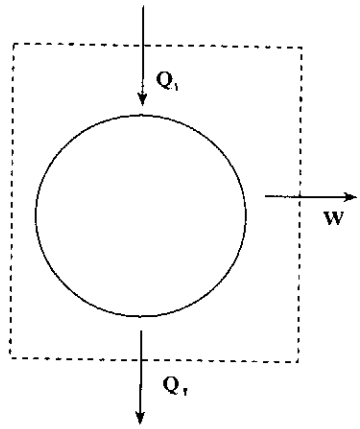
| T | ۱۰ | ۳۰ | ۵۰ | ۷۰ | ۹۰ | ۱۵۰ | ۲۵۰ | ۲۹۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{pn}$ | ۰/۱۵۱ | ۴/۷۶ | ۱۵/۷ | ۲۵/۵ | ۳۲/۳ | ۴۳/۳ | ۴۸/۶ | ۴۹/۲ |
| $C_{vn}$ | ۰/۱۵۱ | ۴/۷۶ | ۱۵/۷ | ۲۵/۳ | ۳۲/۰ | ۴۲/۴ | ۴۶/۶ | ۴۶/۷ |

جدول ۲ ـ تغییرات گرمای ویژه آب برحسب دما. دما برحسب درجه سلسیوس و گرمای ویژه برحسب ژول بر گرم بر درجه داده شده است.

| دما | ۰ | ۲۰ | ۴۰ | ۶۰ | ۸۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_{pm}$ | ۴/۲۱۷۷ | ۴/۱۸۱۹ | ۴/۱۷۸۶ | ۴/۱۸۴۴ | ۴/۱۹۶۴ | ۴/۲۱۶۰ |

الکتریکی، به سهولت و با بهرهٔ کامل امکان‌پذیر است، اما از بهرهٔ تبدیل گرما به کار تاکنون بحثی نکرده‌ایم. این موضوع حائز اهمیت علمی بسیار است و بررسی آن، وظیفهٔ دیگر دانش ترمودینامیک را تشکیل می‌دهد.

یک ماشین گرمایی، که برای تبدیل گرما به کار مورد استفاده قرار می‌گیرد را در شکل (۳) به صورت طرحوار ملاحظه می‌کنیم. در ماشین گرمایی یک دستگاه ترمودینامیکی به نام «مادهٔ کار» و ساز و کاری جهت اجراء چرخه برروی دستگاه وجود دارد. مجموعهٔ ماشین، دستگاه و ساز و کار انجام چرخه، یک ماشین گرمایی را تشکیل می‌دهند. در یک فرآیند چرخه‌ای چون دستگاه پس از پایان چرخه به حالت آغازین باز می‌گردد، براساس قانون اول ترمودینامیک، تغییرات انرژی داخلی صفر است. در اینصورت در هر چرخهٔ ماشین، گرمای خالص دریافت شده




شکل ۳
ماشین گرمایی

به کار تبدیل می‌گردد. بنابراین اگر مقادیر گرمای دریافتی، پس داده شده و کار انجام شده در یک چرخه را به ترتیب با $Q_1$ ، $Q_2$ و $W$ نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$W = Q_1 - Q_2$$

بهرهٔ ماشین، $\eta$ ، را نسبت کار انجام شده به گرمای دریافت شده، تعریف می‌کنیم و بنابراین خواهیم داشت:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \qquad (۱۶)$$

اینک آماده‌ایم تا قانون دوم ترمودینامیک را معرفی کنیم. دو بیان مهم از قانون اول ترمودینامیک وجود دارد. بیان کلوین بر میزان بهرهٔ ماشینهای گرمایی تأکید دارد و به صورت زیر بیان می‌شود.

«فرآیندی وجود ندارد که تنها نتیجهٔ آن تبدیل کامل گرما به کار باشد.»

بیان کلازیوس، برگشت‌ناپذیری طبیعت را مورد توجه قرار می‌دهد و به شکل زیر ارائه می‌گردد.

«فرآیندی وجود ندارد که تنها نتیجهٔ آن انتقال گرما از یک جسم سرد به یک جسم گرم باشد.»

طبق بیان کلوین بهرهٔ صددرصد در تبدیل گرما به کار امکان‌پذیر نیست. یعنی $Q_2 \neq 0$ و یا $\eta < 1$ است. بدین معنی که فقط با استفاده از انرژی داخلی یک چشمه انجام مداوم کار امکان‌پذیر نیست. فرض کنید، امکان‌پذیر می‌بود که فقط با استفاده از انرژی داخلی آب دریا، با اجرای چرخه‌های پی‌درپی، یک ماشین گرمایی را به کار انداخت و با دریافت گرما از آب دریا، با بهرهٔ صددرصد، کار تولید نمود. چون انرژی داخلی آب دریا عملاً زیاد است، پس چنین ماشینی می‌توانست به طور مداوم کار و حرکت تولید کند. البته این کار براساس بیان کلوین امکان‌پذیر نیست و به همین دلیل قانون دوم ترمودینامیک گاهی به صورت زیر نیز بیان می‌گردد.

«حرکت دائمی نوع دوم امکان‌پذیر نیست.»

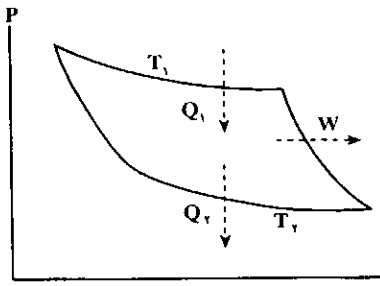
تصادفاً قانون اول ترمودینامیک را نیز می‌توان به شیوهٔ مشابه زیر بیان کرد،

«حرکت دائمی نوع اول امکان‌پذیر نیست.»

منظور از بیان بالا اینست که، با عنایت به اصل بقاء انرژی که بخش مهمی از قانون اول ترمودینامیک را تشکیل می‌دهد، یک ماشین نمی‌تواند با تولید انرژی مصرفی خودش به طور دائم کار کند و یا نمی‌توان ماشینی را ساخت که در هر چرخه، بیشتر از گرمای دریافتی، کار تحویل دهد.

ماهیانه که بهای برق مصرفی را می‌پردازیم، محتوای بیان کلازیوس را به خوبی دریافت می‌کنیم. اگر قانون دوم صادق نمی‌بود، سرد شدن محوطهٔ داخل یخچال و گرم شدن هوای اطراف آن، خود به خود امکان‌پذیر می‌گردید و مصرف برق برای سرد کردن یخچال ضرورت نمی‌داشت.

یک ماشین گرمایی که در تکامل اصول دانش ترمودینامیک نقشی اساسی داشته است، ماشین کارنو نام دارد و چرخه‌ای را که اجرا می‌کند، چرخهٔ کارنو می‌نامند. چرخهٔ کارنو یک چرخهٔ برگشت‌پذیر است که از دو تکدما ودو بی‌دررو، مطابق شکل (۴) تشکیل گردیده است. منظور از برگشت‌پذیری اینست که تحولات ماشین به صورت ایستاوار انجام می‌شوند و پدیده‌های اتلافی مانند اصطکاک و مانند آن وجود ندارد.




شکل ۴
چرخهٔ کارنو

ماشین گرمایی کارنو بین دو چشمهٔ گرما کار می‌کند و در طول فرآیندهای تکدماست که با این چشمه‌ها، گرماهای $Q_1$ و $Q_2$ را مبادله می‌کند. در هر چرخه، گرمای $Q_1$ از چشمهٔ گرم دریافت می‌شود و گرمای $Q_2$ به چشمهٔ سرد پس داده می‌شود و کار W تولید می‌گردد. چون ماشین گرمایی کارنو برگشت‌پذیر است، می‌تواند در جهت عکس نیز کار کند و بدین طریق یک ماشین سرمایی ایجاد می‌گردد. در یک ماشین سرمایی کارنو با دریافت کار W، گرمای $Q_2$ از چشمهٔ سرد دریافت و گرمای $Q_1 = Q_2 + W$ به چشمهٔ گرم منتقل می‌گردد.

اینک آماده‌ایم تا براساس خواص ماشین کارنو، دو اندیشهٔ مهم دیگر را که از نتایج قانون دوم ترمودینامیک هستند، معرفی کنیم. اینها دمای مطلق و اندیشهٔ آنتروپی هستند. نسبت دمای مطلق دو چشمه گرما را، برابر نسبت گرماهای مبادله شده با آنها به وسیلهٔ ماشین کارنو تعریف می‌کنیم. اگر دمای مطلق را با T نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \qquad (۱۷)$$

در تعریف این درجه‌بندی، از مادهٔ کار ماشین بحثی به میان نیامده است و بنابراین اصطلاح «مطلق» برای آن مناسب است. با اینحال اگر مادهٔ کار ماشین کارنو را یک گاز کامل انتخاب کنیم، به سهولت دیده می‌شود که نسبت دمای گاز ایده‌آل دو چشمه، برابر نسبت مقادیر گرماهای مبادله شده با آنهاست. به همین دلیل است که از آغاز، دمای گاز ایده‌آل و دمای مطلق را معادل هم دانستیم. توجه کنید که در رابطهٔ (۱۷) حداقل مقدار $Q_2$ صفر است و لذا حداقل مقدار $T_2$ نیز صفر خواهد بود. پس دماهای مطلق همیشه مثبت هستند و در ترمودینامیک کلاسیک دمای مطلق منفی وجود ندارد. (در مورد صفر مطلق بعداً صحبت می‌کنیم.) براساس رابطهٔ یاد شده، اینک بهرهٔ ماشین کارنو فقط تابع دمای دو چشمه‌ای است که بین آنها کار می‌کند و با رابطهٔ زیر بیان می‌گردد:

$$\eta = ۱ - \frac{Q_2}{Q_1} = ۱ - \frac{T_2}{T_1} \qquad (۱۸)$$

یکی از دست‌آوردهای دیگر قانون دوم ترمودینامیک اندیشهٔ آنتروپی است. ما ابتدا با ذکر یک مثال، ضرورت معرفی آنرا ملاحظه می‌کنیم و سپس آنتروپی و خواص آنرا رسماً مطالعه خواهیم کرد. فرض کنید یک ماشین کارنو بین دو چشمه با دمای $T_.$ و T کار می‌کند و گرمای Q را از T دریافت و گرمای $Q_.$ را به $T_.$ پس می‌دهد. کار انجام شده در یک چرخهٔ این ماشین برابر مقدار زیر است.

$$W = Q - Q_. = Q - T_. \frac{Q}{T}$$

آشکار است که کار انجام شده در یک چرخهٔ ماشین، نه فقط به Q و $T_.$، بلکه به نسبت $\frac{Q}{T}$ نیز وابسته است. اگر Q و $T_.$ را ثابت نگهداریم، اما T را با $T'$ جانشین کنیم، طبعاً نسبت $\frac{Q}{T}$ با $\frac{Q}{T'}$ متفاوت می‌شود و W نیز با $W'$ متفاوت خواهد شد. این مثال نشان می‌دهد که در فرآیندهای گرمایی نه تنها میزان گرمای مبادله شده حائز اهمیت است، بلکه این مبادلهٔ گرما در چه دمایی انجام گرفته است نیز، در قالب نسبت $\frac{Q}{T}$، اهمیت دارد. به زودی خواهیم دید که اندیشهٔ آنتروپی نیز با این نسبت ارتباط مستقیم دارد.

اینک مادهٔ کار ماشین کارنو (که دستگاه می‌نامیم) را در یک چرخهٔ کامل مطالعه می‌کنیم. در تحول تکدمای T، گرمای Q را جذب می‌کند و در تحول تکدمای $T_.$، گرمای $Q_.$ را پس می‌دهد. براساس خواص ماشین کارنو (بدون در نظر گرفتن علامت)، $\frac{Q_.}{T_.} = \frac{Q}{T}$ است. اما براساس قرارداد، چون Q جذب گردیده، مثبت است و چون $Q_.$ پس داده شده، منفی است. بنابراین داریم:

$$\Sigma \frac{Q}{T} = ۰ \qquad (۱۹)$$ (چرخهٔ ماشین کارنو)

البته چرخهٔ کارنو یک چرخهٔ برگشت‌پذیر است و بنابراین تعمیم نتیجهٔ فوق برای هر چرخهٔ برگشت‌پذیر که در هر بخش کوچک آن گرمای $đQ$، در دمای T، مبادله می‌گردد، چنین است:

$$\oint \frac{đQ}{T} = ۰ \qquad (۲۰)$$ (چرخهٔ برگشت‌پذیر)

اما از فیزیکهای مقدماتی با انتگرالهایی که در یک مسیر بسته صفر می‌شوند، آشنا هستیم. مثلاً انتگرال کار انجام شده در

یک مسیر بسته، برروی جرم m در میدان جاذبه برابر صفر است. این حقیقت امکان می دهد که تابع انرژی پتانسیل را به عنوان تابعی واقعی از مختصات جرم m تعریف کنیم. علاوه بر این، دیفرانسیلِ تابع پتانسیل یک دیفرانسیل کامل است و انتگرال آن حول یک مسیر بسته صفر است. در اینجا نیز با تعریف $dS = \frac{đQ}{T}$ و با عنایت به رابطهٔ (۲۰) داریم:

$$\oint dS = 0 \qquad (۲۱)$$

بنابراین dS دیفرانسیل کامل است و S که آن را آنتروپی می نامیم، همانند انرژی داخلی، تابعی از مختصات ترمودینامیکی دستگاه می باشد. بدین ترتیب به هر حالت تعادل یک دستگاه ترمودینامیکی می توان یک مقدار آنتروپی نسبت داد (جدا از یک مقدار ثابت) و تغییرات آنتروپی دستگاه در یک تحول، فقط تابع حالات ابتدائی و انتهائی است و به مسیر تحول بستگی ندارد.

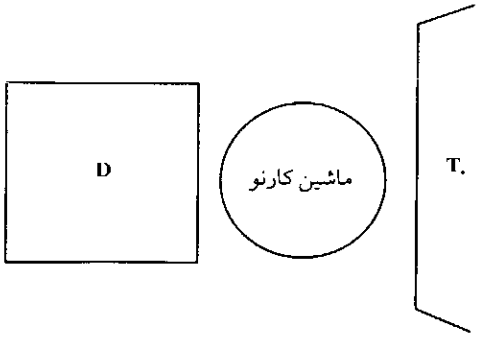
یک نتیجهٔ فوری وجود تابع آنتروپی اینست که در هر تحول چرخه ای، چون دستگاه به حالت آغازین باز می گردد، $\Delta S = 0$ است، همانطوریکه برای تحول چرخه ای، $\Delta U = 0$ است.

در اینجا تأکید بر یک نکته ضرورت دارد؛ همانطوری که ملاحظه کردیم فقط در تحولات برگشت پذیر، دیفرانسیل آنتروپی را به صورت $dS = \frac{đQ}{T}$ تعریف می کنیم و بنابراین برای محاسبهٔ تغییرات آنتروپی از حالت i به حالت f، فقط در یک مسیر برگشت پذیر می توان از رابطهٔ زیر استفاده کرد. (حرف R برگشت پذیری مسیر را می رساند.)

$$\Delta S = S_f - S_i = R\int_i^f \frac{đQ}{T} \qquad (۲۲)$$ (مسیر برگشت پذیر)

با اینحال چون آنتروپی تابع حالت دستگاه است، بنابراین از هر مسیر و یا به هر شیوه ای، برگشت پذیر یا برگشت ناپذیر، که دستگاه از حالت i به حالت f تحول یابد، تغییرات آنتروپی آن همان مقدار فوق خواهد بود.

اینک دستگاه D را مطابق شکل (۵) در نظر می گیریم. این دستگاه یک فرآیند چرخه ای برگشت ناپذیر را اجراء می کند و طی آن با چشمهٔ $T_.$ مبادلهٔ گرما انجام می شود. فرض کنید نقل و انتقال گرما بین دستگاه و چشمه، به کمک یک ماشین کارنو انجام می شود. اگر در یک تحول کوچک، دستگاه D، گرمای đQ را مبادله کند، طبق خواص ماشین کارنو (نسبت دماها مثل نسبت قدرمطلق گرماهای منتقل شده است)، گرمایی که چشمه با ماشین کارنو مبادله می کند $-\frac{T_.}{T}đQ$ خواهد بود. بنابراین در یک چرخهٔ کامل دستگاه D، گرمایی که چشمهٔ $T_.$ مبادله می کند برابر $-T_.\oint\frac{đQ}{T}$ است. این مقدار گرما به ناچار مثبت است، یعنی چشمه، گرما را جذب کرده است، چون در غیراینصورت، نتیجهٔ تحول، دریافت گرما از چشمه و تولید کار می شود که برخلاف بیان کلوین پلانک از قانون دوم




شکل ۵

ترمودینامیک است. بنابراین با عنایت به اینکه $T_. > 0$ است، داریم:

$$\oint\frac{đQ}{T} \le 0 \qquad (۲۳)$$

این رابطه به نام نامساوی کلازیوس مرسوم است و نتایج مهمی را در ارتباط با رفتار دستگاههای ترمودینامیکی و حتی کل جهان می توان از آن استخراج کرد.

فرض کنید در یک تحول برگشت ناپذیر، دستگاه از حالت i به حالت f، رسیده است. اینک مطابق شکل (۶)، با یک تحول برگشت پذیر R، یک چرخهٔ کامل می سازیم. توجه کنید که رسم مسیر تحولات برگشت ناپذیر امکان ندارد و بنابراین به صورت نقطه چین در شکل نشان داده شده است.

نامساوی کلازیوس را در مورد این چرخه می نویسیم (I برگشت ناپذیری مسیر را نشان می دهد):

$$R\int_f^i\frac{đQ}{T} + I\int_i^f\frac{đQ}{T} \le 0$$

اینک براساس تعریف تغییرات آنتروپی در یک تحول برگشت پذیر خواهیم داشت:

$$R\int_i^f\frac{đQ}{T} = S_f - S_i$$

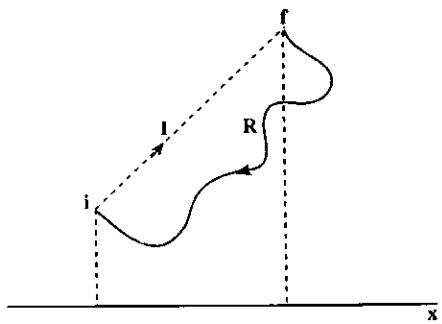
بنابراین داریم:

$$S_f - S_i = \Delta S \geq I\int_i^f \frac{dQ}{T}$$

حال فرض می‌کنیم یک دستگاه از نظر گرمایی مجزاست و بنابراین در طول فرآیند بی‌دررو $dQ = 0$ است. خواهیم داشت:

$$\Delta S \geq 0 \qquad \text{(تحول بی‌دررو)} \qquad (۲۴)$$

یعنی در یک دستگاه مجزای گرمایی، تحولاتی می‌توانند انجام گیرند که آنتروپی دستگاه را افزایش دهند. از این نتیجه تحت عنوان «قانون افزایش آنتروپی» نام برده می‌شود. از این




شکل ۶

قانون برای تعیین جهت فرآیندهای ترمودینامیکی استفاده می‌گردد. اینک کل جهان را یک دستگاه مجزا و بنابراین بی‌دررو تصور کنید. چون تحولات طبیعی برگشت‌ناپذیرند، بنابراین در هر تحول طبیعی، آنتروپی جهان افزایش می‌یابد. در تمام روابط فوق علامت تساوی فقط در مورد تحولات برگشت‌پذیر صادق است.

یکی از نتایج جالب افزایش آنتروپی در عالم را می‌توان در قالب اصل پستی گرایی انرژی ملاحظه کرد. مجدداً ماشین کارنو را در نظر می‌گیریم. در یک چرخه گرمای $Q_1$ از چشمهٔ $T_1$ جذب می‌شود و کار $W_1$ انجام می‌گردد. داریم:

$$W_1 = Q_1 - Q_1\frac{T_0}{T_1}$$

اینک اجازه دهید گرمای $Q_1$ به چشمه‌ای با دمای $T_2 < T_1$ منتقل گردد و سپس همان گرما را جهت انجام کار، از چشمهٔ $T_2$ بیرون بکشید. کار انجام شده اینک مقدار زیر است:

$$W_2 = Q_1 - Q_1\frac{T_0}{T_2}$$

چنانکه دیده می‌شود $W_2 < W_1$ است و داریم:

$$W_1 - W_2 = T_0\left(\frac{Q_1}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1}\right)$$

کمیت داخل پرانتز دقیقاً تغییرات آنتروپی جهان در اثر انتقال گرمای $Q_1$ از چشمهٔ $T_1$ به چشمهٔ $T_2$ است و بنابراین داریم:

$$W_1 - W_2 = T_0\Delta S \qquad \text{(جهان)} \qquad (۲۵)$$

بدین معنی که در اثر تحول برگشت‌ناپذیر انتقال گرما از یک چشمهٔ گرم به یک چشمهٔ سرد، آنتروپی جهان افزایش و کار قابل استفاده در جهان کاهش یافته است. به بیان دیگر افزایش آنتروپی در جهان با پستی گرایی انرژی همراه است.

## قانون سوم ترمودینامیک

به هنگام معرفی دمای مطلق، برحسب خواص ماشین کارنو، ملاحظه کردیم که دماهای مطلق مثبت هستند و حداقل دمای ممکن صفر است. برای نزدیک شدن به صفر مطلق، اساساً باید از دمای اطاق آغاز کرد و با طی مراحل متعدد به دماهای پایین‌تر دست یافت. اصولاً چهار روش اساسی برای تولید دماهای پایین وجود دارد.

**روش اول:** سرد کردن انبساطی ـ در این روش، گاز یک فرآیند انبساطی بی‌دررو را تحمل می‌کند و با کاهش فشار دمای آن نیز کاهش می‌یابد. مثلاً اگر فشار گاز هلیوم را به شیوهٔ بی‌دررو از ۶۴ اتمسفر به ۲ اتمسفر برسانیم، دمای آن از ۳۰۰ کلوین تا ۷۵ کلوین پایین خواهد آمد. از این شیوه برای سرد کردن تا نزدیک نقطهٔ میعان گازها استفاده می‌شود.

**روش دوم:** روش خفانشی: در این روش، گازی را که قبلاً به شیوهٔ انبساطی سرد کرده‌اند، در فشار ثابت $P_1$ از یک دریچهٔ متخلخل عبور می‌دهند و در سوی دیگر فشار کمتر $P_2$ برقرار است. اگر دمای گاز پایین‌تر از دمای معروف به دمای وارونی گاز باشد، نتیجهٔ تحول، سرد شدن گاز است. دمای وارونی برای گاز هلیوم ۵ کلوین است. با این روش می‌توان سرد کردن را تا میعان گاز ادامه داد. در یخچالهای خانگی عمل خفانشی روی مایعات انجام می‌شود.

**روش سوم:** روش تبخیری: با عمل تبخیر مداوم می‌توان یک گاز مایع شده را باز هم سردتر کرد. این کار معمولاً با پمپ کردن و خروج سریع گاز تبخیر شده انجام می‌گیرد. مثلاً $^3He$ در ۳/۲ کلوین مایع می‌شود، اما با روش تبخیری می‌توان دمای آنرا تا ۰/۳ کلوین پایین آورد.

**روش چهارم:** روش وامغناطش: برای تولید دماهای باز

هم پایین تر، از روش مغناطیسی استفاده می شود. در این روش یک نمک پارامغناطیس (شامل گشت‌آورهای اتمی) را در یک میدان مغناطیسی قوی قرار می دهند و سپس میدان را سریعاً کاهش می دهند. با این شیوه که وامغناطش الکترونیکی نام دارد، دما تا ۰/۰۱ کلوین پایین آورده می شود. حال اگر عمل وامغناطش مجدداً انجام شود، اما این بار گشت‌آورهای مغناطیسی هسته ای در عمل وامغناطش شرکت کنند، دما باز هم پایین تر خواهد آمد. با تکرار عمل وامغناطش، دماهای تا $۱۰^{-۸}$ کلوین نیز تولید گردیده است و در بعضی از آزمایشگاهها روزانه با دمای $۱۰^{-۶}$ کلوین کار می کنند.

چنانکه ملاحظه کردید با طی مراحل متعددی می توان دماها را تا $۱۰^{-۸}$ و احتمالاً کمتر نیز پایین آورد، اما تجربه نشان می دهد که هر اندازه دما را پایین آوریم، سردکردن در مراحل بعدی مشکلتر می شود. برای مثال اگر در یک آزمایش وامغناطش، دما را ۱۰ درصد پایین آوریم، در تکرار مراحل بعدی نیز نسبت پایین آمدن دما همین مقدار است و بنابراین، بی نهایت مرحله برای رسیدن به صفر مطلق مورد نیاز است، طبعاً این کار امکان پذیر نیست. بنابراین بیان زیر را که بیان عدم حصول قانون سوم ترمودینامیک نامیده می شود، به شکل زیر ارائه می دهیم.

**«با تعدادی متناهی فرآیند نمی توان به صفر مطلق رسید.»**

وقتی دمای دستگاههای ترمودینامیکی به صفر مطلق میل می کند، خواص ترمودینامیکی این دستگاهها نیز ویژگیهای خاصی را از خود نشان می دهند. برای مثال، آنتروپی دستگاههای ترمودینامیکی در صفر مطلق، به مقدار ثابتی که می تواند صفر باشد، میل می کند. تمام ظرفیتهای گرمایی یک دستگاه نیز در صفر مطلق صفر می شوند. همچنین ضریب انبساط حجمی یک دستگاه هیدروستاتیک در صفر مطلق برابر صفر است.

## منابع


۱ ـ حرارت و ترمودینامیک، زیمانسکی و دیتمن، ترجمهٔ حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمد هادی زاده، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۴.

۲ ـ صفر مطلق، سرگذشت فیزیک دماهای کم، کورت مندلسون، ترجمهٔ مرتضی قریب. انتشارات انجمن فیزیک ایران، ۱۳۷۱.

۳ ـ دما، یا آسمورودینسکی، ترجمهٔ لطیف کاشیگر، انتشارات انجمن فیزیک ایران، ۱۳۷۲.

۴ ـ فیزیک آماری، ف رایف، ترجمهٔ جعفر سیروس ضیاء و ابوالحسن فرجی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۴.

۵ ـ دمای مطلق منفی، مجتبی جعفرپور، مجلهٔ علوم دانشگاه شهید چمران، دورهٔ جدید، سال دوم، شمارهٔ ۲، ۱۳۶۸.

۶ ـ ترمودینامیک در دمای مطلق منفی، مجتبی جعفرپور، مجلهٔ علوم دانشگاه شهید چمران، دورهٔ جدید، سال دوم، شمارهٔ ۲، ۱۳۶۸.

۷ ـ آنتروپی ترمودینامیکی و ناآگاهی آماری، مجتبی جعفرپور، نشریهٔ علمی دانشکدهٔ علوم دانشگاه شهید چمران، شمارهٔ ۳، ۱۳۵۶.

۸ ـ فیزیک گرما، فیلیپ ام. مورس، ترجمهٔ یوسف ثبوتی و محمدرضا خواجه پور، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۲.

۹ ـ دماهای پایین، تولید، نگهداری و اندازه گیری، مجتبی جعفرپور، کنفرانس آموزش فیزیک ایران، کرمانشاه، تیرماه ۱۳۷۳.

10. Elements of Thermodynamics, D. ter Haar @ H. Wergland, Addison Wesley, 1966.

11. Thermodynamics, E. Fermi, 1956.

12. Understanding Energy, R. S. Berry, World Scientific, 1991.

13. An Introduction to Thermodynamics, The Kinetic Theory of gases, And Statistical Mechanics, F. W. Sears, Addison-wesley, 1964.

14. Equilibrium Thermodynamics, C. J. Adkins, Mc Graw-Hill, 1975.

15. Fundamentals of Statistical and Thermal Physics, F. Reif, Mc Graw-Hill, 1965.

16. Thermal Physics, C. Kittle @ H. Kroemer, W. H. Freeman, 1985.

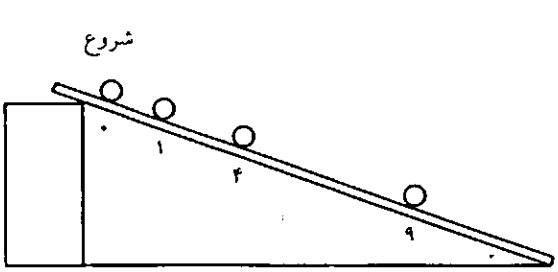
# اهمیت اندازه گیری در فیزیک

**سخنرانی دکتر منیژه رهبر**
**عضو هیئت علمی دانشگاه تهران در**
**سومین کنفرانس آموزش فیزیک**
**ایران (کرمانشاه ـ تیرماه ۱۳۷۳)**

**مقدمه**: به رغم زیبایی ریاضی بعضی از نظریه های مجرد مانند ذرات بنیادی و نسبیت عام، فیزیک قبل از هر چیز علمی تجربی و مانند تمام علوم وابسته به مشاهده است. می توان گفت که گسترش فیزیک به صورت کنونی آن تا اندازهٔ زیادی مدیون تأکیدی است که بر مشاهده های کمّی شده است. فقط با مشاهده های کمی می توان به رابطه های کمّی رسید که اساس فیزیک را تشکیل می دهند.

بسیاری علاقمنداند که شروع فیزیک را کار گالیله بدانند که به گمان آنها اولین فیزیکدان است. تا زمان او حرکت، مبحثی فلسفی بود که هرکس با تفکر می توانست پی به آن ببرد. بیشتر مباحث در این مورد متعلق به ارسطو و دیگر فیلسوفان یونانی بود که همه چیز را اثبات شده در نظر می گرفتند. گالیله شکاک بود و آزمایشی در مورد حرکت به صورت زیر انجام داد. وی توپی را روی سطح شیب دار به حرکت درآورد و حرکت آن را مشاهده کرد. البته او تنها به مشاهده قناعت نکرد، بلکه مسافتی را که توپ در زمانهای مختلف طی می کرد نیز اندازه گرفت.

روش اندازه گیری مسافت قبل از زمان گالیله نیز شناخته شده بود اما روش دقیقی برای اندازه گیری زمان وجود نداشت. به ویژه اندازه گیری زمانهای کوتاه امکانپذیر نبود. گرچه گالیله بعداً روشی دقیق برای اندازه گیری زمان ابداع کرد، اما اولین آزمایش را با استفاده از ضربان نبض خود انجام داد.




شکل ۱ ـ توپی که روی سطح شیب دار حرکت می کند.

ما نیز می توانیم این کار را انجام دهیم و ضربان نبض خود را بشماریم و از دوستی بخواهیم که مسافتی را که توپ در هر بازهٔ زمانی می پیماید اندازه بگیرد. گالیله نتیجهٔ آزمایش خود را به صورت زیر گزارش داد. اگر زمان را ۱، ۲، ۳، ... در نظر بگیریم، مسافت طی شده به صورت ۱، ۴، ۹، ... خواهد بود. امروزه می گوییم که مسافت طی شده متناسب با مربع زمان است.

مطالعهٔ حرکت که برای فیزیک بسیار بنیادی است دو سؤال «کجا؟» و «کی؟» را مطرح می کند که در زیر به بررسی آنها می پردازیم.

**زمان:** ابتداء ببینیم که مفهوم زمان چیست. بسیار خوب می شد اگر پاسخ این سؤال را می دانستیم. طبق تعریف فرهنگ لغت، «زمان» دوره ای است که . . . و «دوره» را به صورت «زمان چیزی که روی می دهد وقتی که اتفاق دیگری نمی افتد»، که البته راه به جایی نمی برد. پس بهتر است با این واقعیت روبرو شویم که زمان چیزی است که به احتمال زیاد نمی توانیم آن را تعریف کنیم (به مفهوم فرهنگ لغت) و فقط بگوییم چیزی است که آن را دانسته فرض می کنیم. چیزی که اهمیت دارد تعریف زمان نیست، بلکه اندازه گیری آن است. یک راه اندازه گیری زمان استفاده از رویدادی است که به صورت منظم به دفعات روی می دهد یعنی چیزی که تناوبی است. مثلاً، به نظر می رسد که روزها از پی هم می آیند. اما وقتی شروع به تفکر در مورد آن می کنید، ممکن است از خود بپرسید «آیا روزها تناوبی اند»؛ آیا منظم هستند؟ آیا طول تمام روزها یکسان است؟ مسلماً می دانید که روزها در تابستان بلندتر از زمستان هستند، البته وقتی حوصله تان سررفته باشد ممکن است بعضی از روزهای زمستان هم به نظرتان بلند بیایند.

اما به نظر می رسد که طول روزها به طور متوسط یکسان است. اما چگونه می توان برابر بودن آنها را آزمود؟ یک راه، مقایسه با پدیدهٔ تناوبی دیگر است. ببینیم چگونه می توان مقایسه ای با یک ساعت شنی انجام داد. با استفاده از این ساعت می توان یک رویداد تناوبی «خلق کرد»، البته اگر کسی را داشته باشیم که شب و روز آن را پس از تمام شدن شنها در ظرف بالایی برگرداند.

با استفاده از این روش می توان تعداد دفعات چرخش را از یک صبح تا صبح بعد شمرد. این بار، درمی یابیم که تعداد «ساعتها» (گرداندنهای ساعت شنی) برای هر «روز» یکسان نیست. عاملی که نمی توان به آن اطمینان کرد چیست؟ ساعت، خورشید یا هر دو؟ پس از اندکی تفکر ممکن است این فکر از خاطرتان بگذرد که «ساعتها» را از ظهر تا ظهر بعد بشمارید. (البته ظهر ساعت ۱۲/۰۰ تعریف نمی شود، بلکه لحظه ای است که خورشید در بالاترین نقطه است). اکنون می بینیم که تعداد «ساعتها» در هر روز یکی است.

اکنون هم به «ساعت» و هم به «روز» اطمینان پیدا می کنیم و متوجه می شویم که دارای تناوب منظم هستند. یعنی می توانیم بازه های زمانی مختلف را تعریف کنیم، گرچه ثابت نکردیم که هیچکدام از آنها واقعاً دوره ای هستند. ممکن است این سؤال پیش آید که آیا قادر متعالی وجود ندارد که جریان سنگ را هنگام شب کند و در روز تند کند. البته آزمایش ما پاسخی به این سؤال نمی دهد. آنچه می توان گفت آن است که نظمی از یک نوع با نظم نوع دیگر جور درمی آید. فقط می توانیم بگوییم که تعریف زمان برای ما بر مبنای رویدادهای به ظاهر تناوبی است.

**زمانهای کوتاه:** توجه کنید که در فرآیند بررسی تکرارپذیری روز، یک محصول فرعی مهم داشتیم، یعنی راهی برای اندازه گیری دقیق کسرهایی از روز پیدا کردیم. یعنی راهی یافتیم که زمان را در قطعه های کوچکتر بشماریم. آیا می توان این فرآیند را گسترش داد و بازه های زمانی کوتاهتر را اندازه گرفت؟

گالیله به این نتیجه رسید که یک آونگ معین همواره در بازه های زمانی برابر نوسان می کند، البته اگر دامنهٔ نوسان کوچک باشد. آزمون مقایسهٔ تعداد نوسانهای یک آونگ در یک «ساعت» نشان می دهد که نتیجه گیری گالیله صحیح بوده است. به این ترتیب اگر از یک وسیلهٔ مکانیکی برای شمارش تعداد نوسانها استفاده کنیم و بگذاریم مانند مورد ساعتهای قدیمی آونگ نوسان کند، می توانیم اجزاء ساعت را معین کنیم.

حال توافق می کنیم که آونگ ما ۳۶۰۰ بار در ساعت نوسان می کند (و اگر روز ۲۴ ساعت باشد) هر دورهٔ آونگ یک «ثانیه» است. پس یکای زمان خود را تقریباً به $10^3$ قسمت تقسیم کرده ایم. می توان از همین اصل برای تقسیم ثانیه به بازه های کوچکتر و کوچکتر استفاده کرد. البته متوجه می شوید که ساختن آونگ مکانیکی که خیلی تند حرکت کند

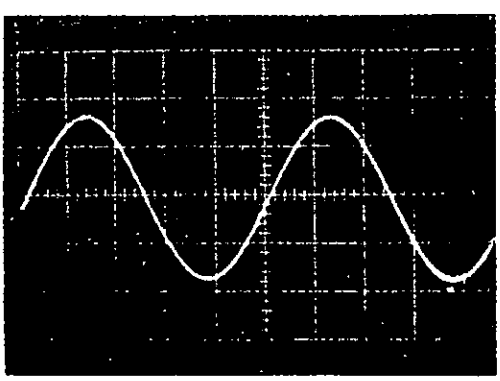
عملی نیست. اما می توانیم از آونگهای الکتریکی استفاده کنیم که نوسانگر خوانده می شوند و می توانند رویداد تناوبی با دورهٔ تناوب کوتاه در اختیارمان بگذارند. در این نوسانگرهای الکترونیکی، یک جریان الکتریکی مشابه با وزنهٔ آونگ به جلو و عقب نوسان می کند.

می توان یک رشته از این نوسانگرهای الکترونیکی ساخت که دورهٔ هر یک ۱۰ بار کوتاهتر از قبلی باشد. می توان هر نوسانگر را با شمردن تعداد نوسان آن در مقایسه با نوسانگر قبلی «مدرج» کرد. اگر دورهٔ نوسان ساعت ما کوتاهتر از کسری از ثانیه باشد، نمی توان بدون کمک وسیله ای را که قدرت مشاهدهٔ ما را گسترش دهد تعداد نوسانها را شمرد. دستگاهی که این کار را انجام می دهد اسیلوسکوپ (یا نوسان نما) نام دارد، که به عنوان نوعی میکروسکوپ برای زمانهای کوتاه عمل می کند. این وسیله روی یک صفحهٔ فلوئورسان نموداری از جریان الکتریکی یا ولتاژ را برحسب زمان رسم می کند. با اتصال اسیلوسکوپ به دو نوسانگر به طوری که ابتداء جریان یک نوسانگر و سپس جریان نوسانگر دیگر را رسم کند، می توان نمودارهایی مانند شکل ۲ به دست آورد. می توان به آسانی تعداد دوره های نوسانگر سریعتر را در یک دورهٔ نوسان مربوط به نوسانگر کندتر یافت. با استفاده از روشهای جدید الکترونیکی نوسانگرهایی با دوره های به کوتاهی $10^{-12}$ ثانیه ساخته شده است و با استفاده از روشی که شرح آن رفت در مقایسه با یک استاندارد مدرج شده اند. با اختراع «لیزر» یا تقویت کنندهٔ نوری نوسانگرهایی با زمانهای کوتاهتر نیز ساخته شده اند.

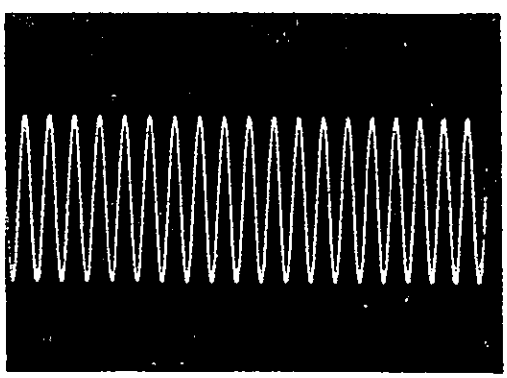
زمانهای کوتاهتر از $10^{-12}$ ثانیه با استفاده از روشی دیگر اندازه گیری می شوند. در واقع، تعریف متفاوتی از زمان به کار می رود. یک راه این کار مشاهدهٔ فاصلهٔ بین دو رویداد برای یک جسم متحرک است. اگر مثلاً چراغهای یک اتومبیل متحرک روشن و خاموش شوند می توان زمان آن را با در نظر گرفتن اینکه چراغها کجا روشن و کی خاموش شده اند و دانستن سرعت اتومبیل محاسبه کرد. زمان فاصلهٔ روشن بودن چراغها تقسیم بر سرعت است.

طی سالهای اخیر، چنین روشی برای اندازه گیری طول عمر مزونهای $\pi^{\circ}$ به کار رفته است. با مشاهدهٔ رده های کوتاهی که در یک صفحه عکاسی که مزونهای $\pi^{\circ}$ در آن به وجود آمده اند (و اینکه می دانیم سرعت آنها نزدیک به سرعت نور است) نتیجه می گیریم که این مزونها به طور متوسط مسافت $10^{-7}$ متر را قبل از واپاشی طی می کنند. پس طول عمر آنها $10^{-16}$ ثانیه است. باید توجه داشت که در اینجا از تعریف متفاوتی از زمان استفاده کرده ایم. تا زمانی که ناسازگاری در درک ما به وجود نیاید، اطمینان داریم که تعریفهای ما به اندازهٔ کافی هم ارزاند. با گسترش روشها ـ و در صورت لزوم تعریفها ـ می توان دورهٔ زمانی رویدادهای فیزیکی سریعتر را نیز به دست آورد. می توان از دورهٔ ارتعاش یک هسته صحبت به میان آورد. می توان طول عمر تشدیدهای هسته ای را اندازه گرفت که طول عمر آنها فقط $10^{-24}$ ثانیه یعنی تقریباً برابر با زمانی است که نور هسته اتم هیدروژن را می پیماید.

اما زمانهای کوتاهتر از آن چه؟ آیا می توان گفت که



(الف)



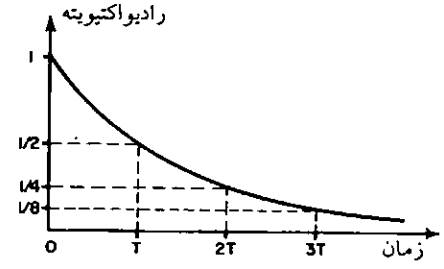
(ب)

شکل ۲ ـ دو تصویر از صفحهٔ اسیلوسکوپ در حالت (الف) اسیلوسکوپ به یک نوسانگر و در مورد (ب) به نوسانگر دیگری که دورهٔ آن یکدهم حالت (الف) است متصل شده است.

«زمان» در مقیاسهای کوچکتر نیز وجود دارد؟ آیا صحبت از زمانهای کوتاهتر در صورتی که نتوان آن را اندازه گرفت یا حتی دربارهٔ آن فکر کرد معنایی دارد؟ این سؤالهایی است که آینده به آنها پاسخ خواهد داد.

**زمانهای طولانی:** حال زمانهای طولانی تر از یک روز را در نظر می گیریم. اندازه گیری زمانهای طولانی تر آسان است؛ کافی است که روزها را بشماریم تا جایی که دیگر کسی نباشد تا روزها را بشمارد. ابتدا متوجه می شویم که تناوب طبیعی دیگری وجود دارد که سال یعنی حدود ۳۶۵ روز است. همچنین متوجه شده ایم که طبیعت شمارگری برای سالها به صورت حلقه های درخت یا رسوب کف رودخانه ها در اختیارمان گذاشته است. در بعضی موارد می توان از این شمارنده های طبیعی برای تعیین زمانی که از یک رویداد گذشته است استفاده کرد.

وقتی نتوانیم از سال برای اندازه گیری زمانهای طولانی استفاده کنیم، باید راه دیگری برای اندازه گیری بیابیم. یکی از موفق ترین آنها استفاده از مادهٔ رادیواکتیو به عنوان «ساعت» است. در این مورد با یک رویداد دوره ای مانند روز یا آونگ سر و کار نداریم. بلکه از نوعی «نظم» استفاده می کنیم. می دانیم که رادیواکتیویته یک نمونهٔ معین از ماده دربازه های زمانی متوالی با نسبت معینی کاهش می یابد. اگر نمودار اکتیویتهٔ مشاهده شده بر حسب زمان (مثلاً روز) را رسم کنیم، نموداری چون شکل ۳ به دست می آوریم. می بینیم که اگر رادیواکتیویتهٔ در T روز به نصف کاهش یابد (T را «نیمه عمر» می نامیم) در T روز بعدی به یک چهارم و در T روز بعد به یک هشتم تقلیل می یابد و غیره. دربازهٔ زمانی دلخواه t، تعداد $\frac{t}{T}$ «نیمه عمر» وجود دارد و کسری که پس از این مدت باقی می ماند $\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ است.



شکل ۳ـ کاهش رادیواکتیویته با زمان اکتیویته در هر «نیمه عمر» T به نصف تقلیل می یابد.

اگر بدانیم قطعه ای از ماده، مثلاً یک تکه چوب در زمان تشکیل حاوی مقدار A از مادهٔ رادیو اکتیو است، با یک اندازه گیری مستقیم در می یابیم که این مقدار اکنون B است و می توان سن آن را با حل معادلهٔ زیر به دست آورد.

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = \frac{A}{B}$$

خوشبختانه، مواردی وجود دارد که در آن می توان مقدار اکتیویته در زمان تشکیل شیئی را دانست. مثلاً می دانیم که دی اکسیدکربن در هوا حاوی کسر کوچکی از ($C^{14}$) یعنی کربن رادیواکتیو است. این ایزوتوپ در اثر واکنش $_{7}^{14}N(n,p)C_{6}^{14}$ به طور دائم تشکیل می شود. اگر تعداد کل کربن موجود در یک جسم را اندازه بگیریم. می دانیم که چه کسری از آن در ابتدا $C^{14}$ بوده است؛ بنابراین می توان مقدار A در رابطهٔ بالا را دانست. نیمه عمر کربن ۱۴، ۵۷۳۰ سال است. با اندازه گیریهای دقیق می توان مقداری که پس از ۲۰ نیمه عمر باقی می ماند را تعیین و اشیاء را تا ۱۰۰/۰۰۰ سال قبل سن یابی کرد.

حال اگر بخواهیم سن اشیاء قدیمی تر را تعیین کنیم باید از ایزوتوپهای رادیواکتیو با نیمه عمر طولانی تر استفاده کنیم. برای مثال، اورانیوم دارای ایزوتوپی با نیمه عمر حدود $10^9$ سال است، بنابراین اگر این ماده $10^9$ سال قبل تشکیل شده باشد، امروز فقط نصف آن باقی مانده است. اورانیوم در اثر واپاشی به سرب تبدیل می شود. صخره ای را در نظر بگیرید که مدتها قبل در یک فرآیند شیمیایی تشکیل شده است. چون سرب از نظر شیمیایی با اورانیوم تفاوت دارد، سرب در یک قسمت و اورانیوم در قسمت دیگر آن ظاهر می شوند. اورانیوم و سرب از هم جدا هستند. حال اگر به یک نقطه این صخره نگاه کنیم، جایی که باید فقط اورانیوم باشد مقداری اورانیوم و مقداری سرب می یابیم. با مقایسهٔ مقدار آنها می توان یقین کرد که چه کسری از اورانیوم به سرب تبدیل شده است. با این روش، عمر بعضی از صخره ها چند بیلیون سال تعیین شده است. گسترش این روش، با ملاحظهٔ اورانیوم و سرب موجود در اقیانوسها و میانگین گیری در سطح کره زمین برای تعیین سن زمین (تقریباً ۵/۵ بیلیون سال) به کار رفته است.

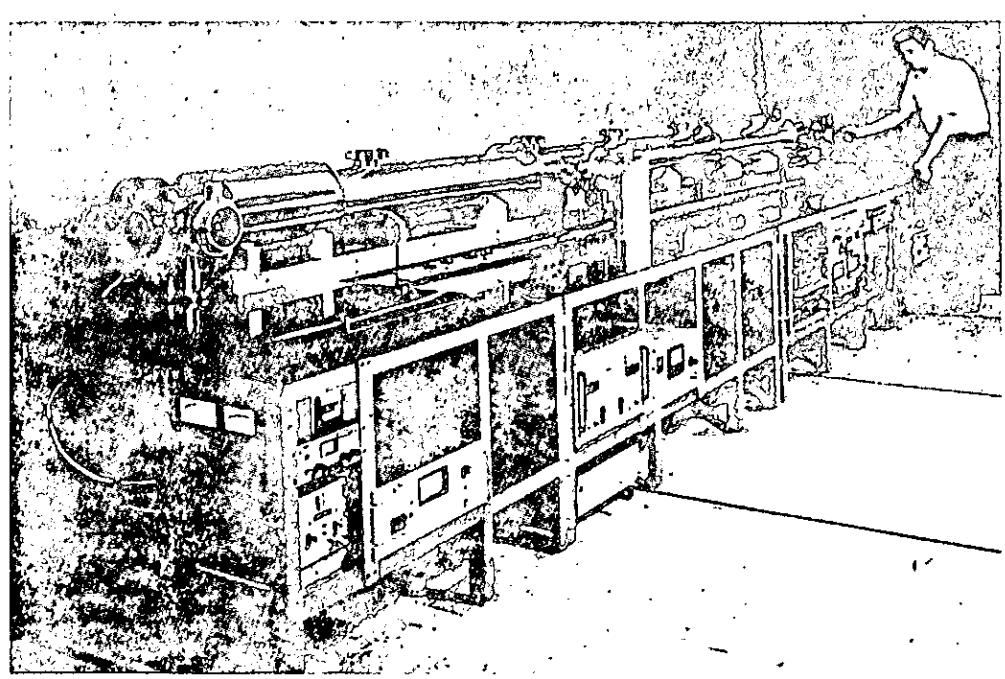
جای دلگرمی است که عمر زمین برابر با عمر شهاب سنگهایی که روی آن افتاده اند تعیین شده است. به

نظر می رسد که زمین از توده ای تشکیل شده است که در فضا غوطه ور بوده است و شهاب سنگها قطعاتی از همان توده اند که در فضا باقی مانده اند. آغاز جهان در زمانی قبل از ۵/۵ بیلیون سال قبل بوده است و اکنون این باور وجود دارد که جهان حدود ۱۵ بیلیون سال قبل آغاز شده است. ما نمی دانیم که قبل از آن چه رخ داده است. در واقع می توان دوباره پرسید که آیا این سؤال منطقی است؟ آیا زمان قبل از آن معنایی دارد؟

**یکاها و استانداردهای زمان:** گفتیم که بهتر است کار خود را با یکای استاندارد زمان مثلاً روز یا ثانیه آغاز کنیم و به سایر زمانها با توجه به این استاندارد ارجاع کنیم. چه چیزی را می توان به عنوان استاندارد زمان در نظر گرفت؟ آیا ضربان نبض انسان استاندارد مناسبی است؟ اگر این ضربان را با هم مقایسه کنیم می بینیم که به میزان قابل ملاحظه ای تغییر می کند. اما با مقایسه زمان دو ساعت مختلف خواهیم دید که این دو مقدار آنقدرها تفاوت ندارند. پس ممکن است بگویید که انتخاب ساعت به عنوان استاندارد، انتخاب مناسبی است، ولی ساعت چه کسی را انتخاب کنیم؟ داستانی مربوط به یک پسر سوئیسی وجود دارد که می خواست همهٔ ساعتهای شهرش درست زنگ ظهر را همزمان بزنند، بنابراین با مراجعه به افراد مختلف می خواست اهمیت این موضوع را برای آنها روشن کند. همه ایدهٔ او را بسیار جالب توجه یافتند، اما همه می خواستند بقیه ساعتها در همان زمان زنگ بزنند که ساعت آنها زنگ می زد. خوشبختانه همه ما یک ساعت مشترک داریم که زمین است. برای زمانهای طولانی دورهٔ چرخش زمین استاندارد مناسبی بود. با دقیق تر شدن اندازه گیریها معلوم شد که چرخش زمین دقیقاً تناوبی نیست. بلکه به دلایل مختلف دورهٔ زمین با گذشت زمان افزایش می یابد.

تا سالهای اخیر که چیزی بهتر از دورهٔ زمین نمی شناختند و ساعتها با طول روز مرتبط می شدند، ثانیه برابر با $\frac{۱}{۸۶۴۰۰}$ روز متوسط تعریف شده بود. تا اینکه متوجه شدند که بعضی نوسانهای طبیعی مانند نوسان بلور کوارتز به عنوان استاندارد مناسب تر است. یک ساعت کوارتزی را می توان در مقابل دورهٔ زمین مدرج کرد و برای اندازه گیری زمان در آزمایشگاه به کار برد. بهترین این نوع ساعتها خطایی برابر ۵۳ s در سال دارند، اما این دقت برای اندازه گیریهای علمی جدید در آزمایشگاه کافی نیست.

برای رسیدن به دقت بیشتر از ساعتهای اتمی استفاده می شود. یک نوع از این ساعتها در شکل ۴ نشان داده شده است. این ساعت که بر مبنای بسامد مشخصهٔ ریز موجهای گسیلی از اتم سزیوم کار می کند در انستیتوی ملی استانداردها



شکل ۴ ـ استاندارد بسامد اتمی سزیوم شمارهٔ NBS - 6 در انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی در بولدرکلرادو. این استاندارد اولیه برای یکای زمان در ایالات متحده است.

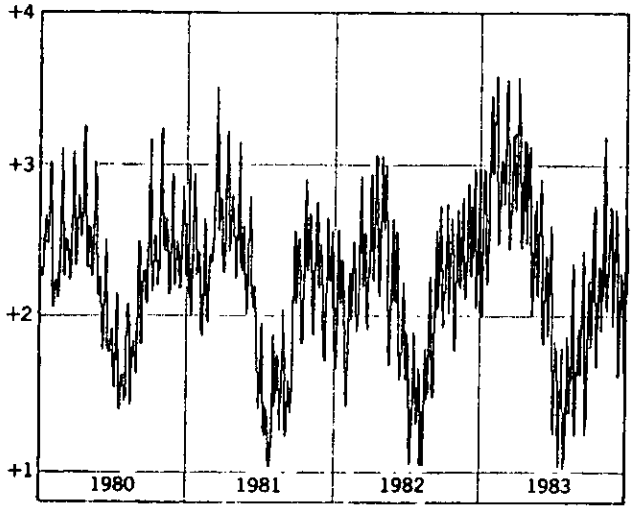
و تکنولوژی ایالات متحدهٔ امریکا نصب شده است و اساس زمان جهانی هماهنگ شده (UTC) را تشکیل می دهد.

تغییر آهنگ دوران زمین که در مقایسه با یک ساعت سزیومی به دست آمده است طی یک دورهٔ ۴ ساله در شکل ۵ نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که دورهٔ حرکت زمین استاندارد ضعیفی برای کار دقیق است. این نوسانها را می توان نتیجهٔ اثر کشندی ماه وتغییرهای فصلی در بادهای جوی دانست.

ثانیه ای که بر مبنای ساعت سزیوم تعریف شده است در سیزدهمین کنفرانس بین المللی اوزان و مقادیر در سال ۱۹۶۷/۱۳۴۶ به عنوان استاندارد پذیرفته شد و تعریف آن به صورت زیر است:

**یک ثانیه مدت ۹,۱۹۲,۶۳۱,۷۷۰ ارتعاش طبیعی تابش (با طول موج معین) است که اتم سزیوم گسیل می کند.**

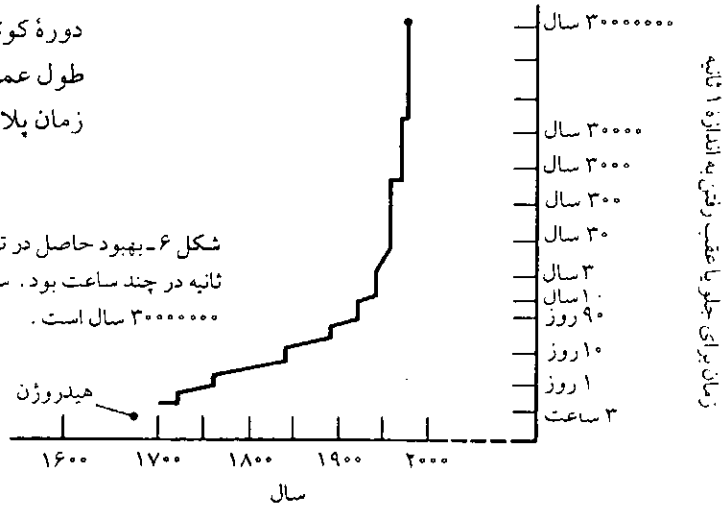
این ساعتهای سزیومی می توانند در هر ۳۰۰/۰۰۰ سال فقط ۱ ثانیه اختلاف داشته باشند. ساعتهایی با استفاده از میزرهیدروژن دارای دقت ۱ ثانیه در ۳۰/۰۰۰/۰۰۰ سال هستند و ساعتهایی که بر مبنای یک اتم به دام افتاده کار می کنند می توانند این دقت را تا سه مرتبهٔ بزرگی بهبود بخشند. شکل ۶ سابقهٔ دقت در اندازه گیری زمان طی ۳۰۰ سال اخیر از ساعت آونگی که کریستیان هویگنس اختراع کرد (سال ۱۶۵۶/۱۰۳۵) تا ساعت میزرهیدروژن را نشان می دهد.




شکل ۵ ـ تغییرات طول روز در یک دورهٔ چهار ساله توجه کنید که مقیاس عمودی فقط ۳ms = ۰/۰۰۳s است.

**جدول ۱ ـ برخی بازه های زمانی اندازه گیری شده**

| بازهٔ زمانی | ثانیه |
|---|---|
| طول عمر پروتون | $>10^{40}$ |
| نیمه عمر واپاشی دو تایی ۸۲Sc | $3\times10^{27}$ |
| سن جهان | $5\times10^{17}$ |
| سن هرم خئوپس | $1\times10^{11}$ |
| عمر متوسط انسان | $2\times10^{9}$ |
| زمان یک بار گردش زمین به گرد خورشید (سال) | $3\times10^{7}$ |
| زمان گردش زمین حول محور خود (روز) | $9\times10^{4}$ |
| زمان بین دو ضربان نبض | $8\times10^{-1}$ |
| دورهٔ ریز موجهای با طول موج ۳ سانتی متر | $1\times10^{-10}$ |
| دورهٔ چرخش یک نمونهٔ مولکول | $1\times10^{-12}$ |
| دورهٔ کوتاهترین ضربان تولید شده | $1\times10^{-15}$ |
| طول عمر ناپایدارترین ذره ها | $<10^{-23}$ |
| زمان پلانک | $\sim10^{-45}$ |

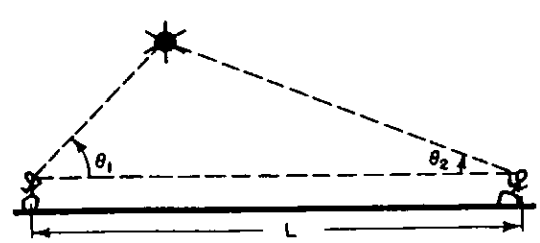



شکل ۶ ـ بهبود حاصل در تعیین زمان در طی قرون. ساعتهای آونگی قدیمی دارای دقت ۱ ثانیه در چند ساعت بود. ساعتهای فعلی با استفاده از میزرهیدروژن دارای دقت ۱ ثانیه در ۳۰۰۰۰۰۰۰ سال است.

**فاصله های بزرگ:** اکنون توجه خود را به فاصله معطوف می کنیم. اشیاء چقدر دور و چقدر بزرگ هستند؟ همه می دانیم که فاصله را می توان با استفاده از یک خط کش اندازه گرفت. پس، از یکایی شروع می کنید و می شمارید. اما چگونه می توان اندازه فاصله های کوچکتر را اندازه گرفت؟ چگونه می توان فاصله را به جزء های کوچکتر تقسیم کرد؟ در این مورد هم می توان مانند زمان عمل کرد: یکای کوچکتری در نظر می گیریم و می بینیم که چند عدد از یکای کوچکتر، یکای بزرگتری را تشکیل می دهد. پس می توان فاصله های کوچک و کوچکتر را اندازه گرفت.

اما همواره با فاصله هایی که بتوان آنها را با خط کش اندازه گرفت سروکار نداریم. اندازه گیری فاصلهٔ افقی بین دو قلهٔ کوه با استفاده از خط کش دشوار است. اما تجربه به ما نشان داده است که فاصله را با روش دیگر می توان اندازه گرفت: با روش مثلث بندی. گرچه این بدان معناست که ما تعریف متفاوتی از فاصله را به کار برده ایم، اما این دو تعریف با هم سازگاراند. فضا کم و بیش چیزی است که اقلیدس تصور می کرد، بنابراین دو تعریف فاصله با هم سازگاراند. چون این دو تعریف در روی زمین سازگاراند پس این اطمینان را می یابیم که استفاده از آن برای فاصله های بزرگتر نیز مناسب است. مثلاً، با استفاده از این روش ارتفاع اولین اسپوتنیک از سطح زمین را تعیین کردیم و دیدیم که این ارتفاع $5\times10^5$ متر است. اندازهٔ فاصله زمین تا ماه نیز به همین روش تعیین شده است. دو تلسکوپ مختلف در دو نقطهٔ زمین دو زاویهٔ لازم را در اختیار می گذارند. بدین ترتیب دریافته ایم که فاصله زمین تا ماه $4\times10^8$ متر است.

این کار را نمی توان در مورد خورشید انجام داد، یا لااقل تاکنون کسی این کار را نکرده است. دقت لازم برای اینکه بتوان بر یک نقطه خورشید متمرکز کرد و زاویه ها را اندازه گرفت به اندازهٔ کافی خوب نیست. پس چگونه می توان

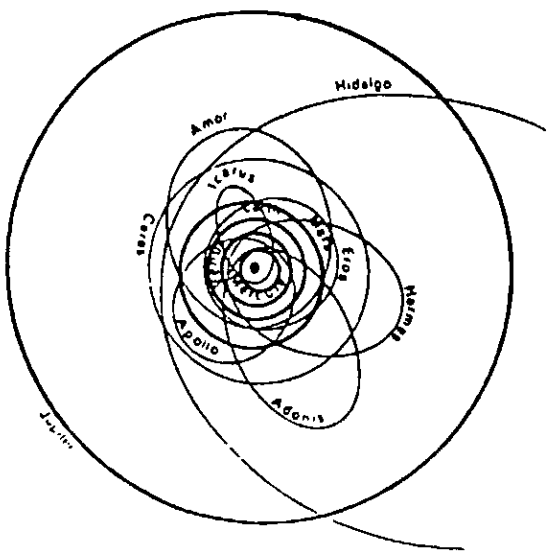



شکل ۷ـ ارتفاع اسپوتنیک با مثلث بندی تعیین شده است.

فاصله تا خورشید را اندازه گرفت؟ باید روش مثلث بندی را گسترش داد. ما فاصله های نسبی سیاره ها را با رصدهای بخصوص در محلهایی که به نظر می رسد سیاره در آنجا باشد انجام می دهیم و تصویری از منظومهٔ شمسی با فاصلهٔ نسبی هر یک از اعضاء آن به دست می آوریم ولی فاصله های مطلق با این روش به دست نمی آید. پس باید یک اندازه گیری مطلق انجام دهیم. این اندازه گیری به روشهای مختلف انجام می شود. یک راه که تا سالهای اخیر تصور می شد دقیق ترین راه است، اندازه گیری فاصلهٔ زمین تا سیارک Eros بود که گاهی از نزدیکی زمین می گذرد و استفاده از روش مثلث بندی در مورد آن امکانپذیر است. با استفاده از روش بالا در مورد این جسم کوچک می توان مقیاس مناسب را به دست آورد.

با دانستن فاصله های نسبی بقیهٔ سیاره ها، می توان فاصله زمین تا خورشید و زمین تا پلوتون را تعیین کرد.

در سالهای اخیر توسعهٔ قابل ملاحظه ای در اطلاعات ما از مقیاس منظومهٔ شمسی حاصل شده است. در آزمایشگاه پیشرانش جت فاصلهٔ زمین تا زهره با دقت زیاد با رصد راداری مستقیم تعیین شده است. البته، این روش نوع




شکل ۸ـ مدارهای پنج سیاره با مدار هشت سیارک مقایسه شده است. این سیارکها در مسیرهای بیضی کشیدهٔ خود گاهی از نزدیکی زمین می گذرند. Eros از فاصله ۲۴ میلیون کیلومتری و هرمس از ۸۰۰۰۰۰ کیلومتری زمین می گذرد. این سیارکها را می توان برای اندازه گیری دقیق در منظومهٔ شمسی به کار برد.

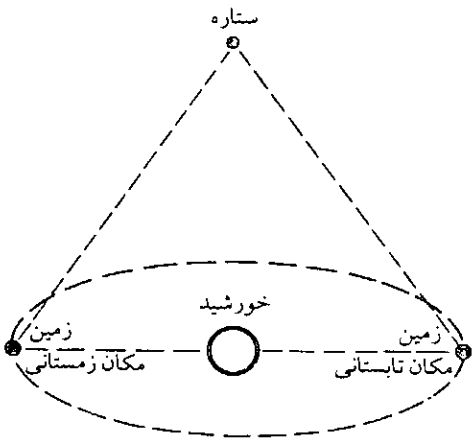
دیگری از اندازه گیری فاصله است. چون سرعت نور را می دانیم (و چون امواج رادار با سرعت نور حرکت می کنند) و فرض می کنیم که این سرعت در تمام نقطه های بین زمین تا زهره یکسان است، پس یک موج رادیویی گسیل می کنیم و تعداد یکاهای زمان را می شماریم تا موج بازتابیده به زمین برگردد. پس با استفاده از زمان و دانستن سرعت می توان فاصله را اندازه گرفت. پس تعریف دیگری از فاصله به دست آورده ایم.

فاصله تا ستاره را که بسیار دورتر است چگونه می توان اندازه گرفت؟ خوشبختانه می توان به روش مثلث بندی برگشت، زیرا حرکت زمین به گرد خورشید یک خط مبنا برای اندازه گیری اجسام خارج از منظومهٔ شمسی در اختیار ما می گذارد. اگر یک تلسکوپ را در تابستان و زمستان به طرف یک ستاره نشانه برویم، می توانیم امیدوار باشیم که دو زاویهٔ با دقت کافی به دست می آوریم و با استفاده از آنها می توانیم فاصله را تعیین کنیم.

اگر ستارگان برای استفاده از روش مثلث بندی بسیار دور باشند چه؟

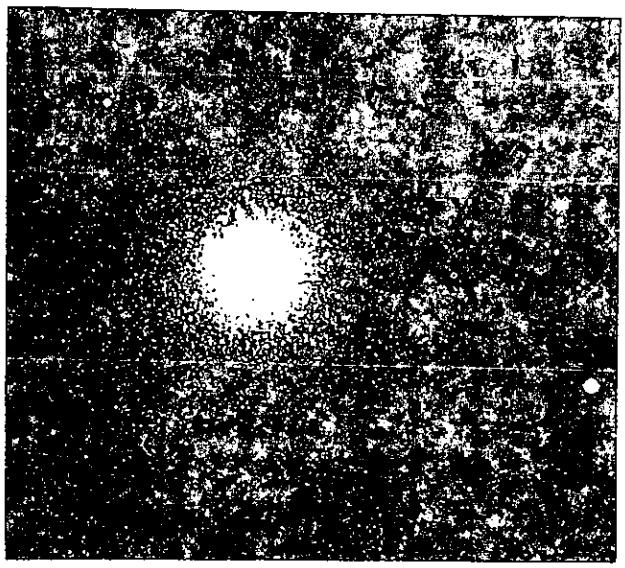
اخترشناسان همواره می توانند راهی را برای اندازه گیری فاصله بیابند. مثلاً، اندازه و درخشندگی ستاره را از رنگش برآورد می کنند. رنگ و درخشندگی بسیاری از ستارگان نزدیک ـ که فاصلهٔ آنها با روش مثلث بندی معلوم است ـ اندازه گیری شده است و مشاهده شده که رابطهٔ معینی میان رنگ و درخشندگی ذاتی ستاره (در بیشتر موارد) وجود دارد. حال اگر رنگ یک ستاره دور را تعیین کنیم، می توان با استفاده از رابطهٔ میان رنگ و درخشندگی، درخشندگی ذاتی آن را تعیین کرد. با تعیین اینکه ستاره تا چه اندازه درخشان به نظر می رسد، می توان فاصله آن را محاسبه کرد (برای یک درخشندگی ذاتی معین، درخشندگی ظاهری با عکس مجذور فاصله تغییر می کند). نتیجه های به دست آمده از اندازه گیری گروهی از ستارگان که به خوشه های کروی معروف اند، درستی این روش را تأیید می کند. تصویر گروهی از این ستارگان در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با نگاه به این شکل قانع می شویم که تمام این ستارگان با هم هستند. همین نتیجه از اندازه گیری فاصله با استفاده از روش رنگ درخشندگی به دست آمده است.

مطالعهٔ بسیاری از این خوشه های کروی اطلاعات




شکل ۹ ـ فاصله ستاره های نزدیک را می توان با استفاده از قطر مدار زمین به عنوان خط مبنا با روش مثلث بندی تعیین کرد.

جدیدی در اختیار ما گذاشته است. معلوم شده است که تعداد زیادی از این خوشه ها در قسمتهایی از آسمان وجود دارند و فاصلهٔ اغلب آنها تا زمین برابر است. این شواهد نشان می دهند که تراکم خوشه ها نمایندهٔ مرکز کهکشان است. پس نتیجه می گیریم که فاصلهٔ ما از مرکز کهکشان $۱۰^{۲۰}$ متر است. با دانستن اندازهٔ کهکشان خود، کلیدی برای فاصله تا کهکشانهای دیگر به دست می آوریم. شکل ۱۱ تصویر کهکشانی است که شکل آن شبیه کهکشان



شکل ۱۰ ـ خوشه ای از ستارگان در نزدیکی مرکز کهکشان ما. فاصلهٔ آنها از زمین در حدود ۳۰۰۰۰ سال نوری و یا $۳\times۱۰^{۲۰}$ متر است.

ماست. احتمالاً، اندازه فیزیکی آن با کهکشان ما یکسان است (شواهدی برای حمایت از این ایده وجود دارد)، اگر اندازهٔ آن با کهکشان ما برابر باشد، می توانیم فاصلهٔ آن را تعیین کنیم، چون می توانیم زاویه ای را که در آسمان می سازد اندازه بگیریم، قطر آن را نیز می دانیم و می توانیم فاصلهٔ آن را معین کنیم، م جدداً از روش مثلث بندی استفاده کرده ایم.

در سالهای اخیر با استفاده از تلسکوپ غول پیکر پالومار تصویر کهکشانهای دوردست نیز به دست آمده است. اکنون این باور وجود دارد که بعضی از این کهکشانها در نیمه راه مرز جهان قرار دارند ـ $۱۰^{۲۶}$ متر ـ بزرگترین فاصلهٔ اندازه گیری شده است.

**فاصله های کوتاه:** حال فاصله های کوتاه را در نظر می گیریم. تقسیم یک متر به جزئیات کوچکتر آسان است. بدون مشکل زیاد می توان آن را به هزار قسمت تقسیم کرد که جمع آنها یک متر شود. با استفاده از همین روش ولی مشکل تر (استفاده از یک میکروسکوپ)، می توان یک میلی متر را به هزار قسمت برابر تقسیم کرد و مقیاس میکرون (میلیونیم متر) را به دست آورد. ولی ارائه این روش برای مقیاسهای کوچکتر مشکل است. زیرا نمی توان اشیاء با اندازهٔ کوچکتر از طول موج نور مرئی ( $۵\times۱۰^{-۷}$ متر) را دید.

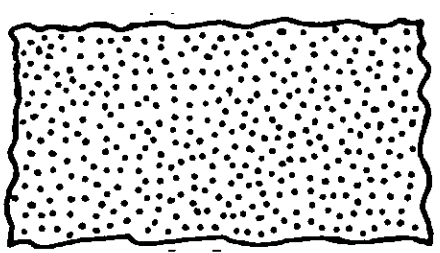
شکل ۱۱ ـ یک کهکشان مارپیچی مثل کهکشان ما. با فرض اینکه قطر آن با کهکشان ما برابر است. می توانیم فاصله را از اندازه ظاهری آن تعیین کنیم. این فاصله ۳۰ میلیون سال نوری ( $۳\times۱۰^{۲۲}$ ) است.

اما لزومی ندارد که در حد آنچه می توان دید توقف کرد. با استفاده از یک میکروسکوپ الکترونی می توان این فرآیند را با عکس گرفتن از مقیاسهای کوچکتر مثلاً تا $۱۰^{-۸}$ متر ادامه داد (شکل ۱۲). با اندازه گیریهای غیرمستقیم ـ نوعی مثلث بندی در مقیاس میکروسکوپیک ـ می توان اندازه گیری در مقیاسهای کوچکتر و کوچکتر را ادامه داد. ابتدا، از مشاهدهٔ بازتاب امواج با طول موج کوتاه (پرتوهای X) از الگویی از علامتهای با فاصلهٔ معین می توان طول موج این پرتوها را تعیین کرد. سپس از الگوی پراکندگی همان امواج از یک بلور می توان فاصلهٔ نسبی اتمها در بلور را تعیین کرد و نتیجه هایی به دست آورد که با فاصله های تعیین شده با روش شیمیایی سازگار باشد. به این ترتیب دریافته ایم که ابعاد اتمها در حدود $۱۰^{-۱۰}$ متر است.

«گاف» بزرگی در اندازهٔ فیزیکی اتم $۱۰^{-۱۰}$ متر و هسته $۱۰^{-۱۵}$ متر وجود دارد. برای اندازه گیری ابعاد هسته، روش اندازه گیری متفاوتی وجود دارد. ابتدا سطح ظاهری $\sigma$ را که سطح مقطع مؤثر نامیده می شود اندازه می گیریم. با استفاده از رابطهٔ $\sigma = \pi r^۲$ می توان شعاع هسته را به دست آورد.

اندازه گیری سطح مقطع هسته، با عبور باریکه ای از ذره های پرانرژی از تیغهٔ نازکی از ماده و مشاهدهٔ تعداد ذره هایی که رد نمی شوند انجام می گیرد. این ذره های پرانرژی از ابر نازک الکترونی رد می شوند و فقط در اثر برخورد با مادهٔ متراکم هسته ای متوقف یا منحرف می شوند. فرض کنید قطعه ای از ماده به ضخامت ۱ سانتی متر داریم، در این قطعه در حدود $۱۰^{۸}$ لایهٔ اتمی وجود دارد. اما هسته ها به اندازه ای کوچک اند که احتمال اینکه پشت سرهم قرار گیرند بسیار کم است.

می توان تصور کرد که تصویر بزرگ شدهٔ این وضعیت



شکل ۱۲ ـ دیدگاه خیالی در عبور از یک قطعه کربن به ضخامت ۱ سانتی متر اگر فقط هسته ها مشاهده شوند.

مانند چیزی است که در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

احتمال اینکه یک ذرهٔ کوچک در عبور از ماده به هسته برخورد کند برابر با سطح نمایه های هسته ای در شکل به سطح کل است. فرض کنید که در سطح A تیغه N اتم وجود دارد (هر اتم البته دارای یک هسته است. پس سطح کل پوشیده از هسته $\frac{N\sigma}{A}$ می شود. اگر تعداد ذره های موجود در باریکه که با تیغه برخورد می کند $n_1$ و تعدادی که از آن خارج می شوند $n_2$ باشد، کسر تعدادی که از تیغه رد نشده اند $\frac{n_1 - n_2}{n_1}$ است که باید برابر سطح پوشیده از هسته باشد. پس می توان شعاع هسته را از معادلهٔ زیر به دست آورد[1].

$$\pi r^2 = \sigma = \frac{A}{N} \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

با این نوع آزمایشها دریافته ایم که شعاع هسته از ۱ تا چند برابر $10^{-15}$ متر است. طول $10^{-15}$ متر را به افتخار انریکوفرمی، یک فرمی می نامند.

اما اگر به فاصله های کوتاهتر برویم چه می یابیم؟ آیا می توان فاصله های کوتاهتر را اندازه گرفت؟

**استاندارد طول:** نخستین استاندارد طول میله ای از آلیاژ پلاتین ـ ایریدیوم بود که در ادارهٔ بین المللی اوزان و مقادیر در نزدیکی پاریس نگهداری می شد. فاصلهٔ میان دو علامت حک شده در دو انتهای این میله در دمای $0^\circ C$ و در وضعیت خاص برابر با یک متر تعریف شده بود. از نظر تاریخی، متر یک ده میلیونیم فاصله از قطب شمال تا استوا در امتداد نصف النهاری که از پاریس می گذرد تعریف شده بود. اما اندازه گیریهای دقیق نشان دادند که متر استاندارد با این مقدار اندکی تفاوت دارد (در حدود ٪ ۰/۳۲). سایر مترهای استاندارد با این متر مقایسه می شدند.

استانداردی دقیق تر و تجدیدپذیر هنگامی به دست آمد که فیزیکدان امریکایی آلبرت مایکلسون در سال ۱۸۹۳/۱۲۷۲ طول متر استاندارد را با طول موج نور قرمز اتمهای کادمیوم مقایسه کرد. مایکلسون طول متر استاندارد را به دقت اندازه گرفت و مشاهده کرد که ۱,۵۵۳,۱۶۳,۵ برابر این طول موج است. لامپهای کادمیوم مشابه را می توان در هر آزمایشگاه داشت، پس دانشمندان در نقطه های مختلف جهان می توانند یک استاندارد طول بدون مراجعه به میلهٔ متر استاندارد داشته باشند.

اما به رغم پیشرفتهای تکنولوژیکی، متر فلزی تا سال ۱۹۶۰/۱۳۳۹ استاندارد رسمی باقی ماند تا در یازدهمین کنفرانس عمومی اوزان و مقادیر استاندارد اتمی برای متر پذیرفته شد. این استاندارد طول موج نور نارنجی ایزوتوپ $Kr^{86}$ در خلأ بود به طور دقیق یک متر ۱,۶۵۰,۷۶۳,۷۳ برابر این طول موج است. با اندازه گیری کسر این طول موج دانشمندان توانسته اند اندازه گیریهایی با دقت کمتر از یک قسمت در $10^9$ انجام دهند.

انتخاب اتم $Kr^{86}$ چند دلیل داشت. این اتم همه جا در دسترس و طول موج انتخاب شده کاملاً مشخصهٔ $Kr^{86}$ است و به دقت قابل تعیین می باشد. این ایزوتوپ را می توان به آسانی به صورت خالص به دست آورد.

در سال ۱۹۸۳/۱۳۶۲ برای دستیابی به دقت بیشتر قدمی متهورانه برداشته شد و متر، فاصله ای تعریف شد که موج نورانی دربازهٔ زمانی معینی طی می کند. طبق تعریف هفدهمین کنفرانس عمومی اوزان و مقادیر

**متر طول مسیری است که نور دربازهٔ زمانی $\frac{1}{299,792,458}$ ثانیه در خلأ می پیماید.**

که معادل آن است که بگوییم سرعت نور برابر مقدار زیر تعریف شده است

$$c = 299,792,458\ m/s$$

تعریف جدید لازم بود زیرا اندازه گیری سرعت نور به اندازه ای دقیق شده است که تکرارپذیری متر $Kr^{86}$ خود عامل محدودکننده است. از این نظر بهتر است که سرعت نور را به عنوان یک کمیت تعریف شده به کار بریم: جدول ۲ طولهای اندازه گیری شده را نشان می دهد که می توان با این استاندارد مقایسه کرد.

**جدول ۲ ـ بعضی از طولهای اندازه گیری شده**

| فاصله | متر |
|---|---|
| فاصله تا دورترین کوازار مشاهده شده | $2\times10^{26}$ |
| فاصله تا کهکشان آندرومه را | $2\times10^{22}$ |
| شعاع کهکشان ما | $2\times10^{19}$ |
| فاصله تا نزدیکترین ستاره (پروکسیماسنتوری) | $4\times10^{16}$ |
| شعاع متوسط مدار دورترین سیاره (پلوتون) | $2\times10^{12}$ |

| | |
|---|---|
| شعاع خورشید | $۷\times۱۰^{۸}$ |
| شعاع زمین | $۶\times۱۰^{۶}$ |
| ارتفاع کوه اورست | $۹\times۱۰^{۳}$ |
| قد انسان | $۲\times۱۰^{۰}$ |
| ضخامت ورق کاغذ | $۱\times۱۰^{-۴}$ |
| اندازه یک ویروس نمونه | $۱\times۱۰^{-۶}$ |
| شعاع اتم هیدروژن | $۵\times۱۰^{-۱۱}$ |
| شعاع مؤثر پروتون | $۱\times۱۰^{-۱۵}$ |

**سخن آخر :** اندازه گیریهای فاصله و زمان نتیجه هایی می دهند که به ناظر بستگی دارد. دو ناظر که نسبت به یکدیگر حرکت می کنند فاصله و زمان را برای آنچه یک چیز به نظر می رسد یکسان اندازه نمی گیرند. بازه های زمانی و مکانی برحسب دستگاه مختصات قدرهای متفاوت دارند.

قوانین طبیعت اندازه گیریهای کامل و دقیق فاصله ها یا زمانها را مجاز نمی دارند. می دانیم که خطای اندازه گیری محل یک شیئی باید لااقل به اندازهٔ

$$\Delta x = \frac{h}{\Delta p}$$

باشد که در آن h کمیتی است که «ثابت پلانک» نامیده می شود و $\Delta p$ خطا در تکانهٔ جسمی است که اندازه گیری محل آن مورد نظر است. عدم قطعیت در اندازه گیریهای مکانی به طبیعت موجی ذره بستگی دارد.

نسبیت فضا و زمان ایجاب می کند که اندازه گیریهای زمانی نیز دارای خطای کمینه ای باشند که از رابطهٔ زیر به دست می آید :

$$\Delta t = \frac{h}{\Delta E}$$

که در آن $\Delta E$ خطا در معلومات ما از مقدار انرژی فرآیندی است که دورهٔ زمانی آن را اندازه می گیریم. اگر بخواهیم با دقت بیشتر بدانیم که رویدادی چه وقت رخ می دهد باید در مورد آنچه روی می دهد کمتر بدانیم، زیرا اطلاعات ما در مورد انرژی کمتر خواهد بود. عدم قطعیت در زمان نیز وابسته به ماهیت موجی ماده است.

**زیرنویس :**

۱ـ البته معادله در صورتی دقیق است که سطح پوشیده از هسته کسر کوچکی از سطح کل باشد. در غیر این صورت باید برای هسته هایی که تا حدی هسته های دیگر را می پوشانند تصحیح کرد.

## مراجع


1. "The Feynman Lectures on Physics" R. P. Feynman, R.B. Leighton and M. Sands. Addison wesley, 1972.

2. "Man Probes the Universe", C. A. Ronan, Aldus Books London, 1964.

3. "Physics" vol, I, Resnik, Halliday, Krane, Jhon wiley, 1992.

4. "Fundamentals of Physics", Halliday, Resnik, Walker, Jhon wiley, 1993.

# درسنامهٔ

# فضا و زمان در نسبیّت خاص

## ادامه از شمارهٔ ۳۷

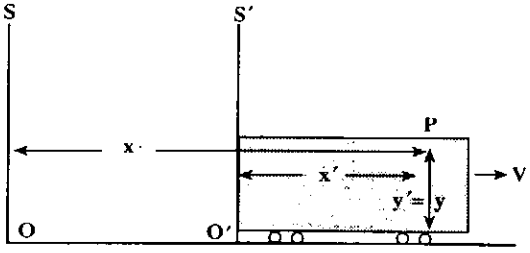
دکتر منیژهٔ رهبر ـ گروه فیزیک دانشگاه تهران

### ۶ ـ تبدیل لورنتس

اکنون به مرحله‌ای رسیده‌ایم که می‌توانیم به این سؤال کلی پاسخ دهیم: اگر مختصات x ، y ، z یک رویداد را که در زمان t در چارچوب مرجع s اندازه گیری می‌شود بدانیم، چگونه می‌توانیم مختصات $x'$ ، $y'$ ، $z'$ ، و $t'$ همان رویداد را که در چارچوب $s'$ اندازه گرفته می‌شود به دست آوریم؟ قبل از پاسخگویی نسبیتی به این سؤال، پاسخ کلاسیکی را به اختصار بررسی می‌کنیم.

در چارچوب معمولی s و $s'$ را چنان در نظر می‌گیریم که s متصل به زمین و $s'$ متصل به قطاری باشد که با سرعت ثابت v نسبت به s حرکت می‌کند. (شکل ۴)

از آنجا که قانونهای فیزیک به انتخاب مبدأ و چارچوب مرجع بستگی ندارند، بنابراین ox و $o'x'$ را در امتداد خط موازی با v در نظر می‌گیریم.




شکل ۴ ـ در فیزیک کلاسیک ارتباط در چارچوب مرجع به صورت شکل بالاست.

بعلاوه مبدأ زمان را در $t = t' = 0$ که o از $o'$ می‌گذرد انتخاب می‌کنیم. این ترتیب را پیکربندی استاندارد هم می‌گویند.

حال رویدادی مانند انفجار یک ترقه را در نظر می‌گیریم

که در مکان x ، y ، z و در لحظهٔ t در چارچوب s رخ می‌دهد. مسئلهٔ مورد نظر ما، محاسبهٔ مختصات x′ ، y′ ، z′ و t′ همین رویداد در چارچوب s′ است. با درنظرگرفتن ایده‌های کلاسیکی فضا و زمان، چون زمان در فیزیک کلاسیک کمیتی مطلق است، پس t = t′ ، سپس با توجه به شکل داریم x′ = x − vt ، y′ = y و z′ = z ، اگرچه مختصهٔ z در شکل نشان داده نشده است. بنابراین طبق ایده‌های کلاسیکی داریم:

$$\begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned} \qquad (۲۰)$$

این چهار معادله را معمولاً **تبدیل گالیله** می‌نامیم. این معادله‌ها مختصات x ، y ، z و t مربوط به یک رویداد در چارچوب s را به مختصات متناظر x′ ، y′ ، z′ و t′ همان رویداد در چارچوب s′ تبدیل می‌کنند.

حال اگر مختصات x′ ، y′ ، z′ و t′ را داشته باشیم، می‌توانیم معادله‌های (۲۰) را حل کنیم و x ، y ، z و t را از رابطه‌های زیر به دست آوریم:

$$\begin{aligned} x &= x' + vt \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t' \end{aligned} \qquad (۲۱)$$

توجه کنید که معادله‌های (۲۱) را می‌توانستیم با تبدیل x ، y ، z و t به x′ ، y′ ، z′ و t′ و جایگزینی v با v− به دست آوریم. زیرا رابطهٔ s با s′ همان رابطهٔ s′ با s است که در آن علامت سرعت نسبی تغییر کرده است.

تبدیل گالیلهٔ (۲۰) رابطهٔ صحیح نسبیتی میان x ، y ، z ، t و x′ ، y′ ، z′ و t′ نیست (زیرا مثلاً با توجه به اتساع زمان می‌دانیم که رابطهٔ t = t′ نمی‌تواند درست باشد.) از طرف دیگر تبدیل گالیله با تجربهٔ روزمرهٔ ما کاملاً سازگار است و بنابراین باید وقتی v در مقایسه با c کوچک است (با تقریب بسیار خوب) درست باشد. پس، رابطهٔ میان x ، y ، z ، t و x′ ، y′ ، z′ و t′ وقتی $\frac{v}{c}$ کوچک است به صورت رابطهٔ تبدیل گالیلهٔ (۲۰) درآید.

برای یافتن رابطهٔ درست میان x ، y ، z ، t و x′ ، y′ ، z′ ، t′ همان آزمایش قبلی را در نظر می‌گیریم. می‌دانیم که برای فاصله‌های عمود بر v انقباض یا انبساطی صورت نمی‌گیرد بنابراین، این فاصله‌ها در هر دو چارچوب s و s′ یکسان‌اند:

$$y' = y \quad , \quad z' = z \qquad (۲۲)$$

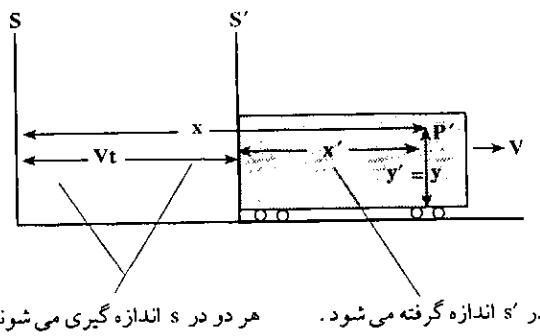
که همان مقدارهای گالیله‌ای‌اند. برای به دست آوردن x′ باید چارچوبهایی را که کمیتها در آنها اندازه‌گیری می‌شوند به دقت دنبال کنیم. بعلاوه، بهتر است انفجارها را چنان ترتیب دهیم که مختصات مربوط به آنها به صورت سوختگی روی دیوار قطار در نقطهٔ p′ رویداد به جا بماند. فاصلهٔ افقی از مبدأ o′ تا علامت p′ در چارچوب s′ برابر x′ است. در عین حال، همین فاصله در چارچوب s ، x − vt است (زیرا x و vt فاصله‌های افقی o تا p′ و o تا o′ در لحظهٔ t در چارچوب s است). بنابراین، با توجه به رابطهٔ انقباض طول داریم:

$$x - vt = \frac{x'}{\gamma}$$

یا

$$x' = \gamma(x - vt) \qquad (۲۳)$$

رابطهٔ بالا x′ را بر حسب x و t می‌دهد و این سومین معادلهٔ موردنظر ماست. توجه کنید که اگر v کوچک باشد γ ≈ ۱ و معادلهٔ (۲۳) به صورت اولین معادلهٔ تبدیل گالیله درمی‌آید.




شکل ۵ـ مختصه x′ در s′ اندازه گرفته می‌شود. فاصله x و vt در زمان t در چارچوب s اندازه‌گیری می‌شوند.

سرانجام، برای به دست آوردن t′ بر حسب x ، y ، z و t از شگرد ساده‌ای استفاده می‌کنیم. می‌توان بحثهای منجر به معادلهٔ (۲۳) را با عوض کردن جای s و s′ تکرار کرد. یعنی می‌گذاریم تا سوختگی حاصل از انفجار در نقطهٔ p روی دیوار ثابت در چارچوب s اثر بگذارد و با استدلال مشابه

مورد قبل خواهیم داشت:

$$x = \gamma(x' + vt') \qquad (۲۴)$$

[مجدداً می توان رابطهٔ بالا را با جایگزین کردن x و t با $x'$ و $t'$ و v با $-v$ به دست آورد]. معادلهٔ (۲۴) نتیجهٔ مورد نظر ما نیست، اما می توان با ترکیب آن با معادلهٔ (۲۳) و حذف $x'$، مقدار $t'$ را به دست آورد. با قرار دادن رابطهٔ (۲۳) در (۲۴) خواهیم داشت:

$$x = \gamma[\gamma(x - vt) + vt']$$

که با حل آن برای $t'$ خواهیم داشت:

$$t' = \gamma t - \frac{\gamma^2 - 1}{\gamma v} x$$

یا

$$t' = \gamma(t - \frac{vx}{c^2}) \qquad (۲۵)$$

که $t'$ را بر حسب x و t می دهد. اگر $\frac{v}{c}$ خیلی کوچکتر از ۱ باشد، می توان از جملهٔ دوم رابطهٔ بالا چشمپوشی کرد و چون $\gamma \approx 1$ مقدار $t \approx t'$ به دست می آید که با تبدیل گالیله سازگار است. با ترکیب معادله های (۲۲)، (۲۳) و (۲۵) چهار معادلهٔ مورد نظر به دست می آید:

$$\boxed{\begin{aligned} x' &= \gamma(x - vt) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \gamma(t - \frac{vx}{c^2}) \end{aligned}} \qquad (۲۶)$$

این معادله به افتخار فیزیکدان هلندی لورنتس که ابتدا آنها را پیشنهاد کرد و اینشتین که آنها را به درستی تفسیر کرد **تبدیل لورنتس**، یا **تبدیل لورنتس ـ اینشتین** نامیده می شوند. تبدیل لورنتس فرم نسبیتی صحیح تبدیل گالیله (۲۰) است.

اگر بخواهیم x، y، z و t را بر حسب $x'$، $y'$، $z'$ و $t'$ به دست آوریم، کافی است که مقدارهای پریم دار را با مقدارهای بدون پریم عوض کرده و v را به $-v$ تبدیل کنیم:

$$\boxed{\begin{aligned} x &= \gamma(x' + vt') \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \gamma(t' + \frac{vx'}{c^2}) \end{aligned}} \qquad (۲۷)$$

معادله های بالا گاهی تبدیل لورنتس *وارون* خوانده می شوند.

تبدیل لورنتس تمام ویژگیهای فضا و زمان ناشی از فرضهای نسبیت را بیان می کند. با استفاده از آن می توان رابطه های سینماتیکی بین اندازه گیری در چارچوبهای لخت مختلف را محاسبه کرد، در ادامه بحث مثالهایی در این مورد آورده می شود.

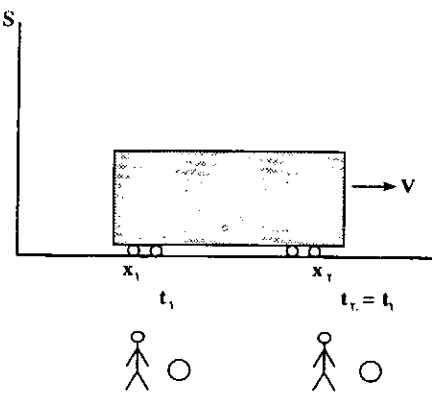
## ۷ ـ کاربردهای تبدیل لورنتس

در این بخش چند مسئله را که می توان با استفاده از تبدیل لورنتس به آسانی حل کرد بررسی می کنیم. دو مثال اول مربوط به دو مسئلهٔ شناخته شده و مثال سوم راجع به یکی از پارادوکسهای نسبیت است.

**مثال ۱** ـ با استفاده از معادله های (۲۶) تبدیل لورنتس، فرمول انقباض طول را به دست آورید.

توجه کنید که برای به دست آوردن تبدیل لورنتس از فرمول انقباض طول استفاده کردیم. بنابراین، این مثال دلیل تازه ای برای انقباض طول نیست، بلکه آزمونی از سازگاری تبدیل لورنتس است که همان نتیجه هایی را می دهد که در به دست آوردن آن مورد استفاده قرار گرفته است. به هر حال، می توان نتیجه گرفت که تبدیل لورنتس یک واقعیت تجربی است که به اثبات رسیده است و در نتیجه فرمول انقباض طول را به دست آورد.

مانند مورد قبل فرض می کنیم که می خواهیم طول یک قطار (چارچوب $s'$) را که با سرعت v نسبت به زمین (چارچوب s) حرکت می کند اندازه بگیریم. اگر مختصات عقب و جلوی قطار در چارچوب $s'$ به ترتیب $x'_1$ و $x'_2$ باشد، ویژه طول قطار (طول آن که در چارچوب سکون




شکل ۶ ـ اگر دو ناظر $x_1$ و $x_2$ را همزمان ($t_1 = t_2$) اندازه بگیرند خواهیم داشت $L = x_2 - x_1$.

اندازه گیری شده است) برابر است با:

$$L_0 = L' = x'_2 - x'_1 \qquad (۲۸)$$

برای به دست آوردن طول L در s، دو ناظر را به دقت روی زمین قرار می دهیم تا مختصات $x_1$ و $x_2$ عقب و جلوی قطار را در زمان مناسب t اندازه بگیرند (البته باید هر دو اندازه گیری در یک زمان t صورت گیرد.) بر حسب این مختصات طول L در چارچوب s (شکل ۶) برابر است با:

$$L = x_2 - x_1$$

حال دو رویداد زیر را با مختصات آنها در چارچوب $s'$ در نظر می گیریم.

| رویداد | شرح | مختصات در $s'$ |
|---|---|---|
| ۱ | عقب قطار از مقابل ناظر می گذرد | $x_1,\ t_1$ |
| ۲ | جلوی قطار از مقابل ناظر می گذرد | $x,\ t_2 = t_1$ |

می توان با استفاده از تبدیل لورنتس مختصات هر رویداد را در $s'$ محاسبه کرد.

| رویداد | مختصات در $s'$ |
|---|---|
| ۱ | $x'_1 = \gamma(x_1 - vt_1)$ |
| ۲ | $x'_2 = \gamma(x_2 - vt_2)$ |

(ما زمان $t'_1$ و $t'_2$ را ذکر نکرده ایم، زیرا مورد نظر ما نیستند). تفاوت این دو مختصات برابر است با:

$$x'_2 - x'_1 = \gamma(x_2 - x_1) \qquad (۲۹)$$

(توجه کنید که $t_1$ و $t_2$ حذف می شوند زیرا با هم برابرند). چون تفاوت دو مقدار در رابطهٔ بالا به ترتیب $L'$ و $L$ است، پس داریم $L_0 = \gamma L$ و

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

**مثال ۲ ـ** با استفاده از تبدیل لورنتس رابطهٔ اتساع زمان را به دست آورید.

در بحث اتساع زمان دو رویداد، جرقه و بوق را که در چارچوب $s'$ رخ می داد در نظر گرفتیم:

$$x'_{\text{جرقه}} = x'_{\text{بوق}}$$

ویژه زمان بین این دو رویداد، زمانی بود که در چارچوب $s'$ اندازه گرفته می شد:

$$\Delta t_0 = \Delta t' = t'_{\text{بوق}} - t'_{\text{جرقه}}$$

برای بدست آوردن ارتباط آن با زمان:

$$\Delta t = t_{\text{بوق}} - t_{\text{جرقه}}$$

در s بهتر است از وارون تبدیل لورنتس (۲۷) استفاده کنیم که رابطه های زیر را می دهد:

$$t_{\text{بوق}} = \gamma\left(t'_{\text{بوق}} + \frac{vx'_{\text{بوق}}}{c^2}\right)$$

$$t_{\text{جرقه}} = \gamma\left(t'_{\text{جرقه}} + \frac{vx'_{\text{جرقه}}}{c^2}\right)$$

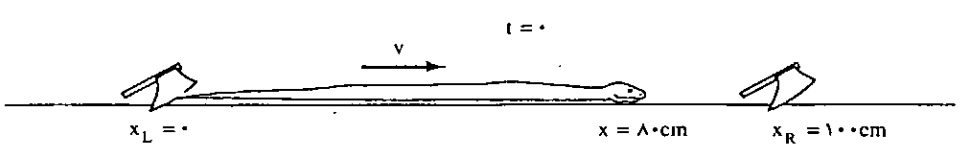
اگر اختلاف دو معادله را در نظر بگیریم، مختصات $x'_{\text{بوق}}$ و $x'_{\text{جرقه}}$ حذف می شوند (چون با هم برابرند) و نتیجهٔ مطلوب به دست می آید:

$$\Delta t = t_{\text{بوق}} - t_{\text{جرقه}} = \gamma(t'_{\text{بوق}} - t'_{\text{جرقه}}) = \gamma\Delta t_0$$

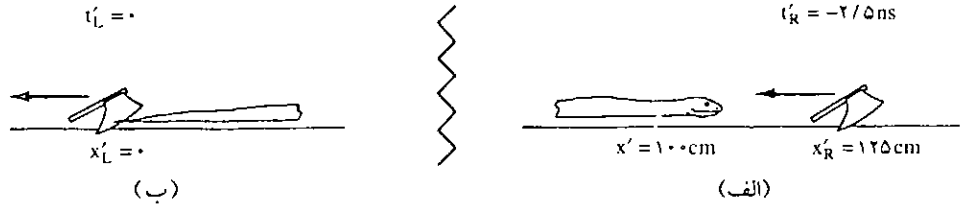
**مثال ۳ ـ** یک مار نسبیتی با ویژه طول ۱۰۰ سانتیمتر با سرعت $v = 0/6c$ روی میز به طرف راست حرکت می کند. یک پسر شیطان، که قصد آزار مار را دارد، دو تبرچه را در فاصلهٔ ۱۰۰ سانتیمتر از یکدیگر نگهداشته است و می خواهد آنها را به طور همزمان به میز فرود آورد به طوری که تبرچه سمت چپ درست پشت دم مار فرود آید. این پسر استدلال می کند که «مار با $\beta = 0/6$ حرکت می کند، بنابراین طول آن با ضریب:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0/36}} = \frac{5}{4}$$

منقبض می شود و طول آن (که در چارچوب سکون پسرک




شکل ۷ ـ در چارچوب s پسرک، دو تبرچه همزمان فرو می‌آیند (در $t = 0$) و فاصلهٔ آنها ۱۰۰ سانتیمتر است؛ چون طول مار ۸۰ سانتیمتر است به او آسیبی نمی‌رسد.




شکل ۸ ـ چنانکه در چارچوب $s'$ مشاهده می‌شود، هر دو تبرچه به طرف چپ حرکت می‌کنند. تبرچه طرف راست قبل از تبرچه سمت چپ فرود می‌آید: اگر چه فاصلهٔ تبرچه‌ها فقط ۸۰ سانتیمتر است، این مطلب سبب می‌شود (ب) آنها در محلهایی فرود آیند که با هم ۱۲۵ سانتیمتر فاصله دارند.

اندازه گرفته می‌شود) ۸۰ سانتیمتر می‌شود که ایجاب می‌کند تبرچهٔ سمت راست در ۲۰ سانتیمتری جلوی مار فرود آید و آسیبی به او نرسد.» دیدگاه پسرک از این تجربه در شکل ۷ نشان داده شده است. از طرف دیگر مار استدلال می‌کند که «تبرها با $\beta = 0/6$ به من نزدیک می‌شوند و فاصلهٔ بین آنها به ۸۰ سانتیمتر کاهش می‌یابد. از آنجا که طول من ۱۰۰ سانتیمتر است. هنگام فرود آمدن تبرها قطعه قطعه می‌شوم.» با استفاده از تبدیل لورنتس این پارادوکس را حل کنید.

اجازه دهید چارچوبهای مختصات را به صورت زیر انتخاب کنیم: مار در چارچوب $s'$ ساکن است و دمش در مبدأ $x' = 0$ و سرش در $x' = 100$ قرار دارد. دو تبر در چارچوب $s$ در حال سکون‌اند و تبر چپ در مبدأ و تبر راست در $x = 100cm$ قرار دارد.

در چارچوب $s$ دو تبر همزمان در $t = 0$ فرود می‌آیند. در این زمان دم مار در $x = 0$ و سرش در $x = 80cm$ است. [می‌توان این مقدار را با استفاده از تبدیل $x' = \gamma(x - vt)$ با $x = 80cm$ و $t = 0$ محاسبه کرد که به دست می‌آوریم $x' = 100cm$.]

آزمایش چنانکه در چارچوب $s$ مشاهده می‌شود در شکل ۸ نشان داده شده است. توجه کنید که پیش‌بینی پسرک درست است و مار آسیبی نمی‌بیند. پس، استدلال مار باید غلط باشد.

برای اینکه ببینیم چه چیزی در استدلال مار غلط است، باید مختصات به ویژه زمان فرود آمدن تبرچه‌ها را بررسی کنیم. مطابق آنچه در چارچوب $s'$ مشاهده می‌شود، تبرچه سمت چپ در $t_L = 0$ و $x_L = 0$ فرود می‌آید. با استفاده از تبدیل لورنتس مختصات این رویداد، در $s'$ به صورت زیر است:

$$t'_L = \gamma(t_L - \frac{vx_L}{c^2}) = 0$$

و

$$x'_L = \gamma(x_L - vt_L) = 0$$

همان طور که انتظار می‌رود، تبرچه بلافاصله در $t'_L = 0$ در مجاورت دم مار فرود می‌آید (شکل ۸).

از طرف دیگر، تبرچه سمت راست در $t_R = 0$ و $x_R = 100cm$ فرود می‌آید که در چارچوب $s'$ با استفاده از تبدیل لورنتس متناظر با $t'_R$ برابر مقدار زیر است:

$$t'_R = \gamma(t_R - \frac{vx_R}{c}) = \frac{5}{4}(0 - \frac{0/6c \times (100cm)}{c^2})$$

$$= -2/5ns$$

مشاهده می‌کنیم که طبق آنچه در چارچوب $s'$ اندازه گیری می‌شود، دو تبرچه ***همزمان فرود نمی‌آیند***. چون تبرچهٔ سمت راست قبل از تبرچهٔ سمت چپ فرود می‌آید، بنابراین لزومی ندارد که با مار برخورد کند، اگرچه فاصلهٔ دو تبرچه (در این چارچوب) ۸۰ سانتیمتر باشد. در واقع، محل فرود آمدن تبرچه با استفاده از تبدیل لورنتس از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$x'_R = \gamma(x_R - vt_R) = \frac{5}{4}(100cm - 0) = 125cm$$

و همان طور که در شکل (۸) نشان داده شده است به مار نمی‌خورد.

حل این پارادوکس و بسیاری از پارادوکسهای مشابه آن است که دو رویداد همزمان در یک چارچوب، الزاماً در چارچوبهای دیگر همزمان مشاهده نمی‌شوند. همین که متوجه شدیم دو تبرچه در چارچوب سکون مار در زمانهای مختلف فرود می‌آیند، دیگر مسئله‌ای در درک این که چرا تبرچه‌ها به مار برخورد نمی‌کنند، نداریم.

# برندگان
# جایزهٔ نوبل فیزیک
# سال ۱۹۹۵

جایزهٔ نوبل فیزیک سال ۱۹۹۵ به دو فیزیکدان امریکایی داده شد که کارهای جالب توجهی در فیزیک لپتون انجام داده‌اند.

مارتین. پرل (Martin L. Perl) از دانشگاه استانفورد و همکارانش در یک سری آزمایش بین سالهای ۱۹۷۴ و ۱۹۷۷ در مرکز شتابدهندهٔ خطی استانفورد کشف کردند که الکترون خویشاوندی دارد که ۳۵۰۰ بار از آن سنگینتر است.

فردریک راینس (Frederick Reines) از دانشگاه کالیفرنیا در ایروایِن در سالهای دهه ۱۹۵۰ با همکاری مرحوم کلاید. کووان (Clyde Cowan) طی آزمایشی وجود پادنوترینوی الکترونی را به اثبات رساند.

اعطاء جایزه نوبل به این دو فیزیکدان به خاطر کوششهایی بود که این دو در جهت روشن ساختن پرسشهایی کردند که همواره ذهن بشر را به خود مشغول داشته است. می‌دانیم که طبق آخرین نظریه‌های علمی، جهان در یک مهبانگ به وجود آمده است. انسان همواره می‌خواسته است که بداند «جهان از چه ساخته شده است؟» «کوچکترین اجزاء تشکیل دهندهٔ آن کدامند و چه ویژگیهایی دارند؟» «این اجزاء چه اطلاعاتی در مورد گذشته و آیندهٔ جهان در اختیار ما می‌گذارند؟» برندگان جایزهٔ نوبل امسال با کشف دو ذرهٔ زیراتمی جالب توجه نقش بنیادی در روشن ساختن این پرسشها داشته‌اند.

طبق مدل استاندارد **دوازده ذره بنیادی** مادهٔ موجود در جهان را می‌سازند. هر یک از این ذرات دارای پادذرهٔ مربوط به خود هستند. البته ذرات زیراتمی دیگری نیز وجود دارند که ذرات **نیرو** خوانده می‌شود و مسئول نیروهای قوی هسته‌ای، الکترومغناطیسی، و ضعیف هسته‌ای هستند.

ذرات تشکیل دهندهٔ ماده سه خانواده را تشکیل می‌دهند که هر خانواده متشکل از دو کوارک و دو لپتون است. تفاوت بنیادی کوارکها و لپتونها آن است که نیروی هسته‌ای قوی تأثیری بر لپتونها ندارد.

ذرات بنیادی مدل استاندارد ـ یک جدول تناوبی جدید

| نام خانواده | لپتونها | | کوارکها | |
|---|---|---|---|---|
| خانوادهٔ ۱ | e | $\upsilon_e$ | u | d |
| خانوادهٔ ۲ | $\mu$ | $\upsilon_\mu$ | C | S |
| خانوادهٔ ۳ | $\tau$ | $\upsilon_\tau$ | t | b |

کوارکهای اولین خانواده، «کوارک بالا» و «کوارک پایین» هستند. اعضای لپتونی این خانواده الکترون و نوترینوی الکترونی است.

دو کوارک این خانواده پروتون و نوترون را می‌سازند که به نوبهٔ خود هستهٔ اتم یعنی بیش از ۹۹٪ مادهٔ موجود در زمین را می‌سازند. آنچه باقی می‌ماند الکترون است. نوترینوی الکترونی را تقریباً می‌توان الکترونی در نظر گرفت که جرم و بار ندارد. این نوترینوی الکترونی را راینس و کووان در

آزمایشگاه ملی لوس آلدموس به دام انداختند.

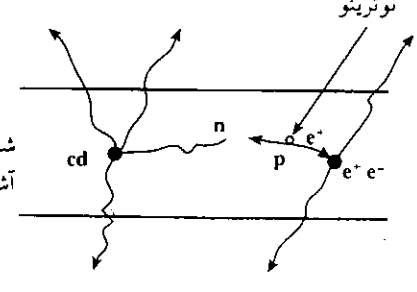
تولد نوترینو به صورت یک ذرهٔ فرضی در سال ۱۹۳۰ صورت گرفت. ولفگانگ پائولی (برندهٔ جایزهٔ نوبل فیزیک سال ۱۹۴۵) وجود این ذره را برای حل مشکلات فراوانی درنظر گرفت که در واپاشی بتازا به وجود آمده بود. چون به نظر می رسید که اصل پایستگی انرژی که یکی از اصول پایستگی مهم در فیزیک است در این واپاشی نقض شده است. پائولی برای برقراری نظم در جهان فیزیک فرض کرد که در واپاشی بتازا همراه الکترون ذرهٔ دیگری به نام نوترینو گسیل می شود که قسمتی از انرژی واکنش را همراه می برد. چون این ذره جرم و بار ندارد، ردّی از خود در آشکارساز به جا نمی گذارد. پائولی تصور می کرد که با پیشنهاد وجود ذره ای که امکان آشکارسازی آن وجود ندارد، کار وحشتناکی کرده است. سه دهه طول کشید تا نبوغ راینس و کووان، نوترینو را از حالت یک ذره فرضی به صورت یک ذره بنیادی واقعی درآورد.

طرح آزمایش راینس و کووان در شکل (۱) نشان داده شده است. هدف در این آزمایش ۴۰۰ لیتر آب حاوی کلرید کادمیم بود که بین آشکارسازهای سوسو زن مایع بزرگ قرار گرفته بود. مراحل واکنش به صورت زیر بود:

پوزیترون + نوترون ⟶ پروتون + پادنوترینو

$$\bar{\upsilon} + p \longrightarrow n + e^{-1}$$

یعنی پادنوترینو با یک پروتون برخورد می کرد و یک نوترون و یک پوزیرون تولید می کرد. پوزیترون در آب کند می شد و همراه با الکترون نابود می شد (بر اثر برخورد ماده با پادماده) و دو فوتون خلق می شد. این دو فوتون همزمان در دو آشکارساز ثبت می شدند. نوترون نیز در آب کند می شد و سرانجام جذب هستهٔ کادمیم شده و بر اثر جذب فوتونهایی گسیل می شد. این فوتونها که یک میکروثانیه پس از نابودی الکترون و پوزیترون می رسیدند مدرکی دال بر وجود




شکل ۱ ـ تصویر طرح وار آشکارساز راینس و کووان

پادنوترینو بود. تعداد رویدادها در این آزمایش بسیار کم و زمینه بسیار بالا بود. در طول آزمایش در هر ساعت فقط چند رویداد ثبت می شد. با وجود این، راینس و کووان توانستند به غیرممکن دست یابند و نوترینو را آشکار کنند.

پرل و همکارانش در برخورد شاخ به شاخ الکترون و پوزیترون واکنشهای زیر را مشاهده کردند.

ذرات نامرئی + پادموئون + الکترون ⟶ پوزیترون + الکترون

ذرات نامرئی + موئون + پوزیترون ⟶ پوزیترون + الکترون

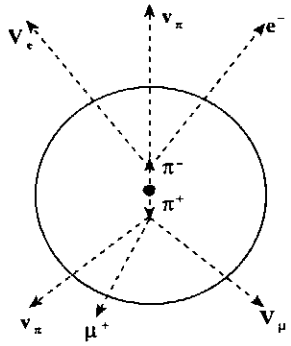
ذرات نامرئی هیچگونه ردی از خود در آشکارساز بزرگ استوانه ای که در میدان مغناطیسی ناحیهٔ برخورد را احاطه کرده بود به جا نمی گذاشتند. اما پرل و همکارانش با استفاده از اصل پایستگی انرژی متوجه شدند که لپتون سنگینی را کشف کرده اند که بعداً ذره تأو نامیده شد. یعنی:

پادتأو + تأو ⟶ پوزیترون + الکترون

این دو ذره به سرعت واپاشیده می شدند و الکترونها و موئونهای مشاهده شده محصول واپاشی زیر بودند:

نوترینوها + (موئون) الکترون ⟶ تأو

نوترینوها + (پوزیترون) پادموئون ⟶ پادتأو




شکل ۲ ـ تعبیر رد الکترون ـ موئون در آشکارساز مرکز شتابدهندهٔ خطی استانفورد. دو لپتون سنگین در چند میلیمتری محل برخورد واپاشیده می شوند و مستقیماً قابل مشاهده نیستند. همین طور نوترینوها. فقط ذرات باردار e و μ آشکار می شوند.

ذرات نامرئی نوترینوها بودند که چون بر هم کنشی با مادهٔ آشکارساز ندارند، ردّی از خود به جا نمی گذارند. اما با توجه به پایستگی انرژی می توان به وجود آنها پی برد.

فرض پرل و همکارانش در یک سری آزمایش طی سالهای متوالی آزموده شد و در نتیجه وجود خویشاوندی سنگین برای الکترون ثابت شد. این ذره دارای نوترینوی مربوط به خود یعنی نوترینوی تأو است.

# پیشگفتار

نوشتهٔ د. ک. ناختیگال (D.K.Nachtigall)

ترجمهٔ محمدعلی سعادت بخت

**مقدمه**

بخش آموزش یونسکو کتابی
تحت عنوان درونی سازی فیزیک
(Internalizing Physics, 48 Document Series)
منتشر کرده است که حاوی مقاله هایی از برندگان جایزهٔ نوبل است. ویراستار کتاب، آقای ناختیگال، نمایندهٔ انجمن فیزیک آلمان برای آموزش معلمان فیزیک در کشورهای درحال توسعه، در پیشگفتار، این کتاب را «کتاب تشویق» معلمان فیزیک نامیده است و آن را حلقهٔ اتصالی بین فیزیکدانها و معلمان فیزیک ناشناخته در کشورهای درحال توسعه می داند. مجله رشد فیزیک درنظر دارد ترجمهٔ پیشگفتار و مقاله های این کتاب را به تدریج به چاپ رساند. به امید آن که تشویقی برای معلمان باشد.

بیشتر دانش آموزان فکر می کنند که در میان علوم، فیزیک مشکل ترین، خسته کننده ترین و نامطلوب ترین علم است.

این مطلب به ویژه دربارهٔ کشورهای درحال توسعه صدق می کند، به این دلیل که بیشتر معلمان فیزیک تمایل دارند شیوهٔ ارائه و علامت گذاری متداول در دانشگاه ها را به کار ببرند. معلمان به همان گونه که در دانشگاه آموزش دیده اند، آموزش می دهند. اما بین سبک معلمان در استدلال و انتقال محتوا از یک طرف و تجربهٔ روزانه در شیوهٔ تفکر و سبک ارتباط در زندگی عادی از طرف دیگر فاصلهٔ بزرگی وجود دارد. برای پرکردن این شکاف، ما در همه جای دنیا به معلمان فیزیک که از آموزش بهتر و بیشتری برخوردار شده اند، نیاز داریم.

کشورهای غنی این مشکل را می توانند، این طور حل کنند که بینشهای فیزیکدانهای بزرگ و نتیجه های تحقیق بیشتر آموزش دهندگان فیزیک را برمی آورند و در عمل پیاده می کنند. برای کشورهای درحال توسعه وضعیت مشکل تر

است. در راه تلاش برای اینکه فیزیک یک کالای فرهنگی بشود موانع متعددی وجود دارد. مانع نخست آن است که در این کشورها فیزیک یک اشتغال به نسبت جدیدی است. زمینه های فراگیر برای فیزیک هنوز فراهم نشده اند. برنامه های درسی که دولتها اتخاذ کرده اند وابسته و متکی به کتاب و با مشخصه آکادمیک است. محتوای این کتابها متناسب با نیازهای محلی و خودآگاهیهای فرهنگی نیست. زمینه ای که در آن فیزیک ارائه می شود بی معنا، عجیب و غریب و مرموز است. روشهای آموزش، امتحان محوری است و ازبرکردن و حفظ کردن بر فهمیدن هنوز اولویت دارد. مدرسه ها ـ بیشتر آنهایی که در منطقه های روستایی هستند ـ تجهیزهای ضعیفی دارند و زبان آموزش فیزیک اغلب با زبان مادری تفاوت دارد. بیشتر معلمان فیزیک از آموزش ضعیفی برخوردارند. به سختی انگیزهٔ تدریس دارند، حقوق و موقعیت اجتماعی آنها بسیار پایین بوده و میزان تدریس آنها طاقت فرسا است.

اما، من به عنوان استاد شرکت کننده و به عنوان نمایندهٔ انجمن فیزیک آلمان برای آموزش معلمان فیزیک در کشورهای درحال توسعه، فرصتی یافتم تا با معلمان و مربیان فیزیک که واقعاً درگیر هستند و بسیار تلاش می کنند تا وضعیت را در کشورهای خود بهبود ببخشند دیداری داشته باشم. آنها به کمک نیاز دارند و مستحق این کمک هستند. این کمک باید متناسب با نیازهای متعدد آنها باشد. ضروری ترین شرایط عبارتند از:

**معلمان فیزیک نیاز دارند که:**

۱ ـ وسیله های کمک آموزشی از قبیل کتاب و تجهیزات دریافت کنند و این وسیله ها را طوری تغییر دهند تا قابلیت به کارگیری در محیطها و شرایط محلی را داشته باشند.

۲ ـ یادبگیرند تا با استفاده از مواد ارزان که در منطقه قابل دسترس اند وسیله های آزمایش بسازند و آنها را به کار ببرند.

۳ ـ از نتیجهٔ تحقیق در آموزش فیزیک، بویژه نقش افکار و ایده های ناشی از حس و درک تعلیم نیافته (common sense) نقش خرافه و مفاهیم و بدفهمی ها در زمینه های فرهنگی و تقابل فرهنگی درفرآیند آموزش دادن و آموزش گرفتن فیزیک با خبر شوند.

۴ ـ به جای معلم محوری با مجموعه ای از روشهای قابل انعطاف در تدریس که بتوان آنها را طوری تغییر داد که با وضعیت عملی درکلاس قابل تطبیق باشند آشنا شوند.

۵ ـ بفهمند که فیزیک مجموعه ای از قانونها و تعریفها نیست، بلکه فیزیک جستجوی دائمی و کاربرد روشهای سؤالهای دست اول پرسیدن و تلاش کردن برای دستیابی به پاسخهایی تقریبی و جزیی است.

۶ ـ بر گرایش روشهای سختی که در مؤسسه های تربیت معلم وجود دارند که در نتیجه مانع رشد اعتماد به نفس در دانشجو ـ معلمان می شود، غلبه کنند.

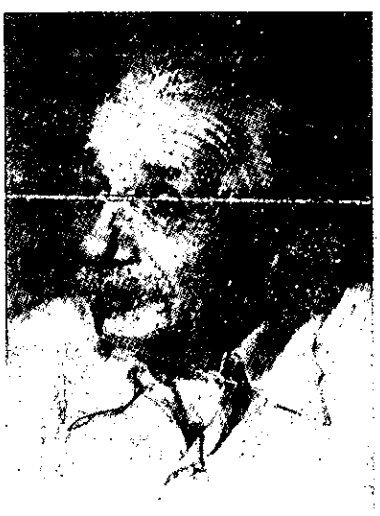
کشورهای در حال توسعه که به سمت خوداتکائی اقتصادی گرایش دارند، لازم است که بر مشکل ثبت نام اندک دانش آموزان غلبه کنند.

این در صورتی امکان پذیر است که فقط معلمان فیزیک خوبتر، یعنی توانا و علاقه مند، تربیت شوند. بهترین راه انجام آن این است که آنها با معلمان مدرس یا مربیان خوب در تماس باشند تا بتوانند برای داشتن کلاسهای با انگیزه و مؤثر فیزیک از این معلمان، مثالهایی فرابگیرند. تماشاکردن مربیان خوب به این معنا نیست که از آنها تقلید کنند، بلکه رهنمودی بگیرند برای اینکه چگونه به خودباوری برسند یعنی توانایی و پتانسیل خود را به عنوان معلم در چارچوب فلسفهٔ آموزشی مورد قبول افزایش دهند. چنین معلمان الگو که می دانم، و خوشبختانه تعداد آنها روبه رشد است، در بیشترموارد تا آنجا که به پنج مورد فهرست من برای نیازهای معلمان مربوط می شود کمک دریافت می کنند. آنچه که آنها هنوز به آن نیاز مبرم دارند و آنچه که فراهم آوردن آن بسیار مشکل است رشد اعتماد به نفس در آنها است، پشتوانهٔ اخلاقی برای خودباوری است ودلیل محکمی است برای لزوم عزت نفس.

همین نکته است که مرا واداشت تا از برندگان جایزهٔ نوبل خواهش کنم در این «کتاب تشویق» (Book of Encouragement) سهمی داشته باشند. آنها دربالای هرمی قرار دارند که از جامعهٔ فیزیکدانان تشکیل شده است. درپایین هرم معلمان ناشناخته فیزیک در کشورهای درحال توسعه هستند و درمیان آنها معلمان مدرس و مربیان

هستند. بر دوش این معلمان، آموزش دادن و آموزش گرفتن فیزیک چیزی خواهد شد که می توان آن را در جامعه ها به عنوان کالایی مطرح کرد که برای توسعه اجتماعی و اقتصادی اهمیت دارد، بدون آنکه به هویت فرهنگی جامعه لطمه ای وارد شود.

این کتاب به آنها اختصاص دارد. من این کتاب را حلقهٔ اتصالی بین بالا و پایین هرم می دانم. راه های زیادی وجود دارد که در آنها این کتاب برای خطابه ها مفید خواهد بود. این هم یکی از آن راه هاست:



آلبرت اینشتاین

نظر آلبرت اینشتاین (A.Einstein) دربارهٔ اینکه تفکر چگونه انجام می شود و از جنبهٔ «تعارض با دنیای مفهومهایی که در ما به اندازهٔ کافی تثبیت شده اند» به عنوان پایهٔ استراتژی آموزشی استفاده می شود.

نوشته مات (N.Mott) دربارهٔ تقاضا برای انرژی خورشیدی، نزد کشورهای درحال توسعه خیلی بیشتر از جالب توجه بودن است.

توصیهٔ شاولو (A.L.Schawlow) برای تمرکز در فیزیک بر روی یافتن چیزی «که به طور بدیهی مهم نیست»، به جای آنکه «منتظر الهامی جهان گیر باشیم» می تواند بیشتر فیزیکدانان ناشناس را تشویق کند.

لدرمن (L.M.Lederman) بیان می کند که «متوسط بودن، اکنون تعیین کننده نیست ... بیشتر دانش پیشگان برجسته نیستند»، اما «قاطعیت، تسلیم ناپذیری و سخت کوشی مشخصه هایی هستند که بسیار باارزش اند ...».

مقالهٔ چاندراسیکار (S.Chandrasekhara) قسمتهایی از تاریخ فیزیک را دربر می گیرد که نشان می دهد فیزیک یک کالای انسانی است که در آن کل مقیاس عاطفه ها و احساسها، هیجانها و ناتوانیها، خوشحالی و نومیدی انسانی می توانند به تجربه درآیند. عمیق ترین تمایل فیزیکدانان ممکن است این باشد که چیزی را بر علم بیفزایند و به دیگران کمک کنند تا چیزهای بیشتری را بیفزایند... و در پشت سرخود نوعی خاطره برجای گذارند.

یلوم برگن (N.Bloembergen) بر اهمیت استفاده از پدیده های سادهٔ فیزیکی برای نشان دادن مفاهیم پایهٔ فیزیک در استدلال کمّی، تأکید می کند. او دربارهٔ کاربرد مفهوم «مرتبهٔ بزرگی» یا «توانهای ده» توصیه می کند. این مطلب رهنمودی برای آموزش خوب فیزیک در کلاس است.

جان باردین

خواننده هنگامی که مقالهٔ باردین (J.Bardeen) دربارهٔ تحقیق نیمرسانا و سهم روهرر (H.Rohrer) و بینیش (G.Binnig) در میکروسکوپ تونل زنی روبشی (scanning tunneling microscope) را مطالعه می کند، نوع دیگری از بینیش را دریافت می کند. هر دو مقاله شامل سخنرانیهای آنها در هنگام دریافت جایزهٔ نوبل هستند و خواننده تأیید خواهد کرد فیزیک در حال حاضر چقدر بزرگ است.

گِرد بینیش

ریچارد فاینمن

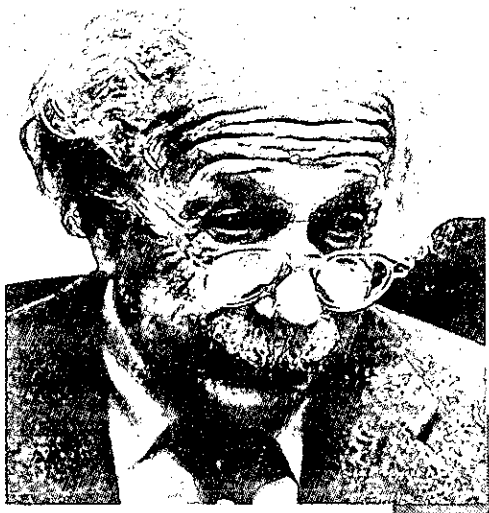
بحث بینیش در مورد «خلاقیت» و هشدار او در تلقی ای که از انسان به عنوان موجودی جدا از طبیعت می شود به جای آنکه انسان جزیی از کل تلقی شود، هم چنین ادعای او که «انسان خود را بیش از آنچه که هست ارزیابی می کند و طبیعت به اصطلاح بی جان را پیش پاافتاده تلقی می کند ...» که قسمتی از این طبیعت بی جان کامپیوترهایی هستند که «به نحوی می توانند چیز جدیدی را ایجاد کنند» مطمئناً دیدگاهی است که به فکر و تلاش فرا می خواند و باید بحثهای علم شناسی را در میان معلمان و یادگیرندگان فیزیک برانگیزد.

مقالهٔ پنزیاس (A.Penzias) دربارهٔ «ایده ها» که نه تنها به پدیدهٔ «خلاقیت» مثالهای عملی می افزاید بلکه با یک شیوهٔ جذاب و هیجان انگیز، ارزش تخمینها و پاسخهای «غیردقیق» و ارزش ارتباط «مرتبه های بزرگی» با زندگی روزمره را نشان می دهد. همهٔ معلمان فیزیک باید چنین بینشهایی پیدا کنند.

آخرین مقاله، گفتاری است که فاینمن (R.P.Feynman) در حضور معلمان فیزیک داشته است می تواند نخی باشد که از کتاب درسی گذشته به آموزش فیزیک وصل می شود. چگونه پدرش به ریچارد فاینمن یاد داده است که الگوها را تشخیص دهد، چگونه پای می تواند کشف شود و چگونه «این طرف و آن طرف پلکیدن» مهارتهای تجربی را تربیت می کند، پیدا کردن رابطه های بین فرمولها چقدر مهم است، چگونه بچه ها می توانند مفهوم لختی را درک کنند ... همهٔ این مثالها به معلمان کمک می کنند تا مهارتهایشان را بهتر کنند. هنگامی که فاینمن تفاوت بین آموزش یک تعریف و آموزش فیزیک را روشن می کند، آنگاه خواننده درمی یابد که بیشتر کتابهای درسی چقدر بد هستند و هنگامی که توضیح می دهد که چگونه شخص می تواند بفهمد که معلم آیا ایده ای را یاد داده است یا فقط تعریفی را یاد داده است. آنگاه آرزو می کنم نه تنها معلمان مدرسه بلکه استادان دانشگاه توصیه اش را به خاطر بسپارند.

در پایان کتاب، پیام تشویق بسیار ویژهٔ فاینمن را می بینیم که:

«سعی می کنم در پایان به معلم الهام دهم تا امیدی، اعتماد به نفسی در حس و درک تعلیم نیافته و هوش طبیعی داشته باشد. متخصصانی که شما را هدایت می کنند ممکن است، در اشتباه باشند».



جایزهٔ نوبل در سال ۱۳۰۱ (۱۹۲۲ م) به آلبرت اینشتاین به خاطر خدمات وی در فیزیک نظری و به ویژه برای کشف قانون اثر فوتوالکتریک اهداء شد.

# آلبرت اینشتاین

**یادداشتهای خود زندگینامه (autobiographical notes)**

**ترجمهٔ محمدعلی سعادت بخت**

«تفکر» (thinking) دقیقاً چیست؟ آیا هنگامی است که با دریافت تأثیرهای حسی، تصویرهای ذهنی شکل می گیرند، اما این هنوز «تفکر» نیست. و یا هنگامی است که چنین تصویرهایی دنباله ای را تشکیل دهند، و هر جزء آن جزء دیگر را به وجود آورد، اما این نیز هنوز «تفکر» نیست. اما هنگامی که، تصویر معینی در بسیاری از این دنباله ها ظاهر می شود آنگاه، دقیقاً با چنین تکرارهایی، این تصویر یک جزء سازمان دهنده برای این دنباله ها می شود، زیرا دنباله های بی ربط را صرف نظر از بقیه به هم ربط می دهد. چنین جزئی یک ابزار می شود یعنی به صورت یک مفهوم درمی آید.

فکر می کنم که گذر از ارتباط آزاد یا «رؤیا» (dreaming) به تفکر، توسط نقش کمابیش برجسته ای که «مفهوم» (concept) دارد مشخص می شود. به هیچ عنوان لازم نیست که مفهوم به یک علامت قابل درک و تکرار (واژه) پیوند داشته باشد؛ اما هنگامی که مفهوم با واژه پیوند داشته باشد، درنتیجه تفکر قابل مبادله خواهد شد.

خواننده ممکن است بپرسد، این شخص بدون آنکه برای اثبات چیزی از این ایده ها کمترین تلاشی بکند آن هم در چنین حوزهٔ مسأله داری با چه حقی می تواند این چنین از روی بی احتیاطی و خامی با این ایده ها کار کند؟ دفاع من این است: تمام تفکر ما دارای این ماهیت است که با مفهومها آزادانه کارکند، صحت این موضوع در درجهٔ درک یافته های حسی ما قرار دارد که به کمک این درک می توانیم موفق شویم. مفهوم «درستی» (truth) هنوز نمی تواند برای چنین ساختاری به کار برود. من فکر می کنم که این مفهوم فقط هنگامی قابل به کارگیری است که یک توافق (قرارداد) همه جانبه دربارهٔ اصول و قاعده های بازی در دست باشد. هیچ تردیدی ندارم به جز آنکه تفکر ما بدون آنکه از علامتهایی (واژه هایی) استفاده کند و فراتر از آن تا اندازهٔ زیادی بیشتر وقتها به طور ناخودآگاه ادامه پیدا می کند. وگرنه چگونه گاهی باید این اتفاق بیفتد که دربارهٔ تجربه ای کاملاً به طور خود به خود «سرگردان بشویم» به نظر می رسد این

«سرگردانی» (wondering) هنگامی پیش می‌آید که دنیایی از مفهومهایی که به اندازهٔ کافی در ما تثبیت شده‌اند با تجربه‌ای تعارض پیدا می‌کند. هنگامی که چنین تعارضی را به طور شدید و تند تجربه می‌کنیم این تعارض برخواهد گشت و با دنیای افکار ما قاطعانه برهم کنش خواهد کرد. توسعهٔ دنیای افکار به یک معنا به طور پیوسته ما را از «سرگردانی» دور می‌کند.

هنگامی که چهار یا پنج ساله بودم و پدرم قطب‌نمایی را به من نشان داد، یک سرگردانی از این نوع را تجربه کردم. اینکه عقربهٔ قطب‌نما در راستای معینی قرار می‌گیرد به هیچ عنوان در نوع رویدادهایی که می‌توانند جایگاهی در دنیای ناخودآگاه مفهومها داشته باشند (اثر بخشی حاصل از «تماس» مستقیم) قرار نمی‌گیرند. هنوز می‌توانم به خاطر بیاورم، یا حداقل فکر می‌کنم که می‌توانم به خاطر آورم، که این تجربه تأثیر عمیق و بادوامی روی من گذاشت. چیزی عمیقاً پنهان باید در پشت این چیزها باشد. آنچه را که شخصی از کودکی پیش روی خود نمودار می‌کند هیچ واکنشی از این نوع ایجاد نمی‌کند؛ او از افتادن اجسام تعجب نمی‌کند و نیز نه از باد و باران، نه از ماه، نه از این واقعیت که ماه پایین نمی‌افتد، نه از تفاوتهای بین مادهٔ زنده و غیرزنده.

سرگردانی دومم را که ماهیتی کاملاً متفاوت با سرگردانی اول داشت در دوازده سالگی هنگامی تجربه کردم که در شروع سال تحصیلی کتاب کوچکی دربارهٔ هندسه اقلیدسی مسطحه به دستم رسید. در این کتاب عبارتهایی بود از جمله برخورد سه ارتفاع مثلث در یک نقطه، که گرچه به هیچ عنوان بدیهی نبود، با این وجود می‌توانست آن را با چنان اطمینانی اثبات کرد که جای هیچ تردیدی باقی نماند. این وضوح و اطمینان تأثیر غیرقابل وصفی روی من گذاشت. اینکه اصول باید بدون اثبات پذیرفته شوند، مرا برآشفته نمی‌کرد. درهر حال کاملاً برایم کافی بود اگر می‌توانستم براساس گزاره‌هایی که در درستی آنها تردیدی نداشتم استدلال کنم. مثلاً، به خاطر می‌آورم پیش از آنکه کتابچهٔ با ارزش هندسه به دستم برسد قضیهٔ فیثاغورس را شنیده بودم. بعد از تلاش زیاد با استفاده از تشابه مثلثها موفق شدم این قضیه را ثابت کنم. برای انجام این کار به نظرم «بدیهی» رسید که رابطه‌های بین ضلعهای مثلث قائم‌الزاویه کاملاً باید با استفاده از یکی از زاویه‌های تند (حاده) تعیین شود. فقط آنچه راکه به طرز مشابه «بدیهی» (evident) به نظر نمی‌رسید با این همه به نظرم محتاج به استدلال بود. هم‌چنین به نظر می‌رسد اشیائی که هندسه با آنها سروکار دارد، با اشیاء ادراک حسی «که می‌توانند دیده و لمس شوند» هیچ تفاوتی ندارند. این دریافت اولیه، که احتمالاً در پایان تحقیق کانتیان (Kantian) در مورد امکان «قضاوتهای ترکیبی قیاس» (synthetic judgments a priori) قرار دارد، روشن است که بر این واقعیت استوار است که رابطهٔ مفهومهای هندسی با اشیائی که مستقیماً تجربه می‌شوند (میلهٔ صلب، فاصلهٔ متناهی و ...) ناخودآگاه حضور دارد.

از این رو اگر به نظر می‌رسید که امکان داشت با تفکر محض، دانستنی معینی از اشیاء مورد تجربه به دست آوریم این «سرگردانی» بر پایهٔ نادرستی قرار داشت. با این وجود برای هر کسی که برای اولین بار آن را تجربه می‌کند، حیرت‌انگیز است که با این همه شخص می‌تواند به چنین درجه‌ای از اطمینان و خلوص در تفکر محض برسد چنان که یونانیها برای اولین بار در هندسه نشان دادند که امکان دارد.

اکنون که به اندازهٔ کافی به خودم اجازه دادم که از تاریخچهٔ زندگی‌ام که تازه شروع کرده بودم پرت شوم، در بیان چند جمله‌ای از سابقهٔ آموزشی خودم در اینجا مکث نمی‌کنم، اگرچه در این باره در آنچه که قبلاً آمده است به طور ضمنی مطلبی بیان شده است. این سابقه عملاً فقط مدتها بعد و خیلی به آهستگی تحول پیدا کرد و با دیدگاهی که در سالهای پیش داشتم تطابق ندارد.

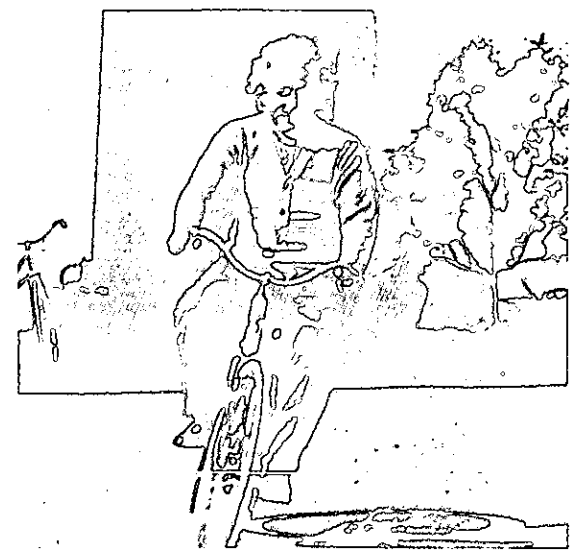
از یک طرف کل تجربه‌های حسی را می‌بینم و از طرف دیگر کل مفهومها و گزاره‌هایی که در کتابها بیان شده‌اند.

رابطه های بین مفـهومها و گزاره ها مـاهیتی منطقی دارند، و عمل تفکر منطقی اکیداً محـدود است به دستیابی به رابطهٔ بین مفهومها و گزاره ها برطبق قاعده های استوار که موضوع علم منطق هسـتند. مـفهـومهـا و گـزاره ها فقط از طریق ارتبـاط یافتنشان با تجربه های حسی «مـعنا» یا «محتوا» پیدا می کنند. ارتباط بین این دو را باید مستقیماً درک کرد و خودش ماهیت منطقی ندارد. درجهٔ اطمینانی کـه با آن، این ارتباط یا اتصال مبتنی بر درک مـسـتقـیم را می توان داشت و نه چیـز دیگر، «حقـیقت» علمی را از وهـم خالی متـمایز می کند. دسـتگاه مـفهـومهـا به همـراه قاعـده های ترکـیب آنهـا که سـاختـار دستگاه های مفهومی را تشکیـل می دهند توسط انسان ساخته می شود. اگـرچه دستگاه های مفـهومی از نظر منطق کـاملاً اختیاری هستند. اما با این هدف که فقط تقریباً محتمل ترین، ( مسـتقـیماً قابل درک ) هـمـاهنگی کامل و مطمـئن با کل تجربه های حسی مجـازند این دستگاه ها را محدود می کنند، ثانیـاً هدف این دستگـاه ها رسـیدن به بیـشتـرین پراکندگی ممکن از اجـزاء منطقاً مـستقـل (اصلها و مفـهومـهای پایه) است، یعنی مـفهـومهای تعـریف نشده و گـزاره های (اصل موضوعی) اثبات نشده است.

در یک دستگاه مـنطقی اگر، برطبق قاعـده های منطقی، گزاره ای رانتـیجـه گیری کنیم این گـزاره درست است. یک دسـتگاه مطابق اطمینان وکـامل بودن امکان همـاهنگی با کل تجربه محتوا ـ درستی دارد. درستی یک گزارهٔ درستْ ناشی از مـحتـوا ـ درسـتی دسـتگاهی است کـه به آن تعلق دارد. امـا اشاره ای می کنم به تـوسعـهٔ تاریخی مـوضوع. بر هیـوم (Hume) به روشنی معلوم شد کـه مفهومهای معـینی، مثلاً مفـهوم علیت، با روشـهای منطقی نمی تواند از خـود تجربه نتیجه گیـری شود. کانت که کاملاً متقـاعد شده بود که برخی مـفاهیم اجـتناب ناپذیرند، این مـفـاهیم را، همان طور کـه انتخاب شده اند، مقدمات لازم برای هر نوع تفکر می شمارد و آنها را از مفهومهایی کـه منشأ تجربی دارند متمایز می کند. اما من مـتقاعد شـده ام که این تمایز خطا آمـیز است یا اینکه، در هر حال، در مـورد این مسـأله به طریق طبـیعی قـضاوتی عادلانه ندارد. همهٔ مفهومهـا، حتی آنهایی که به تجربه بسیار نزدیک هستند، از دیدگاه مـنطق به طور آزاد فرض شده اند، چنان کـه مفـهـوم علیت این طور است. این فـرضهـای آزاد اولین نقطهٔ جدایی برای این تحقیق هستند.

و اکنون به تاریخـچهٔ زندگیم برمی گـردم. در ۱۲ تا ۱۶ سالـگی بـا مبـحثهـای ریاضـی ازجملـه اصلـهای حـساب دیـفـرانسـیـل و انـتـگـرال آشـنـا شـدم. در انـجـام ایـن کـار فرصت خوبی پیدا شد و کتابهایی به دستم رسید کـه خشکـی و صـلابت مـنطقـی را کـمترداشتـند، امـا بـاعث شدنـد ایده هـای اصولی به روشنی مشخـص شوند. این کار در کـل واقعـاً جذاب بود، در آن نکته های برجسته ای وجود داشتنـد که تأثیرشـان قابل قیاس بـا تأثیر نـکته های برجـستهٔ هندسه مـقدماتی بود از جمله ایـدهٔ اساسی هندسهٔ تحـلیلی، دنـبالـه هـــای نـامتـنـاهـــی، مفـهـومـهـای مشـتـق و انتگـرال. هم چنیـن فرصت خوبـی پیدا شد کـه نتیجـه های ضـروری و روشهـای کل حـوزهٔ علـوم طـبیـعی را در یـک مجموعهٔ عالی و دوست داشتنی بـیابم. سراسر این مجموعه (کـتابهای دوست داشتنی دربارهٔ علوم طبیعی نوشتهٔ برنشتاین Bernstein's Popular Books on Natural Science مجموعهٔ پنج یا شش جلدی) فقط به جنبه های کیفی موضوع پرداخته بود. این اثر را با اشتـیاق زیاد مطالعه کردم. پیش از آنکه در هفـده سالگی به عنوان دانشـجوی ریاضی و فـیزیک وارد انستیتوی پلی تکنیک زوریخ بشوم، مقداری هم در مورد فیزیک نظری مطالعه هایی داشتم.

در آنجـا مـعلمـانی عـالی داشـتم (مـثـلاً هورویتس Hurwitz ، مـینکوسکی Minkowski )، به طوری که باید می توانستم با ریاضی به طور عمـقی آموزش ببینم. اما به خاطر جـذابیت تماس مـستقیم با تجـربه، بیشتـر وقتم را در آزمایشگاه فیزیک می گذراندم. بیشتر وقتم درمنزل نیز صرف مطالعهٔ آثارکیرشهف Kirchhoff ، هلمهولتز Helmholtz ، هرتز Hertz ودیگران می شد. این واقعـیت که از ریاضی تا



حد معینی صرف نظرکردم علتش فقط در این نبود که به علوم طبیعی بیشتر ازریاضی علاقه داشتم بلکه در این تجربهٔ نامطلوب بود که دیدم ریاضی به شاخه های متعدد تقسیم شده بود، که هر شاخهٔ آن می توانست عمرکوتاهی را که به ما اهداء شده است، صرف خود کند. در نتیجه خودم را در وضعیت اسب بوریدان یافتم. این اسب نمی توانست دستهٔ خاصی از علفها را انتخاب کند. وضعم احتمالاً به این علت بود که درک مستقیم من در حوزهٔ ریاضی آنقدر قوی نبود تا قسمتهایی را که اساساً مهم و پایه ای بودند از بقیهٔ قسمتها که پرمطلب و کمابیش قابل صرف نظر بودند، به روشنی تشخیص بدهم. هم چنین علاقه ام به مطالعهٔ طبیعت بی هیچ تردیدی بیشتر بود؛ و به عنوان یک دانشجوی جوان برایم روشن نبود که دست یافتن به علم عمیق تر اصلهای پایه ای فیزیک به پیچیده ترین روشهای ریاضی بستگی دارد. این موضوع فقط به تدریج پس از سالها کار علمی مستقل برمن معلوم شد. البته فیزیک نیز به شاخه های مجزا تقسیم شده بود، که هر شاخه می توانست عمر کوتاه کارکردن را بگیرد بدون آنکه عطش تشنهٔ علم بیشتررا سیراب کند. حجم داده های تجربی که ارتباط کافی با یکدیگر ندارند در اینجا نیز بر روی هم انباشته شده بود. اما در این حوزه زود یاد گرفتم که پی ببرم کدام مطلب ممکن است بتواند به اصلها بینجامد و از هر چیز دیگر که مغز را تل انبار می کند و آن را از نکته های ضروری باز می دارد پرهیز کردم. البته اشکال در این قسمت آن بود که شخص ناچار بود به خاطر امتحانها همهٔ این چیزها را چه دوست داشته باشد و چه نداشته باشد درمغز خود فرو کند. پس از آنکه آخرین امتحانم را دادم، این اجبار تأثیر بازدارنده ای روی من گذاشت، برای یک سال تمام، مطالعهٔ هرگونه مسائل علمی برایم ناخوشایند بود. با این وجود باید بگویم که در سوئیس در مقایسه با خیلی جاهای دیگر، ما کمتر مجبور بودیم زیر بارچنین تحمیلهایی که هرگونه انگیزهٔ علمی را خفه می کند برویم. غیر از این امتحانها، کلاً فقط دو امتحان داشتیم که شخص می توانست با دادن آنها خوشنود شود. مخصوصاً اگر شخص دوستی داشته باشد، چنان که من داشتم، که در جلسه ها به طور منظم شرکت کند و روی محتوای آنها آگاهانه کار کند. این موضوع آزادی انتخاب کارها را تا چند ماه پیش از امتحان به شخص می دهد، آزادی ای که تا حدود زیادی از آن لذت بردم و تازه خوشحال بودم که به وجدان مقصرحاصل به عنوان اینکه از زیر بار تحمیل رفتن کمتر بد است نگاه می کردم. در واقع دست کمی از شاهکار ندارد که روشهای جدید آموزش هنوز کنجکاوی مقدس برای تحقیق را کاملاً خفه نکرده است؛ برای آنکه این گیاه کوچک ظریف، غیر از انگیزش، اساساً در نیاز به آزادی روی پا می ایستد. بدون آزادی این گیاه بی درنگ منهدم خواهد شد. این اشتباه بزرگی است که فکرکنیم لذت دیدن و جستجو کردن را با اجبار و حس وظیفه شناسی می توان افزایش داد. برعکس، من معتقدم که حتی می توان سیری ناپذیری یک حیوان حریص را کور کرد. اگر امکان داشته باشد به کمک یک شلاق حیوان را وادار کرد حتی هنگامی که گرسنه نیست غذا بخورد، بویژه اگر غذاهایی تحت چنین اجباری داده می شود بر همین طبق انتخاب شود.

# اخبار علمی

* نامهٔ آقای گرزکوفسکی به آقـای محمدعلی نجفی در مورد پذیرش برگـزاری المـپیاد بین المـللی فیـزیک سـال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷ میلادی) در ایران به شرح زیر است:

**آقای محمدعلی نجفی**
**وزیر آموزش و پرورش**
**جمهوری اسلامی ایران**

**عالیجناب/**

از نامه پرلطف جناب عالی کـه در پایان ماه ژوئن، قبل از بیست و ششمین المپیـاد بین المللی فیزیک در کانبرا به دستم رسیـد بسیار سـپاسگزارم. بسیـار مطبوع و دلپـذیر است که کشور زیبای شما مایل به برگـزاری المپیاد بین المللی فیزیک در سال ۲۰۰۷ می باشد.

من هیأت بین المللی مستقـر در کانبرا را از نامه شما مطلع کردم. ما با کمال میل پیـشنهاد شما را می پذیریم. سرپرست هیأتهای شما را می شناسیم و کاملاً مـطمئن هستیم که المپیاد بین المللی فیـزیک در عالی ترین سطح در کشور شـما برگزار خواهد شد.

مجدداً از تصمیم دلپذیر شما سپاسگزارم.

**با تقدیم احترامات فائقه**
**ارادتمند**
**والدمار گرزکوفسکی**
**رئیس المپیادهای بین المللی فیزیک**

## * * چهارمین کنفرانس آموزش فیزیک ایران

چهـارمین کنفـرانس آمـوزش فیـزیک ایران، با همکاری وزارت آموزش و پرورش و انجمن فیزیک ایران و با شرکت گـروه زیادی از دبیران فیـزیک کـشور و عـده‌ای از اسـتادان فیـزیک دانشگاهها از ۸ تا ۱۰ تیر ماه ۱۳۷۴ در شهر مـشهد مقدس برگزار شد.

مراسم افتتاحیهٔ کنفـرانس با حضور وزیر محترم آموزش و پرورش، اسـتاندار خراسـان، رئیس انجمن فـیزیک ایران و جـمعی از مـسؤولان فـرهنگی کـشور انجـام یافت. در این مراسم جناب آقای دکتر نجفی وزیر محترم آموزش و پرورش سخن گفتند.

ایشـان با عـرض ارادت به بارگـاه حضـرت ثامن الائمـه خاطره شهدای عالیقدر انقـلاب به خصوص شهدای هفتم تیر را گرامی داشتند. پس از آن از معـاونت برنامه ریزی و نیروی انسـانی وزارت آمـوزش و پرورش، اداره کل آمـوزش و پرورش استان خـراسان، انجمن فیزیک ایران و همـه کسانی که در برنامـه ریزی و برگزاری کنفـرانس تلاش کرده بودند، تشکر کردند.

آقای دکتر نجفی سپس، دو ویژگی علم فیزیک را بیان داشتند. یکی متدولوژی آن که به علوم دیگر سرایت کرده است و دوم شگفتی ها و نکات اعجاب آور و تحسین برانگیزی که به میزان زیاد، این علم را با فلسفه و نهایتاً با خداشناسی و یکتاپرستی مرتبط ساخته است. پس از آن آقای دکتر نجفی به بحث در نظام جدید آموزشی پرداختند و اظهار داشتند که «... امروز خوشبختانه ما سه سال را در اجرای آزمایشی و تدریجی نظام جدید پشت سر گذاشته ایم... در طول سه سال ارزشیابی جامع از وضعیت اجرای نظام جدید به عمل آوردیم و این چیزی است که در تاریخ آموزش و پرورش تا آنجایی که بنده سراغ دارم سابقه نداشته است...» آقای دکتر نجفی در ادامه این بحث به مشکلات گوناگون آموزشی و راه حل آنها مانند زیاد بودن حجم کتابهای درسی و کم بودن ساعات تدریس، مسأله کنکور و ... اشاره کردند و در پایان اظهار امیدواری کردند که «... انشاء الله در رشتهٔ فیزیک با توجه به این ارتباط و همکاریهای صمیمانه بین دانشگاهها و وزارت آموزش و پرورش دوره **کارشناسی ارشد آموزش فیزیک** در دانشگاهها ایجاد شود...».

پس از مراسم افتتاحیه، کار کنفرانس مطابق برنامه به شرح مختصر زیر انجام یافت:

۱ـ از آموزش و پرورش استان خراسان آقای مجید عتیقی و از آموزش و پرورش استان مازندران آقای محمود رضایی بالف و از آموزش و پرورش تهران آقایان سید مهدی شیوایی و عباس ذوقی پور سخنرانی کردند. عنوان سخنرانی آنها به ترتیب عبارت بود از: کشش سطحی، کشند، بررسی نتایج یک امتحان، شبیه سازی کامپیوتری پدیده های فیزیک.

۲ـ از طرف استادان دانشگاهها جمعاً دوازده مقاله به کنفرانس ارائه شد و کپی مقاله ها در اختیار علاقه مندان قرار گرفت.

۳ـ برنامه های جنبی کنفرانس به همت آقایان دکتر محمدفرهاد رحیمی (دانشگاه فردوسی)، عباس ذوقی پور (آموزش و پرورش تهران)، غضنفر قلی پور (آموزش و

| دانشگاه | نام سخنران | عنوان مقاله |
|---|---|---|
| فردوسی مشهد | جمشید قنبری | اندازه گیری فاصله های بسیار بزرگ |
| شهید بهشتی | محمد سپهری راد | بررسی یک دوره آموزش ضمن خدمت دبیران فیزیک |
| صنعتی شریف | محمدرضا اجتهادی | گزارشی از یک امتحان |
| صنعتی اصفهان | احمد شیرزاد | موج و نوسان |
| شهید چمران اهواز | مجتبی جعفرپور | ره یافتی به ترمودینامیک |
| فردوسی مشهد | محسن سربیشه ای | نگاهی به ابعاد کوانتومی |
| فردوسی مشهد | ناصر شاه طهماسبی | طیف سنجی |
| صنعتی شریف | محمدرضا اجتهادی | رنگ |
| اصفهان | اعظم پورقاضی | چگونه در آموزش فیزیک تحقیق کنیم |
| رازی | محمد الهی | پاسخ به برخی از پرسشهای مکانیک |
| اصفهان | احمد پرورش | پاسخ به برخی از پرسشهای الکتریسیته و مغناطیس |
| صنعتی شریف | شاهین روحانی | از مقیاس کوچک به مقیاس بزرگ |

پرورش مازندران)، عباس استاد ابراهیم وثاقی (شرکت حیان ـ تهران)، ناصر اسدی (آموزش و پرورش اصفهان) انجام یافت و به ترتیب عبارت بود از: فیزیک سرا (نمایش پدیده های فیزیک)، کاربرد رایانه در آموزش فیزیک، نمایش آزمایشهای فیزیک دبیرستانی، پوستر و نمایش چند آزمایش فیزیک دبیرستانی و نمایش چند آزمایش فیزیک دبیرستانی نظام جدید. نمایشگاههای کنفرانس عبارت بود از: نمایشگاه انتشارات انجمن فیزیک، انتشارات فاطمی، مجله نجوم و نمایشگاه شرکت تولید کننده لوازم آزمایشگاهی و کمک آموزشی حیان.

۴ ـ از دبیران فیزیک بازنشسته کشور آقایان علی اصغر نوروزیان، حسین شبابی و سیدجعفر مهرداد به عنوان مهمان چهارمین کنفرانس آموزش فیزیک ایران، در جلسات کنفرانس حضور داشتند.

۵ ـ به چهار تن از دبیران برگزیدهٔ فیزیک کشور از طرف وزیر محترم آموزش و پرورش لوح تقدیر اهداء شد.

۶ ـ در جلسه اختتامیه کنفرانس خانم اعظم پورقاضی به جمع بندی کار کنفرانس و نتیجه گیری از آن پرداختند و یاد دبیر فیزیک سخت کوش مشهد شادروان شکیبایی فرد را گرامی داشتند. کنفرانس با عرض ارادت و اخلاص به آستان ملک آشیان رضوی و با خاطر شاد و رضامند شرکت کنندگان پایان یافت.

---

***** مجلهٔ بین المللی علوم پایه جمهوری اسلامی ایران***

---

به زبان انگلیسی زیر نظر مرکز تحقیقات علمی کشور وابسته به وزارت فرهنگ و آموزش عالی منتشر می شود. این مجله حاوی مقاله های تحقیقی در زمینه های زیست شناسی، شیمی، زمین شناسی، فیزیک، ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر است. اعضاء هیأت تحریریه عبارتند از: دکتر بهکامی، دکتر رجبعلی پور، دکتر ریاضی، دکتر شفیعی، دکتر عباسی، دکتر قندی، دکتر مهدیان، دکتر نوگل سادات، دکتر نوری دلویی و دکتر یعقوب پور، سردبیر و مدیر مسؤول دکتر محمدرضا نوری دلویی است.

---

o Journal of Physics, Islamic Republic of Iran.

---

**سمینار فیزیک ( دانش آموزی )**

---

سمینار فیزیک، دانش آموزان دبیرستان نمونه مردمی دخترانه نرجس ـ منطقهٔ ۶ آموزش و پرورش تهران ـ با حضور اولیاء دانش آموزان و علاقه مندان به آموزش فیزیک در روز ۷۴/۲/۲۶ در این دبیرستان تشکیل شد. این سمینار با همکاری دانش آموزان کلاس سوم ریاضی فیزیک و سرپرستی دبیر فیزیک ـ خانم آرمه زرسازی ـ برنامه ریزی و برگزار گردید. در برنامه جنبی سمینار آزمایشهایی نیز به صورت ( فیزیک سرا ) نمایش داده شد ـ عنوان مقاله ها و نام گویندگان عبارت است از:

۱ ـ سفر به مریخ ( آرزو کدخدا )
۲ ـ ذرات بنیادی ( الهام سیه فام )
۳ ـ رادیوآکتیویته ( گلبرگ طریقت صابر )
۴ ـ فیزیک در محیط زیست ( روشنک فهیمی )
۵ ـ جریان الکتریکی نیمرسانا ( لیلا خلخالی )
۶ ـ میدان مغناطیسی زمین ( شادی ورجاوند )

در اردیبهشت ماه سال ۷۳ نیز سمینار مشابهی در همین دبیرستان تشکیل شده بود. هرگونه کوشش برای پیشرفت آموزش علوم قابل تقدیر و سپاسگزاری است.

فراخوان مقالهٔ

# چهارمین کنفرانس دانش آموزی فیزیک ایران

## ۴ تا ۱۰ شهریور ۱۳۷۵ ـ مشهد

**آخرین مهلت ارسال مقاله : اول خرداد ۱۳۷۵**

شاخهٔ دانشجویی انجمن فیزیک ایران با همکاری وزارت آموزش وپرورش وادارهٔ کل آموزش وپرورش استان خراسان چهارمین کنفرانس دانش آموزی فیزیک ایران را برگزار می کند. از دانش آموزان مستعد دبیرستانی وپیش دانشگاهی که به علم فیزیک علاقه‌مند هستند دعوت می‌شود ضمن شرکت دراین کنفرانس مقاله های خود رادر زمینه های مختلف فیزیک با رعایت نکات زیر تهیه و به دفتر انجمن فیزیک ـ کنفرانس دانش آموزای ارسال کنند.

**مقاله های ارسالی باید حداقل یکی از ویژگیهای زیر رادارا باشد :**

- گزارشی دربارهٔ ساخت یک وسیلهٔ فیزیکی
- ارائهٔ راه حل جدید برای یک مسئلهٔ فیزیکی
- پژوهش در مورد پدیده های فیزیکی
- شبیه سازی کامپیوتری پدیده های فیزیکی

**توجه**

- موضوع مقاله ها بهتر است در چار چوب مطالب کتابهای درسی باشد ولی گردآوری از کتابها نباشد.

**روش نوشتن مقاله ها :**

مقاله های خود را در کاغذکلاسور بزرگ یاکاغذ A۴ ، در یک روی کاغذ و حداکثر در ده برگ به صورت یک خط در میان باخطی خوانا بنویسیدو روی برگ اول مشخصات مقاله را مطابق قالب زیر مرقوم بفرمایید :

نام ونام خانوادگی مقاله دهنده ویامقاله دهندگان . . . . .
(سخنران مشخص شود)
عنوان مقاله* . . . .
محل انجام تحقیق . . . .
رشتهٔ تحصیلی . . . . .
میزان تحصیلات . . . .
نشانی وتلفن محل تحصیل . . . .
نشانی و تلفن محل اقامت . . . .
نام و تحصیلات راهنمای تحقیق . . .
مراجع ومنابع علمی مورد استفاده (ذکر حداقل ۲مرجع ضروری است)

* در صورتی که مقاله درباره ساخت وسیلهٔ فیزیکی است در زیرعنوان مقاله مشخص فرمایید که آیا وسیله فیزیکی ساخته وتکمیل شده است یا خیر.

**مقاله ها درکمیتهٔ علمی بررسی می شود وتنها در صورت پذیرش در این کمیته ، در کنفرانس به صورت شفاهی یا پوستر ارائه خواهد شد.**
**تذکر : مقالات ارسال شده برگردانده نمی شود.**

**از کارهای عملی پذیرفته شده دانش آموزان نمایشگاهی در کنار کنفرانس برپا می شود.**

**هیات داوران به بهترین مقاله یا پوستر جایزه‌ای با عنوان جایزه روزبه اهداء خواهد کرد.**

کمیته علمی با دانش آموزانی که مقاله آنها پذیرفته شود مکاتبه می کند و برگهٔ درخواست شرکت در کنفرانس دانش آموزی فیزیک را برای آنها ارسال می کند. دانش آموزانی که مقالهٔ آنها پذیرفته شده است موظف هستند در کنفرانس مشهد شرکت کنند. امکانات سفر این دانش آموزان توسط ادارات کل آموزش وپرورش هر استان تأمین می‌شود.

**مقاله های خود را طبق شرایط فوق در دو نسخه حداکثر تا اول خرداد ۱۳۷۵ به نشانی دفتر انجمن فیزیک، تهران، صندوق پستی ۱۳۱۱ـ۱۵۸۷۵ ، ارسال دارید. پشت پاکت بنویسید «مربوط به کنفرانس دانش آموزی فیزیک»**
**برای کسب اطلاعات بیشتر باتلفن ۸۰۲۳۷۵۹ (۰۲۱) تماس بگیرید.**

# اخبار علمی

اطلاعیهٔ

## چهارمین کنفرانس دانش آموزی فیزیک ایران

### ۴ تا ۱۰ شهریور ۱۳۷۵ ـ مشهد

**آخرین مهلت ارسال پرسشنامه : اول خرداد ۱۳۷۵**

شاخهٔ دانشجویی انجمن فیزیک ایران به منظور تشویق دانش آموزان مستعد به تعمق بیشتر درعلم فیزیک، چهارمین کنفرانس دانش آموزی فیزیک ایران را باهمکاری وزارت آموزش وپرورش و ادارهٔ کل آموزش وپرورش استان خراسان از ۴ تا ۱۰ شهریور ۱۳۷۵، همزمان با کنفرانس سالانهٔ فیزیک در مشهد برگزار می کند. ارائهٔ کارهای تحقیقاتی دانش آموزان وبرنامه های متنوع علمی از برنامه های این کنفرانس خواهد بود. دانش آموزان علاوه برشرکت در این کنفرانس باپژوهشگران فیزیک شرکت کننده در کنفرانس فیزیک آشنا می شوند.

**دانش آموزان دبیرستانی وپیش دانشگاهی علاقه مند به شرکت در کنفرانس پرسشنامهٔ زیر را تکمیل وحداکثر تااول خردادبه نشانی ادارهٔ آموزش وپرورش محل خود ارسال کنند. اعلام رضایت ولی برای شرکت دانش آموزان درکنفرانس الزامی است.**

- **مبلغ حق شرکت در این کنفرانس ۳۰۰۰ ریال است که در محل کنفرانس دریافت خواهد شد.**
- **هزینهٔ غذا، روزانه سه وعده، برای هر نفر حدود ۵۰۰۰ ریال پیش بینی می شود. دانش آموزان فیش غذا را در محل کنفرانس خریداری می کنند.**
- **خوابگاه توسط ادارهٔ کل آموزش وپرورش استان خراسان (مشهد) تدارک دیده شده است.**
- **ادارات کل آموزش وپرورش استانها امکانات سفر دانش آموزان پذیرفته شدهٔ استان خود رافراهم خواهندکرد.**

دانش آموزان تابع قوانین کلی کنفرانس هستند وباید مقررات کنفرانس رارعایت کنند.
سرپرستهای دانش آموزان اجرای برنامه های جنبی گروه خود را می بایست باکمیتهٔ اجرایی کنفرانس هماهنگ کنند.
به دلیل محدودیت امکانات اجرایی متأسفانه کنفرانس نمی تواند تمام متقاضیان را بپذیرد. تقاضادهندگان توسط ادارهٔ آموزش وپرورش محل از پذیرش یاعدم پذیرش خود مطلع خواهند شد.
**دانش آموزان علاقه مند به ارسال مقاله در این کنفرانس به اطلاعیهٔ جداگانه ای که دراین مورد توزیع شده است مراجعه کنند.**
**برای کسب اطلاعات بیشتر با ادارهٔ آموزش وپرورش محل خود تماس بگیرید.**

### پرسشنامهٔ درخواست شرکت در چهارمین کنفرانس دانش آموزی فیزیک

۱ـ نام . . . . . ۲ـ نام خانوادگی . . . . . .
۳ـ رشتهٔ تحصیلی ومیزان تحصیلات . . . . . .
۴ـ نشانی وتلفن محل تحصیل . . . . . .
۵ـ نشانی کامل محل اقامت وتلفن منزل . . . . . .

اعلام رضایت ولی برای شرکت دانش آموزدر کنفرانس : . . . . . .
. . . . . امضای ولی . . . . . .

# اخبار علمی

## جایزهٔ «حسابی» انجمن فیزیک ایران
برای
## پژوهشگران جوان ایران ۱۳۷۵

**آخرین مهلت ارسال مدارک : دوم اردیبهشت ۱۳۷۵**

به منظور تشویق جوانان ایران به فعالیتهای علمی، انجمن فیزیک ایران هر سال به یکی از دانشجویان دورهٔ کارشناسی فیزیک یا کارشناسان جوانی که کاری ممتاز و شایستهٔ تحسین در یکی از شاخه های فیزیک ارائه کنند «جایزهٔ حسابی» را اهدا می کند. این جایزه شامل لوح تقدیر انجمن فیزیک و ۳۰۰۰۰۰ ریال پول نقد است.

**کسانی می توانند برای دریافت این جایزه داوطلب شوند که**

(الف) دانشجوی دورهٔ کارشناسی فیزیک باشند، یادر غیر این صورت

(ب) بالاترین مدرک تحصیلی شان کارشناسی باشد ولی سن آنها در زمان ارائهٔ مقاله از ۲۵ سال تمام تجاوز نکند.

**توجه :**

- فارغ التحصیلان کارشناسی در بهمن ۱۳۷۴ می توانند داوطلب شوند.
- دانشجویان کارشناسی ارشد نمی توانند داوطلب شوند.
- کاری که ترجمه یا اقتباس باشد، پذیرفته نمی شود.

کاری که ارائه می شود باید در سطح کشور بدیع، واز لحاظ علمی یا عملی ویا آموزشی ممتاز باشد.

**داوطلبان باید در ارائهٔ مقالهٔ (گزارش کار) خود این ضوابط را رعایت کنند :**

۱ـ مقاله از سه هزار کلمه بیشتر نباشد،

۲ـ به زبان فارسی نوشته شود،

۳ـ روی کاغذ A۴ با سه سطر فاصله تایپ شود،

۴ـ هر شکل در صفحه ای جداگانه، وهمراه با شماره وشرح باشد،

۵ـ مقاله شامل بخشهای زیر باشد :

(الف) صفحهٔ اول شامل عنوان مقاله ومشخصات مؤلف، (ب) صفحهٔ دوم شامل عنوان وچکیدهٔ مقاله حداکثر در صد کلمه، (ج) مقدمه شامل سابقهٔ موضوع ـ طرح مسئله ـ وخلاصهٔ کار، (د) متن اصلی شامل شرح مفصل کار، (هـ) نتیجهٔ کار وچشم انداز آینده آن.

**مراسم اهدای جایزهٔ حسابی**

هیات داوران جایزهٔ حسابی انجمن فیزیک، اسامی برنده یا برندگان این جایزه را در کنفرانس دانشجویی انجمن فیزیک ایران (۹ تا ۱۱ مرداد ۱۳۷۵ ـ دانشگاه الزهرا ـ تهران) اعلام وجایزه را طی مراسمی به برنده اهدا خواهد کرد.

**مدارک لازم :**

۱ـ سه نسخه از مقاله،

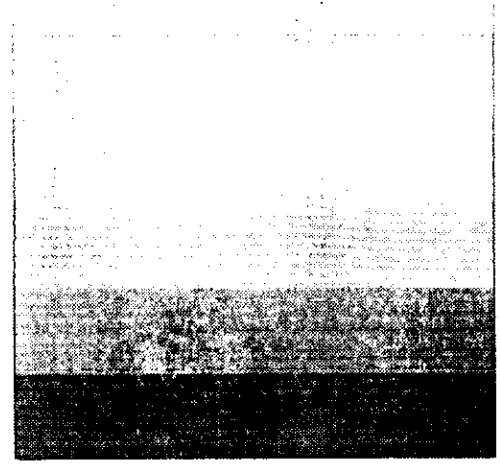
۲ـ مشخصات کامل مؤلف (نام، تاریخ تولد، شغل، محل کار، نشانی پستی، و شمارهٔ تلفن)

۳ـ تأییدیهٔ بررسی هر مقاله منوط به آن است که مقاله را یکی از اعضای پیوستهٔ انجمن فیزیک تأیید کند وتأییدیه رامستقیماً به دفتر انجمن بفرستد.

داوطلبان باید مدارک خود را، با رعایت آخرین مهلت، به نشانی

**تهران : صندوق پستی ۱۳۱۱ـ۱۵۸۷۵، دفتر انجمن فیزیک ارسال فرمایند.**

برای کسب اطلاعات بیشتر لطفاً با دفتر انجمن فیزیک ایران یا با تلفن ۸۰۲۳۷۵۹ (۰۲۱) تماس بگیرید.



# وارونگی هوا چیست؟

دکتر منیژهٔ رهبر

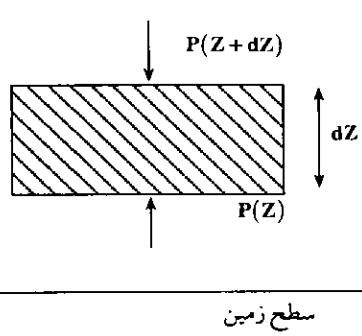
این روزها آلودگی هوا در شهرهای بزرگ یکی از مسائل بسیار حاد زیست محیطی است که سلامت ساکنان شهرهای بزرگ را تهدید می‌کند. این آلودگی در زمستان که از دستگاههای گرم کننده استفاده می‌شود و به علت شرایط جوّی این فصل، جدیتر می‌شود. واژه‌ای که معمولاً در گزارشهای هواشناسی شنیده می‌شود، اصطلاح وارونگی است. برای آشنایی با آنچه در شرایط وارونگی رخ می‌دهد، مسئله را در زیر بررسی می‌کنیم.

حجمی از هوا به ضخامت dZ و سطح مقطع A را در نظر بگیرید که مطابق شکل ۱ در ارتفاع Z در حال تعادل (بدون حرکت) است. این حجم هوا به علت اختلاف فشار بین سطح بالا و پایینِ آن در این ارتفاع باقی می‌ماند. تعادل نیروهای وارد بر این جزء حجم رابطهٔ زیر را می‌دهد.

$$[P(Z) - P(Z+dZ)]A = \rho g A dZ \qquad (۱)$$

که در آن $\rho$ چگالی هوای حجم مورد نظر و g شتاب گرانی است. ساده سازی معادلهٔ (۱) رابطهٔ زیر را می‌دهد.

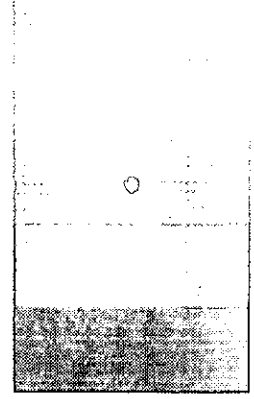
$$-\frac{dP}{dZ} = \rho g \qquad (۲)$$




شکل ۱ ـ یک جزء حجم هوا که در جوّ در حالت تعادل است.

هوا را با تقریب خوب می‌توان گاز کامل در نظر گرفت، پس قانون گاز کامل در مورد آن برقرار است.

$$PV = n_M RT \qquad (۳)$$



# وارونگی چیست؟

که در آن $n_M$ تعداد مولهای گاز در حجم V و R ثابت گازهاست.

با تقسیم معادلهٔ (۳) بر V و توجه به اینکه $\frac{n_M}{V}$ با چگالی گاز متناسب است، خواهیم داشت:

$$P = \text{مقدار ثابت} \times \rho T \qquad (۴)$$

هوا رسانای خوبی نیست. به علاوه، حرکتهای معمولی حجمهای هوا در جوّ به اندازه‌ای سریع است که تبادل گرما بین آنها صورت نمی‌گیرد. درنتیجه، حرکت جوّی را می‌توان بی دررو فرض کرد. پس تغییر فشار با دما به صورت زیر است:

$$T = \text{مقدار ثابت} \times \rho \frac{\gamma - ۱}{\gamma} \qquad (۵)$$

که $\gamma$ نسبت گرمای ویژه در فشار ثابت به گرمای ویژه در حجم ثابت است. با حذف $\rho$ و P از معادله (۲) و با استفاده از معادله های (۴) و (۵) معادلهٔ سادهٔ زیر به دست می‌آید.

$$-\frac{dT}{dZ} = C$$

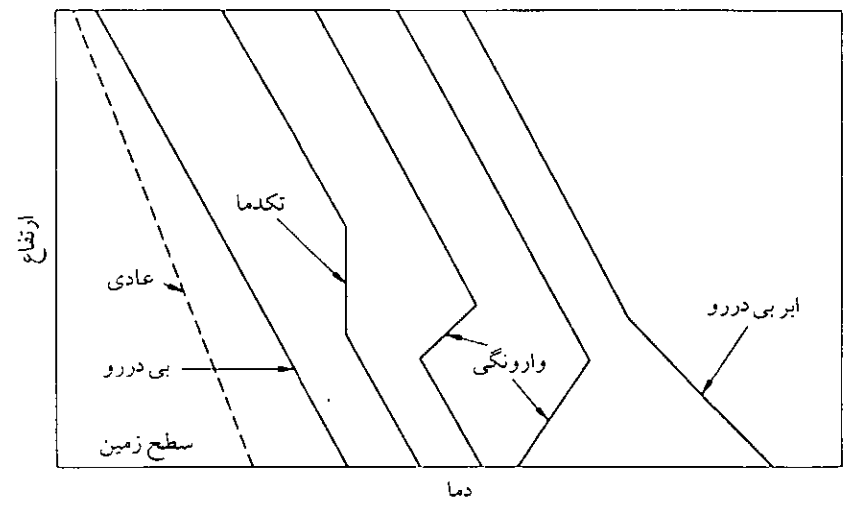
که در آن C مقداری ثابت است. حل معادله به صورت زیر است

$$T = T_{\circ} - CZ \qquad (۶)$$

که $T_{\circ}$ دما در ارتفاع $Z = \circ$ یعنی سطح زمین است. با توجه به رابطهٔ (۶) می‌بینیم که T با افزایش ارتفاع به صورت خطی کاهش می‌یابد. ثابت C آهنگ تغییر دما در واحد ارتفاع است و به آن **سرعت کاهش بی دررو** می‌گویند. این آهنگ کاهش در حدود $۱^{\circ}C/۱۰۰m$ است.

در غیاب انتقال گرمای عمودی، جوّی که اجزاء آن به خوبی مخلوط شده باشد دارای آهنگ کاهش بی دررو است. امّا شرایط جوّی همواره تغییر می‌کند و درنتیجه، توزیع دما در جوّ، معمولاً با توزیع بی دررو تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. برای مثال، در بعضی ارتفاعها، آهنگ تغییر دما تندتر از آهنگ بی دررو است و در این مورد می‌گویند لایهٔ هوا رفتار **اَبَر بی دررو** دارد. از طرف دیگر، آهنگ تغییر دما ممکن است کندتر از آهنگ بی دررو باشد. در این صورت، لایه را به دلیلی که در زیر خواهد آمد، **پایدار** می‌گویند. یک مورد مهم از این نوع وقتی به وقوع می‌پیوندد که دما در گستره‌ای از ارتفاعها **افزایش** یابد. وضعیتی که **وارونگی** خوانده می‌شود، و یا هنگامی که دما در عرض لایه ثابت بماند، که این حالت را **تکدما** می‌نامند. مثال این توزیعها در شکل ۲ آمده است. **آهنگ کاهش بهنجار** در شکل میانگین آهنگهای کاهش مشاهده شده است.

نمایهٔ دما در جوّ را در هر زمان عواملی چند تعیین



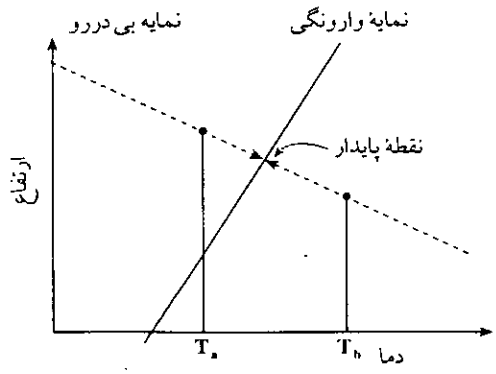

شکل ۲ ـ مثالهایی از توزیع دما در ارتفاعهای کم جوّ

می کند، این عوامل شامل گرم و سرد شدن سطح زمین، حرکت توده های بزرگ هوا، وجود پوشش ابری و وجود موانع توپوگرافی است. خورشید در طی روز زمین را گرم می کند، درحالی که در شب در غیاب خورشید زمین براثر تابش انرژی سرد می شود. در روزهایی که هوا صاف است و باد ملایمی می وزد، ممکن است براثر انتقال گرما از سطح داغ به چند صد متر اولیهٔ جوّ شرایط آبَر بی دررو به وجود می آید. از طرف دیگر، در شبهای بدون ابر که زمین به آسانی انرژی تابش می کند، سطح زمین ممکن است سریعتر از هوای بلافاصله بالای آن سرد شود، نتیجهٔ این عمل وارونگی است.

وارونگی در توده های بزرگ هوا نیز به وقوع می پیوندد. معلوم شده است که این توده های هوا با مشخصات معلوم در سراسر جهان به وجود می آیند. فشار در بعضی از آنها از جوّ اطرافشان بیشتر است و آنها را توده های **پرفشار** می نامند. در برخی دیگر فشار از جوّ اطراف کمتر است و **کم فشار** نامیده می شوند. در پیرامون توده های پرفشار، هوا به طرف خارج و به ناحیهٔ کم فشار حرکت می کند. این جریان به خارج با فرونشستن هوا در سیستم پرفشار جبران می شود. وقتی هوای ارتفاع بالا، به ارتفاع کمتر سقوط می کند، به طور بی دررو گرم می شود و فشارش افزایش می یابد. اگر دمای آن تا بیش از هوای موجود در ارتفاعهای کمتر بالا رود، شرایطی به وجود می آید که به **وارونگی نشستی** معروف است. این نوع وارونگی به زمین نمی رسد.

اکنون پیامدهای پخش ذرات موجود در هوا را در نمایه های مختلف دما در نظر می گیریم. فرض کنید که نمایه بی دررو است، در این مورد اگر حجم کوچکی از هوا (هواشناسان آن را بسته هوا می نامند، زیرا حجم آن معمولاً پس از آزاد شدن تغییر می کند) را در نظر بگیرید که در ارتفاع معین و با چگالی و دمایی که با جوّ اطراف برابراست آزاد شود، طبق معادلهٔ (۶) هوا ساکن و در حال تعادل خواهد ماند و حرکت نمی کند. اگر دمای آن بالاتر از جوّ اطراف باشد، براثر شناوری بیشتر بالا می رود تا به حالت سکون درآید. حرکت مشابهی به طرف پایین در مورد هوایی صورت می گیرد که دمایش کمتر از جوّ اطراف است.

در شرایط آبَر بی دررو، هر بسته هوا که ابتدا داغتر از محیط اطراف باشد، شروع به بالا رفتن می کند و این کار




شکل ۳ـ پایداری یک بستهٔ هوا در شرایط وارونگی

ادامه می یابد، زیرا دمای آن به طور بی دررو افزایش می یابد و همواره از محیط اطراف بیشتر است. همین طور بسته هوای خنکتر در ناحیهٔ آبَر بی دررو و پیوسته سقوط می کند. پس حالت آبَر بی دررو به وضوح **ناپایدار** است و برای پخش ذرات معلق در هوا حالت مطلوبی است.

سرانجام، فرض کنید که بستهٔ هوا در یک وارونگی با دمای $T_a$ رها شود که از دمای جوّ اطرافش بالاتراست. با بالارفتن بسته هوا، دما به طور بی دررو کاهش می یابد و در نهایت به طوری که در شکل ۳ نشان داده شده است در نقطهٔ برخورد نمایه های دمای بی دررو و وارونگی به دمای جوّ می رسد. این بسته فقط ممکن است به علت تکانهٔ خود اندکی بالاتر از این نقطه برود. اگر بسته با دمای $T_b$ که از جوّ اطرافش کمتر است رها شود، در امتداد نمایهٔ بی دررو تا دمای وارونگی سقوط می کند و پایین تر از آن نمی رود. اگر بسته با دمای وارونگی محلی رها شود، حرکت نخواهد کرد. از همه بدتر هر حرکت به طرف بالا و پایین موقتی خواهد بود: بسته همواره به نقطهٔ دمای اصلی خود برمی گردد. این رفتار بستهٔ هوا، ماهیت **پایدار** جوّ را در شرایط وارونگی نشان می دهد. این بحث برای هر شرایطی که در آن کاهش دما با سرعتی کمتر از بی دررو صورت می گیرد صادق است. بدیهی است که این شرایط برای پخش ذرات آلوده کنندهٔ هوا مناسب نیست.

## مرجع

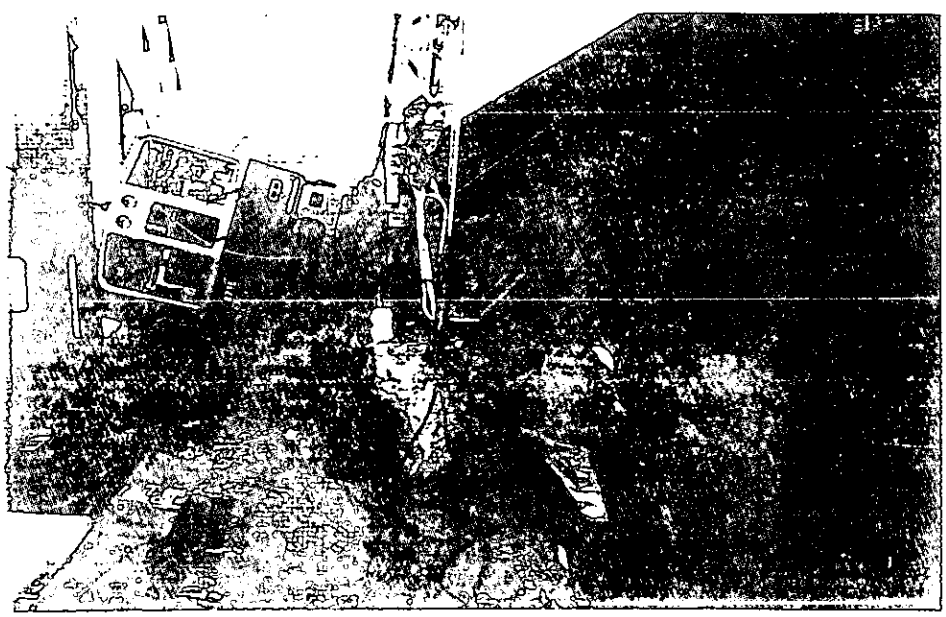
John R. Lamarsh, "Introduction to Nuclear Engineering". Addison Wesley, 1982.

# آبهای زیرزمینی وقوع زمین‌لرزه را هشدار دادند

گزارشی[1] از پیتر هَدفیلد (Peter Hadfield)
ترجمهٔ دکتر فرزاد وحید

براساس گزارش پژوهشگران ژاپنی آبهای زیرزمینی می‌توانستند علائم هشداردهنده‌ای قبل از وقوع زلزلهٔ ویرانگر هفدهم ژانویه شهر کوبه (Kobe) در ژاپن بدهند.

ترکیب آبهای زیرزمینی مدتهاست که به‌عنوان یک شاخص احتمالی برای پیش‌بینی زمین‌لرزه‌های بزرگ درنظر گرفته شده است. اما متأسفانه تاکنون زمین‌لرزه‌های کمی در نزدیکی دستگاه‌های اندازه‌گیری به‌وقوع پیوسته است. با وجود آنکه مرکز زمین‌لرزه اخیر شهر با محل نصب شبکه‌های دیدبانی فعالترین ناحیهٔ تکتونیک (Tectonic) ژاپن در نزدیکی توکیو، ۳۰۰ کیلومتر فاصله داشت اما خوشبختانه گروه پژوهشگران دانشگاه هیروشیما به سرپرستی جورج ایگاراشی (George Igarashi) سه ماه پیش از وقوع این زمین‌لرزه شروع به اندازه‌گیری مداوم در آبهای زیرزمینی شهر کرده بودند. ایگاراشی منتظر زمین‌لرزه نبود بلکه هدف او بررسی غلظت رادون در آب زیرزمینی بود و شهر کوبه را از این جهت انتخاب کرده بود که در گذشته مطالعات زیادی روی چاه‌های آن انجام شده بود. گاز رادون در اثر واپاشی رادیواکتیو اورانیوم در پوستهٔ زمین ایجاد می‌شود و مقدار بسیار کمی از آن از صخره‌های حاوی اورانیوم وارد آبهای عمیق زیرزمینی می‌شود. اگر فشارهای



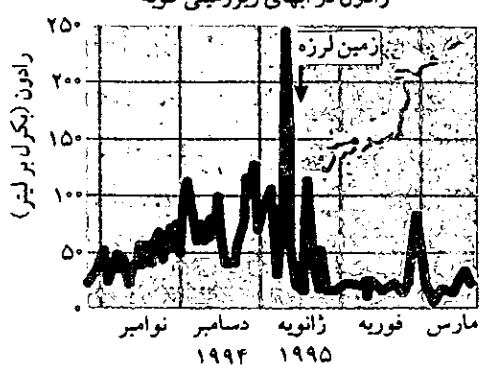
وارد بر صخره های زیرزمینی باعث ایجاد ترکهایی در آنها شود رادون بیشتری در آبهای زیرزمینی نشت می کند.

از آنجا که فشارهای وارده بر صخره های زیرزمینی پیش از وقوع زمین لرزه افزایش می یابد، افزایش ناگهانی تراکم رادون ۲۲۲ در آبهای زیرزمینی می تواند خبر از وقوع زمین لرزه در آیندهٔ نزدیک دهد. مطالعاتی که ۲۰ سال پیش در شبه جزیرهٔ ایزو (Izu) در نزدیکی توکیو انجام شد، سطح رادون در آب را با وقوع زمین لرزه مرتبط می دانست.

در سال ۱۳۷۲ (اواخر سال ۱۹۹۳ میلادی) ایگاراشی و همکارانش در چند اندازه گیری مقدماتی تراکم رادون را در چاهی که در ۳۰ کیلومتری شمال شرقی مرکز زمین لرزهٔ شهر کوبه قرار داشت، محاسبه کردند. در سال ۱۳۷۳ (۲۷ اکتبر ۱۹۹۴) که سطح رادون اندکی بیش از مقادیر ثبت شده در سال ۱۳۷۲ (۱۹۹۳ میلادی) گردید، اعضاء تیم به دیدبانی مداوم این چاه پرداختند. در آخرین شمارهٔ مجله ساینس (Science شمارهٔ ۲۶۹ صفحهٔ ۶۰) این پژوهشگران افزایش مداوم سطح رادون را طی چند هفته پیش از وقوع زمین لرزه گزارش کردند. سپس درسال ۱۳۷۴ (ژانویهٔ ۱۹۹۵ میلادی) سطح رادون با افزایش سریع، ناگهان به ۱۲ برابر مقدار آن در سال ۱۳۷۲ (۱۹۹۳ میلادی) رسید. پس از آن سطح رادون کاهش یافت و چند روز بعد (دهم ژانویه) به پایین تر از مقدار آن در سال ۱۳۷۲ رسید. این پژوهشگران هیچ عامل دیگری را به غیر از فعالیتهای زمین لرزه ای برای این تغییرات پیدا نکردند. ایگاراشی می گوید که بسیاری از لرزه شناسان در درستی گزارش شبه جزیرهٔ ایزو تردید داشتند ولی داده های اخیر بسیار قانع کننده اند. به گفتهٔ وی «بی هنجاری بسیار مشخص بود و پس از زمین لرزه تراکم رادون به سطح پایدار برگشت».

در یک مقالهٔ دیگر که در همان شماره از مجلهٔ ساینس

رادون در آبهای زیرزمینی کوبه




(شمارهٔ ۲۶۹ صفحهٔ ۶۱) انتشار یافت. اورومو تسونگای (Urumu Tsunogai) و هیروشی واکیتا (Hiroshi Wakita) پژوهشگران دانشگاه توکیو مدعی شناسایی پیش لرزه های دیگری شده اند. به گفتهٔ آنها قبل از وقوع زمین لرزه تراکم یونهای کلرید و سولفات در آبهای زیرزمینی کوبه افزایش یافت. برخلاف گروه ایگاراشی این پژوهشگران قبل از وقوع زمین لرزه به گردآوری داده ها نپرداخته بودند. بلکه بطریهای آب معدنی از چاه های ناحیهٔ کوبه که تاریخ دار بودند خریداری کردند. این پژوهشگران دریافتند که تراکم کلرید این نمونه ها از خرداد ۱۳۷۲ (ژوئن ۱۹۹۳) تا تیر ۱۳۷۳ (ژوئیه ۱۹۹۴) در حدود ۱۳/۹ قسمت در میلیون (ppm) باقی مانده اما از مرداد ۱۳۷۳ (اوت ۱۹۹۴) شروع به افزایش کرد و میزان آن چند روز پیش از زمین لرزه ده درصد بالاتر از مقدار پایدار گردید و همبستگی مشابهی در مورد سولفاتها مشاهده شد. تولید آب معدنی پس از زمین لرزه برای مدتی متوقف شد. اما با توجه به نمونه های تسونگای و واکیتا نتیجه گرفتند که سطح کلریدها و سولفاتها روند صعودی را طی می کنند و در اواخر بهمن (اواسط فوریه) به قلهٔ خود رسیدند و سپس در ماه اسفند (مارس) به میزان پیشین خود برگشتند. تسونگای و واکیتا این تغییرات شیمیایی را در نتیجهٔ نشت آبهای زیرزمینی حاوی مقادیر زیاد کلریدها و سولفاتها به ناحیهٔ شهر کوبه دانسته اند. به نظر این پژوهشگران تراکم زیاد کلرید و سولفات ناشی از گرانیت موجود در زیر شهر کوبه نیست بلکه آب زیرزمینی غنی از یونها در ناحیهٔ گسلهای زمین شناختی کوه های پشت کوبه وجود دارند. تنش تکتونیک قبل از زلزلهٔ کوبه ممکن است سبب ایجاد ترکهایی در صخره ها شده باشد و در نتیجه آبهای منطقهٔ گسلها، چاه های کوبه را آلوده کرده باشند.

بسیاری از لرزه شناسان امیدوارند که نتایج پژوهشهای این دو گروه سرانجام راهی را برای پیشگویی زمین لرزه های بزرگ بگشاید. خود ایگاراشی معتقد است که پژوهشهای بسیاری در این مورد ضروری است. به نظر او «مطالعات ما را نمی توان برای پیشگویی زلزله طی چند سال آینده به کار برد، اما این مطالعات از نظر علمی بسیار جالب توجه اند».

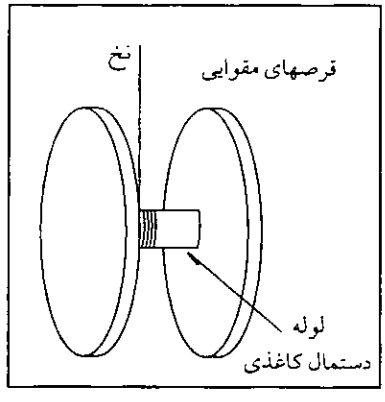
## زیرنویسها

۱ـ این گزارش برای مجلهٔ نیوساینتیست New Scientist شمارهٔ ۱۹۸۶ جلد ۱۴۷، ۱۵ ژوئیهٔ ۱۹۹۵ تهیه شده است.

# یویوهای ارزان وساده

نوشتهٔ ویلیام بوردرو[1]
ترجمهٔ آزیتا مصباح

کلاس فیزیک دبیرستان ما اخیراً متوجه شده، یویوهای مقوایی وسائلی برای آزمایش حرکت دورانی است. شکل (۱) مجموعهٔ یویویی را نشان می دهد که دو کنارهٔ آن از مقوای تخت ساخته شده و با چسب به بخش مرکزی، که از یک دستمال کاغذی لوله ای جدا شده، چسبانده شده است. نخی که دور لولهٔ دستمال پیچیده شده خود را با اصطکاک نگهداشته است. وقتی یویو از دست رها می شود، به آرامی نخ آن باز می شود. دانش آموزان با چند آزمایش به وسیلهٔ زمان سنج، متوسط زمانهای سقوط را به دست می آورند.



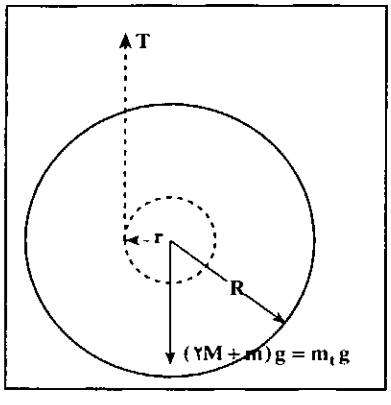

شکل ۱ ـ یویوی مقوایی

این نتیجه با زمان سقوطی که قبلاً محاسبه شده مقایسه می شود.

شکل (۲) نمودار نیروی یویو را نشان می دهد. در توضیحات زیر $T$ = کشش نخ، $M$ = جرم هر طرف، $m$ = جرم بخش مرکزی، $m_t$ = جرم کل یویو، $g$ = شتاب گرانش، $r$ = شعاع بخش مرکزی، و $R$ شعاع هر طرف است.

$$\sum F = m_t a = m_t g - T \qquad (۱)$$

$$\sum \tau = I\alpha = Tr \qquad (۲)$$




شکل ۲ ـ نمای یویو از پهلو

$$\alpha = \frac{a}{r} \qquad (۳)$$

لختی دورانی (گشتاور ماند) یویو برابر است با مجموع لختی دورانی اجزاء آن نسبت به محور وسط (که از مرکز لوله می گذرد)، پس

$$I = ۲(\frac{۱}{۲}MR^۲) + mr^۲ \qquad (۴)$$

یا

$$= MR^۲ + mr^۲$$

با حذف شتاب زاویه ای $\alpha$ از رابطه های (۲) و (۳) نتیجه می شود:

$$T.r = I.\frac{a}{r} \qquad (۵)$$

یا

$$T = I.\frac{a}{r^۲}$$

اکنون T را از این رابطه در رابطهٔ (۱) قرار دهید، پس از مرتب کردن خواهیم داشت:

$$m_t a = m_t g - \frac{Ia}{r^۲} \Rightarrow$$

$$a = \frac{m_t g}{m_t + \frac{I}{r^۲}} \qquad (۶)$$

برای ارتفاع سقوطی به اندازهٔ h (که در آزمایشها تا حدود ۱ متر است)، زمان سقوط می تواند از طریق $h = \frac{۱}{۲}at^۲$ پیش بینی شود که به دست می آید $t = (\frac{۲h}{a})^{\frac{۱}{۲}}$.

دربارهٔ آزمایش با یک یویوی واقعی در مقالهٔ منتشرشده در ماه فوریه ۱۹۸۹ فیزیکس تیچر The Physics Teacher توضیحی داده شده است. دستگاهی که در اینجا شرح آن داده شد، چند امتیاز دارد. از انواع مختلف یویو می توان استفاده کرد، که بعضی از آنها نتایج غیر منتظره ای به دست می دهند. دانش آموزان می توانند تفاوت نتایج حاصل از کناره های بزرگ نسبت به کناره های کوچک و هم چنین لوله های بزرگ و لوله های کوچک را با هم مقایسه کنند. هم چنین می توانند اهمیت قرارگیری محور دوران دقیقاً در مرکز لوله و لزوم موازی بودن کناره ها و عمود بودنشان بر محور دوران را دریابند.

به عنوان تنوع، دانش آموزان می توانند وزنه ای را از نخ آویزان کنند و بگذارند یویو شتابی افقی بگیرد ضمن آنکه کناره ها روی دو میز با فاصلهٔ کم نسبت به هم قرار دارند، می چرخند. سپس آنها می توانند زمان دوران را پیش بینی کنند یا کدام یک از یویوها در مسابقه برنده خواهد شد. چنین «آزمایش حرکت دورانی» آزمایشگاه ارزان قیمتی است که به مهارتهای مختلف زیادی نیاز دارد و در آن هم «اشتباهات» می توانند به مانند موفقیتها آموزنده باشند.

**زیرنویسها:**

۱_ William Bourdreau

**مرجع:**

The Physics Teacher, February 1990, P. 92.

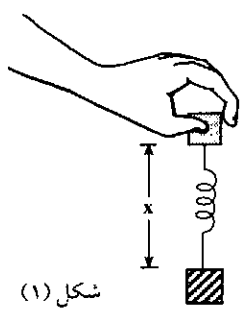
# ششمین المپیاد فیزیک ایران

(۷۴/۲/۱۴)

## سؤالها و مسأله های مرحلهٔ اول

***بخش اول ـ سؤالهای چند گزینه‌ای ـ*** *سؤالهای ۱ تا ۳ چند گزینه ای هستند و ممکن است در هر سؤال بیش از یک گزینهٔ درست وجود داشته باشد. به هر گزینه که درست علامت زده شود، نمره مثبت و به هر گزینه که نادرست علامت زده شود نمره منفی داده خواهد شد. نمره مثبت هر گزینهٔ درست و نیز نمره منفی هر گزینه نادرست همراه هر سؤال و در پرانتز نوشته شده است.*

۱ ـ شکل (۱) دو قطعهٔ یکسان را نشان می دهد که به وسیلهٔ فنری به هم متصل هستند. قطعهٔ بالایی را با دست نگه می داریم. پس از برقراری تعادل، فاصلهٔ دو جسم x می شود. در این حالت دستگاه را رها می کنیم. بلافاصله پس از رها شدن دو قطعه، فاصله دو جسم:



شکل (۱)

نمره (۳+ ، ۱/۵ −)

الف) کاهش می یابد.
ب) افزایش می یابد.
ج) ثابت می ماند.

۲ ـ در برخورد کاملاً غیرکشسان یک جسم متحرک با یک دیوار محکم (ساکن)، انرژی جنبشی جسم منجر به تغییر شکل جسم می شود. اما در برخورد کشسان، انرژی جنبشی جسم حفظ می شود و جسم با همان اندازه سرعت هنگام برخورد، برمی گردد. برای آنکه یک اتومبیل برای سرنشینانش ایمن تر باشد، باید طوری ساخته شود که در برخوردها:

نمره (۲/۵+ ، ۲ −)

الف) به طور کشسان عمل کند.
ب) به طور غیرکشسان عمل کند.

۳ـ بیشینه توان موتور اتومبیلی به جرم m برابر P است. کمترین زمان لازم برای آنکه اتومبیل از حال سکون به سرعت V

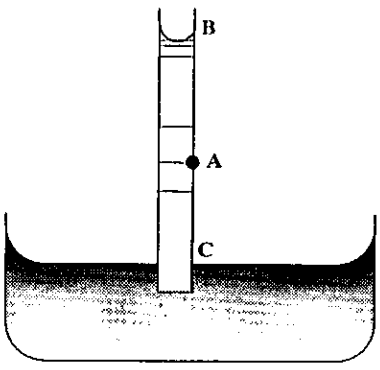
برسد و با فرض آنکه اتلاف انرژی ناچیز باشد، برابر است با: نمره (۲+ ، ۰/۵−)

الف) $\frac{mV^2}{P}$ ب) $\frac{P}{mV^2}$

ج) $\frac{2P}{mV^2}$ د) $\frac{mV^2}{2P}$

هـ) $\frac{1}{2}mV^2P$

۴ـ شکل (۲) بالا رفتن آب در یک لولهٔ مویین را نشان می دهد.



شکل (۲)

اگر در نقطهٔ A سوراخ ریزی ایجاد شود: نمره (۲/۵+ ، ۱−)

الف) سوراخ A زیر نقطهٔ B است، درنتیجه آب از سوراخ بیرون می ریزد.

ب) به علت خاصیت مویینگی، آب از A بیرون می ریزد.

ج) هوا از سوراخ A عبور می کند، زیرا سوراخ بالای نقطهٔ C است.

د) آب و هوا از سوراخ عبور نمی کنند، زیرا کشش سطحی جلوی آنها را می گیرد.

هـ) آب و هوا از سوراخ عبور نمی کنند، زیرا چسبناکی آب و لوله مانع آنها می شود.

و) فشار هوای بیرون مانع خروج آب از سوراخ می شود.

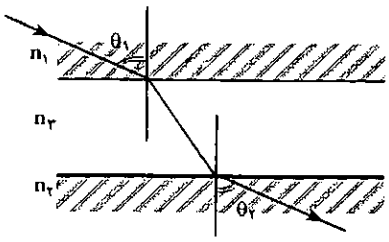
۵ـ گازی با فشار $P_1$ را به طور ناگهانی متراکم می کنیم به طوری که حجم آن نصف شود. **بلافاصله** پس از انجام این کار، فشار گاز به $P_2$ می رسد. کدامیک از گزینه های زیر درست است؟ نمره (۲/۵+ ، ۱/۵−)

الف) $P_2 = 2P_1$

ب) $P_1 < P_2 < 2P_1$

ج) $P_2 > 2P_1$

۶ـ محیط هایی با ضریب شکستهای $n_1$ و $n_2$ مطابق شکل (۳) توسط لایه ای به ضریب شکست $n_3$ از هم جدا شده اند. باریکه نور تک رنگی با زاویه $\theta_1$ از محیط $n_1$ به محیط $n_3$ می تابد و با زاویهٔ $\theta_2$ از سطح مشترک $n_3$ و $n_2$ وارد محیط $n_2$ می شود. لایه میانی به ضریب شکست $n_3$ را برداشته و لایه ای به همان ضخامت و ضریب شکست $n'_3$ به جای آن قرار می دهیم به طوری که $n'_3 > n_3$. در این صورت زاویهٔ خروج برابر $\theta'_2$ می شود. کدامیک از گزینه های زیر درست است؟



شکل (۳)

نمره (۲/۵+ ، ۱/۵−)

الف) $\theta_2 > \theta'_2$

ب) $\theta_2 = \theta'_2$

ج) $\theta_2 < \theta'_2$

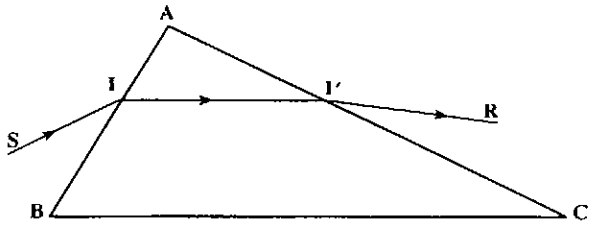
۷ـ مطابق شکل (۴)، باریکه نور تکرنگی از هوا وارد منشور شیشه ای شده و پس از شکست در I و I′ از منشور عبور می کند. کدامیک از گزینه های زیر درست است؟ نمره (۲/۵+ ، ۱−)

الف) زاویه بین SI و II′ ، زاویه انحراف منشور نام دارد.

ب) اگر زاویهٔ تابش افزایش یابد، زاویهٔ پرتو I′R با سطح AC افزایش می یابد.

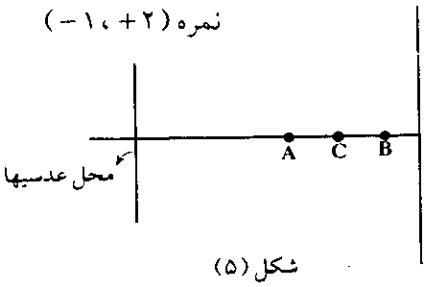
ج) وقتی که زاویهٔ انحراف حداقل باشد، $II'$ با دو سطح AB و AC زاویه های یکسان می سازد.

د) وقتی $II'$ با BC موازی باشد، زاویه تابش و زاویه خروجی با هم برابر هستند.



شکل (۴)

۸ـ هرگاه عدسی $L_1$ مقابل یک دسته پرتو قرار داده شود، نور را در نقطه A کانونی می کند (شکل ۵) هرگاه عدسی $L_2$ را در جای عدسی $L_1$ قرار دهیم، نور در نقطه B کانونی می شود و هرگاه هر دو عدسی را در کنار هم در این محل قرار دهیم، نور خروجی در نقطهٔ C کانونی می شود. کدامیک از گزینه های زیر می توانند درست باشند؟



شکل (۵)

الف) $L_1$ همگرا و $L_2$ همگرا

ب) $L_1$ همگرا و $L_2$ واگرا

ج) $L_1$ همگرا و نور ورودی همگرا

د) $L_1$ واگرا و نور ورودی واگرا

هـ) $L_2$ همگرا و نور ورودی همگرا

و) $L_2$ همگرا و نور ورودی واگرا

۹ـ بار نقطه ای $q_1$ در ابتدا به فاصلهٔ d از مرکز کرهٔ رسانایی با بار $q_2$ و به شعاع r واقع است. در حالت دیگر بار نقطه ای $q_2$ را به همان فاصلهٔ d از بار نقطه ای $q_1$ قرار می دهیم. نیروی وارد بر بار $q_1$: نمره (۲+، ۱-)

الف) اگر بارها همنام باشند، در حالت اول بیشتر است.

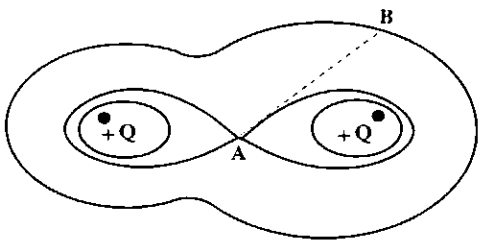
ب) اگر بارها همنام باشند، در حالت دوم بیشتر است.

ج) اگر بارها غیرهمنام باشند، در حالت اول بیشتر است.

د) اگر بارها غیرهمنام باشند، در حالت دوم بیشتر است.

هـ) چه بارها همنام و چه غیرهمنام باشند، نیرو در دو حالت یکی است.

۱۰ـ در شکل (۶) نقطه های هم پتانسیل دو بار نقطه ای مشابه Q+ با خطهای بسته نشان داده شده اند. در انتقال یک الکترون از نقطه A به نقطه B در مسیر مشخص شده: نمره (۲+، ۱-)



شکل (۶)

الف) انرژی الکتریکی آن کاهش می یابد.

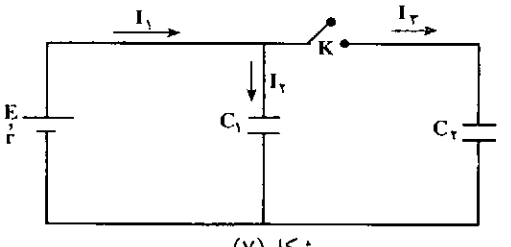
ب) انرژی الکتریکی آن تغییر نمی کند.

ج) انرژی الکتریکی آن افزایش می یابد.

د) نیروی الکتریکی بر آن وارد می شود که آن را به سمت A می کشاند.

هـ) هیچ نیروی الکتریکی بر آن وارد نمی شود.

۱۱ـ در مدار شکل(۷)، ابتدا کلید K باز بوده و خازن $C_1$ پر و خازن $C_2$ خالی است. کلید K را می بندیم. کدام گزینه در مورد شدت جریانهای $I_1$ و $I_2$ و $I_3$ در فاصلهٔ بستن کلید K و پر شدن خازن $C_2$ درست است؟ نمره (۲/۵+، ۱-)



شکل (۷)

الف) $I_1 = I_3$ و $I_2 = 0$

ب) ابتدا $I_2 < 0$ و سپس $I_2 > 0$

ج ) $I_2 \neq 0$ و $I_1 \neq I_3$

د ) $I_1 = I_2 = I_3 = 0$

۱۲ـ یک حلقه کـه بار الکتریکی Q به طور یکنواخت روی آن قـرار دارد را در نظر بگیرید. بار الکتـریکی نقطه ای q را در مرکز حلقه می گذاریم. می خواهیم بار الکتریکی q در راستای محور حلقه دارای تعـادل پایدار و در راستای شعاع حلقه دارای تعادل ناپایدار باشد. در اینصورت: نمره (۲+، ۱-)

الف) باید Q منفی و q منفی باشد.

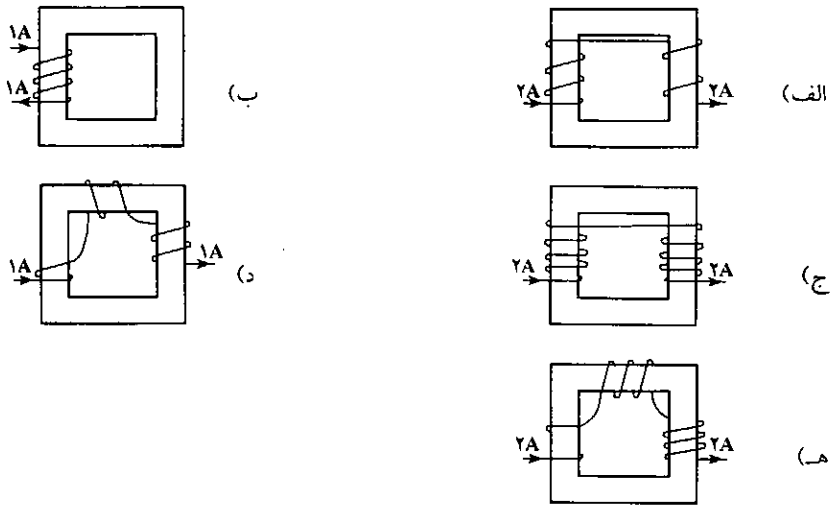
ب ) باید Q منفی و q مثبت باشد.

ج ) باید Q مثبت و q مثبت باشد.

د ) باید Q مثبت و q منفی باشد.

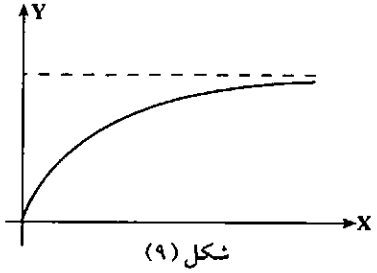
هـ) با هیچ نوع انتخابی از Q و q نمی توان شرایط مورد نظر را ایجاد کرد.

۱۳ـ در کدامیک از مدارهای شکل (۸) شار مغناطیسی که از هسته آهنی می گذرد، بیشتر است؟ نمره (۲/۵+، ۱-)




شکل (۸)

***بخش دوم ـ سؤالهای دو گزینه‌ای ـ*** *سؤالهای ۱۴ تا ۲۱ دو گزینه‌ای هستند. هر یک از سؤالها می‌تواند درست یا نادرست باشد. هر پاسخ صحیح یک نمره مثبت و هر پاسخ غلط یک نمره منفی خواهد داشت. چنانچه در یک سؤال هر دو گزینهٔ درست و نادرست علامت زده شود، یک نمره منفی خواهید گرفت.*




شکل (۹)

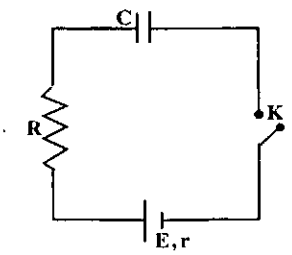
شکل (۹) منحنی تغییرات کمیّت فیزیکی y برحسب کمیّت فیزیکی x است. در سؤالهـای زیر برای x و y کمیّـتهایی پیـشنهاد شـده است که مـمکن است درست یا نادرست باشـد. درست یا نادرست بودن آن را با زدن علامت در پاسـخنامه مـشخص کنید.

۱۴ـ یک چتـرباز از ارتفـاع بالا به پایین می پرد: y سرعت چـترباز و x زمان است.

۱۵ـ یک چترباز از ارتفاع بالا به پایین می پرد: y شتاب چترباز و x زمان است.

۱۶ ـ گلوله‌ای فلزی را در داخل آتش قرار می‌دهیم : y دمای گلوله و x زمان است .

۱۷ ـ در مدار شکل (۱۰) خازن بدون بار است . کلید را از حالت باز به حالت بسته تغییر وضعیّت می‌دهیم : y شدت جریان و x زمان است .



شکل (۱۰)

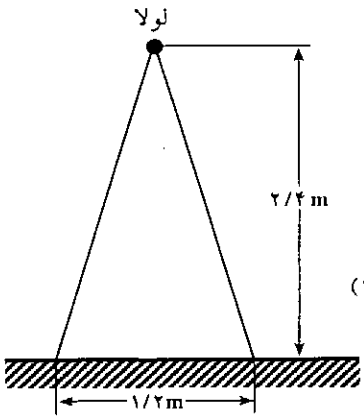
۱۸ ـ در قاعده یک مخزن بزرگ آب ، سوراخی ایجاد شده است : y سرعت خروج آب و x زمان است .

۱۹ ـ با یک تفنگ به یک درخت شلیک می‌کنیم : y سرعت گلوله از لحظهٔ برخورد به درخت و x زمان است .

۲۰ ـ با یک تفنگ به یک درخت شلیک می‌کنیم : y مسافت پیموده شده بوسیله گلوله از لحظهٔ ورود به درخت و x زمان است .

۲۱ ـ y فشار هوا و x ارتفاع از سطح زمین است .

***بخش سوم ـ مسائل کوتاه ـ*** *سؤالهای ۲۲ تا ۳۴ مسائل کوتاه هستند که باید پس از حل آنها در ورقه های پیش نویس، پاسخ آنها ( برحسب واحدهای مشخص شده در صورت مسأله ) در چهارگوش مربوط در ورقه پاسخنامه نوشته شود. نمره هر سؤال در پایان آن نوشته شده است. به پاسخ نادرست این سؤالها، نمره منفی داده نخواهد شد.*



شکل (۱۱)

مطابق شکل (۱۱) یک نردبان دوطرفه که از دو نردبان کاملاً مشابه ساخته شده است ، طوری روی زمین قرار دارد که فاصلهٔ پایه های دو نردبان از یکدیگر ۱/۲ متر و ارتفاع لولای دو طرف نردبان از زمین ۲/۴ متر است . جرم هریک از دو نردبان ۲۰kg و $g = 10 m/s^2$ ، است . پاسخ سؤالهای ۲۲ تا ۲۵ را ( برحسب نیوتون ) محاسبه کنید .

۲۲ ـ نیروی عمودی سطح زمین وارد بر هر نردبان . (۱/۵ نمره)

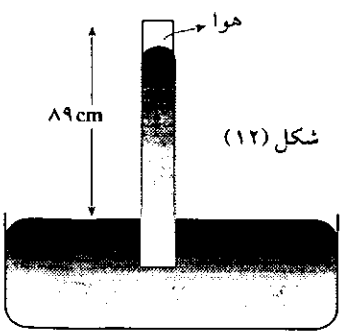
۲۳ ـ مؤلفه قائم نیرویی که هریک از دو نردبان در محل لولا به دیگری وارد می‌کند . (۲/۵ نمره)

۲۴ ـ نیروی اصطکاک زمین با هر نردبان . (۲ نمره)

۲۵ ـ مؤلفه افقی نیرویی که هریک از دو نردبان در محل لولا به دیگری وارد می‌کند . (۲ نمره)

۲۶ ـ گلوله‌ای بدون سرعت اولیه از ارتفاع ۱۹/۲m بالای سطح زمین رها می‌شود . هرگاه گلوله در هر برخورد به زمین، $\frac{۳}{۴}$ انرژی جنبشی خود را از دست بدهد، پس از توقف مجموعاً چه مسافتی (برحسب متر) پیموده است؟ (۴ نمره)

۲۷ ـ مطابق شکل (۱۲) مقدار کمی هوا به داخل لولهٔ هواسنجی نفوذ کرده است به طوری که ارتفاع ستون جیوه در شرایطی که دمای هوا $27^\circ C$ و فشار هوا برابر ۷۶ سانتیمتر جیوه است، برابر با ۷۴ سانتیمتر می‌شود . اگر ارتفاع ستون جیوه در این هواسنج در دمای $7^\circ C$ برابر با ۷۵ سانتیمتر شود، فشار هوا چند سانتیمتر جیوه است؟ هوا را گاز کامل بگیرید . (۵ نمره)

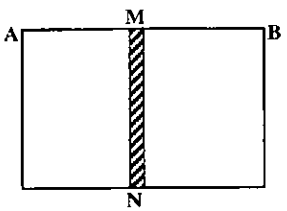


شکل (۱۲)

۲۸ ـ یک گرم‌کن الکتریکی ۱۰۰ واتی برای مدت زیادی داخل یک ظرف محتوی چهار کیلوگرم آب قرار دارد و نتوانسته است آب را به جوش آورد . اگر گرم‌کن را خاموش کنیم، چند ثانیه طول می‌کشد تا دمای آب، یک درجه سلسیوس کاهش یابد؟ ظرفیت

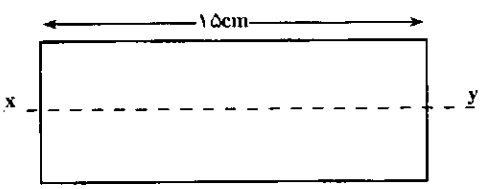
گرمایی ویژه آب $4200 J/kg^\circ C$ است و از ظرفیت گرمایی ظرف و گرم‌کن صرف‌نظر می‌شود. (۴نمره)

۲۹ـ در شکل (۱۳) پیستون MN که از هدایت گرمایی خوبی برخوردار است، استوانه AB را به دو قسمت مساوی تقسیم کرده و می‌تواند آزادانه در استوانه جابه‌جا شود. پیستون را ثابت نگهداشته و در طرف A گازی با فشار ۱۰ آتمسفر و دمای $27^\circ C$ و در طرف دیگر گازی با فشار ۵ آتمسفر و دمای $727^\circ C$ وارد می‌کنیم. سپس پیستون را رها کرده و اجازه می‌دهیم زمان کافی بگذرد تا دو گاز همدما شوند. در اینحالت فاصله AM چند سانتیمتر است؟ طول استوانه $AB = 46cm$ و دیواره‌های استوانه کاملاً عایق گرما هستند. (۵نمره)



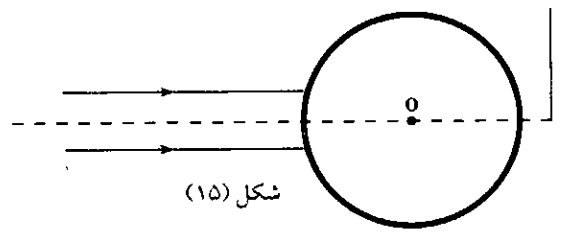
شکل (۱۳)

۳۰ـ مطابق شکل (۱۴) نقطه O روی خط xy و داخل تیغه شیشه‌ای به ضریب شکست $\frac{3}{2}$ واقع است. اگر از سمت x به آن نگاه کنیم، نقطه o را در فاصلهٔ ۶ سانتیمتری این سطح می‌بینیم، اگر از سطح y به آن نگاه کنیم، O در چه فاصله از y (برحسب سانتیمتر) دیده می‌شود؟ (۳ نمره)



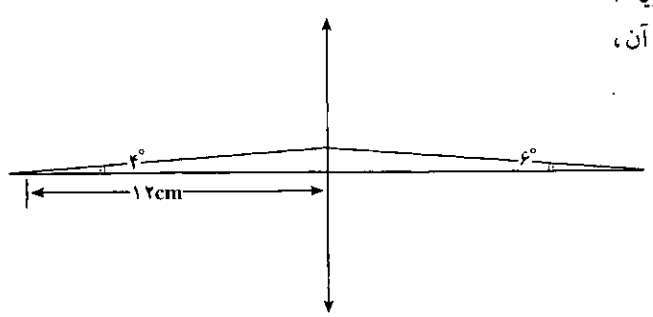
شکل (۱۴)

۳۱ـ باریکه نور تک‌رنگی مطابق شکل (۱۵) روی یک کرهٔ شفاف به شعاع R و ضریب شکست n تابانده می‌شود. مقدار n چقدر باشد تا پرتوها درست روی سطح کره جمع شوند؟ (۵ نمره)



شکل (۱۵)

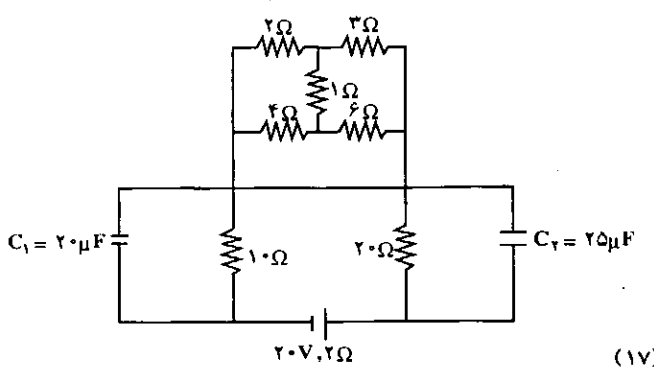
۳۲ـ مطابق شکل (۱۶) پرتو نوری، محور اصلی یک عدسی را در نقطه‌ای به فاصلهٔ ۱۲ سانتیمتری عدسی و با زاویهٔ ۴ درجه قطع کرده و به عدسی می‌تابد. این پرتو بعد از خروج از آن، محور اصلی را با زاویهٔ ۶ درجه قطع می‌کند. فاصلهٔ کانونی عدسی را (برحسب سانتیمتر) حساب کنید. (۴نمره)



شکل (۱۶)

۳۳ـ در مدار شکل (۱۷)، نسبت انرژی ذخیره شده در خازن $C_1$ به انرژی ذخیره شده در خازن $C_2$ چقدر است؟ (۴ نمره)

۳۴ـ اختلاف پتانسیل الکتریکی سطح زمین تا نقطه‌ای در ارتفاع یک متر از سطح زمین چند ولت باشد تا یک ذره بسیار کوچک با بار $q = 1/5 \times 10^{-19} C$ و جرم $m = 9 \times 10^{-20} kg$ بتواند در آن نقطه معلق بماند. $g = 10 m/s^2$ (۵ نمره)

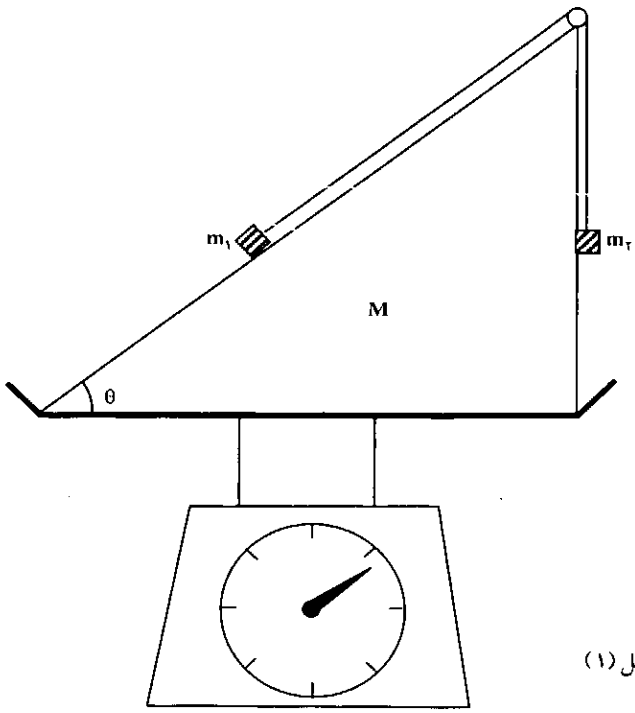


شکل (۱۷)

# مسائل تشریحی

**مسألهٔ اول (۱۰ نمره)**

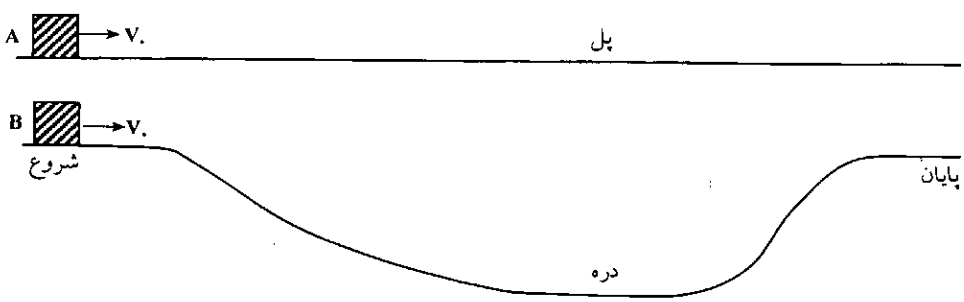
مطابق شکل (۱) جرم $m_1$ که روی سطح شیبداری به زاویه $\theta$ و جرم $M$ قرار دارد، توسط یک نخ، به جرم $m_2$ وصل شده است. دستگاه را روی نیروسنجی قرار داده و از حالت سکون رها می کنیم. نیروسنج چه مقداری را نشان می دهد؟ از جرم نخ و اصطکاک بین اجزاء دستگاه صرف نظر کنید.




شکل (۱)

**مسألهٔ دوم (۱۲ نمره)**

دو جسم A و B مطابق شکل (۲) در کنار یکدیگر از یک نقطه با سرعت اولیهٔ $V_0$ به طرف درّه ای راه می افتند. پس از طی مسافتی، جسم A همان مسیر افقی را از طریق پل ادامه می دهد و از روی درّه عبور می کند. تمام طول هردو مسیر بدون اصطکاک است. ولی جسم B مسیردرّه را می پیماید. فرض می کنیم که درّه هموار است و جسم B هیچگاه از مسیر جدا نمی شود. همچنین فرض می کنیم که هیچکدام از دو مسیر به چپ و راست نمی پیچد.




شکل (۲)

الف) به طور کیفی نمودار مؤلفهٔ افقی نیروی سطح وارد بر دو جسم A و B را برحسب زمان رسم کنید.

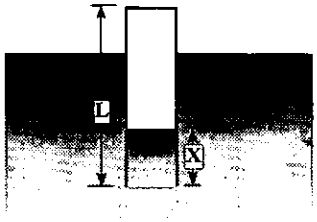
ب) به طور کیفی نمودار مؤلفهٔ افقی سرعت برحسب زمان را برای دو جسم A و B رسم کنید.

ج) به طور کیفی نمودار افقی فاصلهٔ جسم از نقطهٔ شروع حرکت بر حسب زمان را برای دو جسم A و B رسم کنید.

د) با استفاده از نتایج بالا شرح دهید که کدامیک از دو جسم A و B زودتر به نقطهٔ پایانی می رسند.

**مسألهٔ سوم ( مخصوص دانش آموزان نظام فعلی ) ( ۱۲ نمره )**

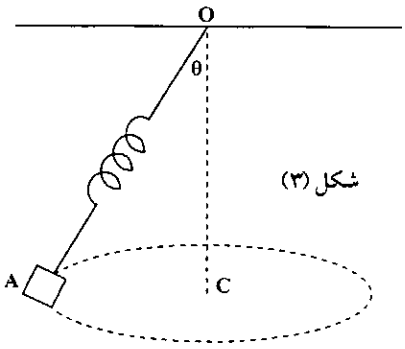
یک لولهٔ آزمایش استوانه ای شکل به طول L، سطح مقطع A و جرم M را به آرامی از سر باز آن در داخل ظرفی محتوی مایعی به چگالی ρ قرار می دهیم. لولهٔ آزمایش مطابق شکل (۳) به حالت قائم می ماند. درصورتی که فشار هوا در سطح آزاد آب $P_0$ باشد، آب در لولهٔ آزمایش چه مقدار بالا می آید (X = ?) . از ضخامت جدارهٔ لوله صرف نظر کنید. هوا را گاز ایده آل فرض کنید.



شکل (۳)

**مسألهٔ سوم ( مخصوص دانش آموزان نظام جدید ) ( ۱۰ نمره )**

جسمی به جرم m = ۲kg را مطابق شکل (۳) به انتهاء فنری با طول عادی $L_0 = ۰/۳m$ و ثابت K = ۲۵۰N/m بسته و سر دیگر فنر را به نقطه ثابت O بسته ایم. جسم را روی یک دایره افقی به گردش درمی آوریم و درنتیجه فنر سطح یک مخروط را جاروب می کند. اگر زاویهٔ فنر با خط قائم θ = ۳۷° باشد، دورهٔ گردش جسم را به دست آورید. ( sin ۳۷° = ۰/۶ )



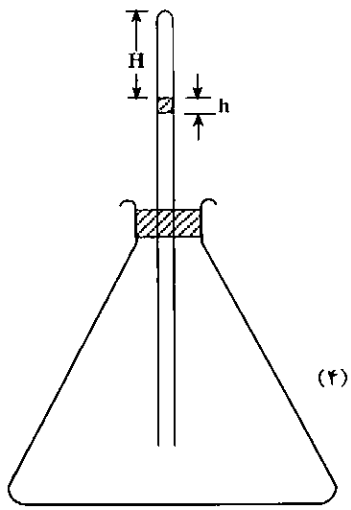
شکل (۳)

**مسألهٔ چهارم (۱۰ نمره)**

دانش آموزان المپیاد فیزیک در سال ۷۴ـ۷۳، دماسنج گازی زیر را در آزمایشگاه المپیاد ساخته اند. ساختمان این دماسنج به شرح زیر است:

یک لولهٔ شیشه ای خیلی نازک مطابق شکل (۴) به کمک یک چوب پنبه به یک ظرف بزرگ پر از هوا وصل شده است. دیواره های ظرف از هدایت گرمایی خوبی برخوردار است. انتهاء لولهٔ شیشه ای بسته شده است. داخل لولهٔ شیشه ای، ستونی از جیوه به ارتفاع h قرار دارد. هنگامی که دمای هوای داخل ظرف $T_0$ است، ارتفاع ستون هوای محبوس در انتهاء لولهٔ نازک برابر H است. دمای هوای داخل ظرف به اندازهٔ ΔT تغییر می کند. این تغییر دما را برحسب تغییر ارتفاع ستون هوای محبوس یعنی ΔH ، فشار اولیهٔ هوای داخل ظرف، دمای اولیه و فشار ناشی از ارتفاع ستون جیوه را محاسبه کنید.

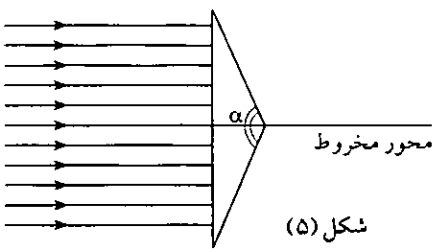
تغییر حجم هوای داخل ظرف نسبت به حجم آن کوچک است و انتقال گرما از ظرف به هوای حبس شده در قسمت بالای لوله ناچیز است.



شکل (۴)

**مسألهٔ پنجم ( ۸ نمره )**

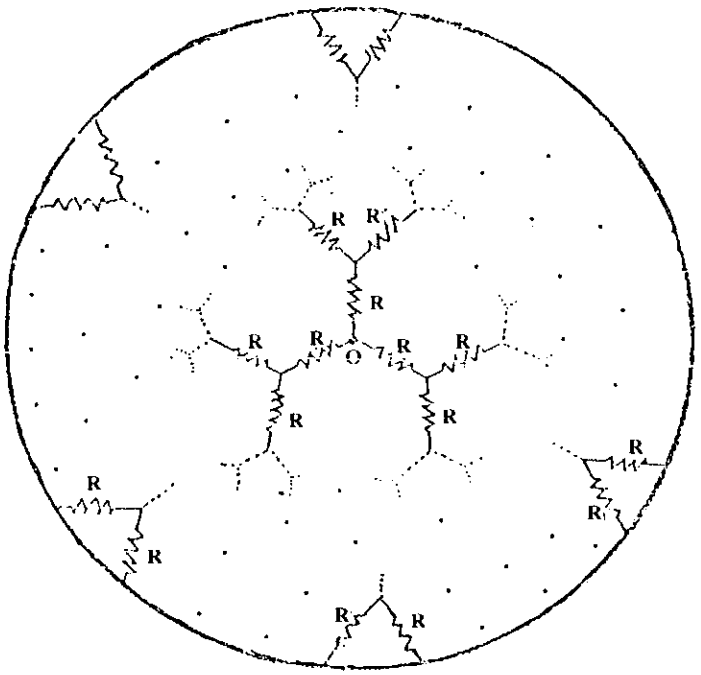
مخروط شفافی با زاویه رأس خیلی بزرگ مطابق شکل (۵) را در نظر بگیرید. برای این مخروط ضریب شکست برحسب فاصله از محور مخروط تغییر می کند. وقتی یک دسته نور موازی با محور یک مخروط شفاف، به قاعده آن می تابد، مشاهده می شود که همه نورها پس از خروج از مخروط در یک نقطه روی محور مخروط، کانونی می شوند.



شکل (۵)

اگر فاصلهٔ نقطه کانونی از قاعده مخروط برابر f باشد، ضریب شکست را به صورت تابعی از فاصلهٔ نقاط از محور مخروط

به دست آورید. زاویه رأس مخروط ($\alpha$) نزدیک به ۱۸۰ درجه است.



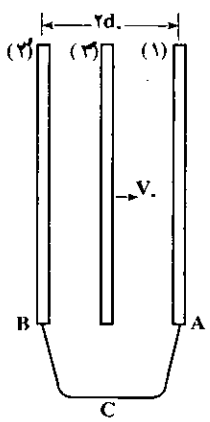

شکل (۶)

**مسألهٔ ششم (۸ نمره)**

به نقطه O از مرکز یک کره فلزی بزرگ مطابق شکل (۶) سه مقاومت مشابه R متصل شده اند. به انتهاء هریک از این سه مقاومت، دو مقاومت R متصل کرده و به انتهاء هریک از آنها، دو مقاومت دیگر R بسته و این عمل را تا سطح کره ادامه می دهیم. اگر تعداد مقاومتها از مرکز تا سطح کره روی هر شاخه بسیار زیاد باشد، مقاومت معادل بین مرکز و سطح کره را حساب کنید.

**مسألهٔ هفتم (۱۲ نمره)**

سه صفحه رسانای کاملاً یکسان ۱ و ۲ و ۳ هرکدام به مساحت A به موازات یکدیگر هستند. در زمان $t = 0$ صفحهٔ ۲ درست در وسط دو صفحهٔ ۱ و ۳ است. فاصلهٔ دو صفحه ۱ و ۳ برابر $2d$ و همواره ثابت باقی می ماند. این دو صفحه مطابق شکل (۷)، توسط سیم ACB به یکدیگر متصل هستند.




شکل (۷)

دو صفحه ۱ و ۳ را به یک باتری به نیروی محرکهٔ E متصل کرده و سپس از باتری قطع می کنیم. اگر صفحهٔ ۲ با سرعت ثابت و آهسته $V_0$ به سمت راست حرکت کند، شدت جریانی که از سیم ACB در حین حرکت صفحهٔ ۲ می گذرد را محاسبه کنید.

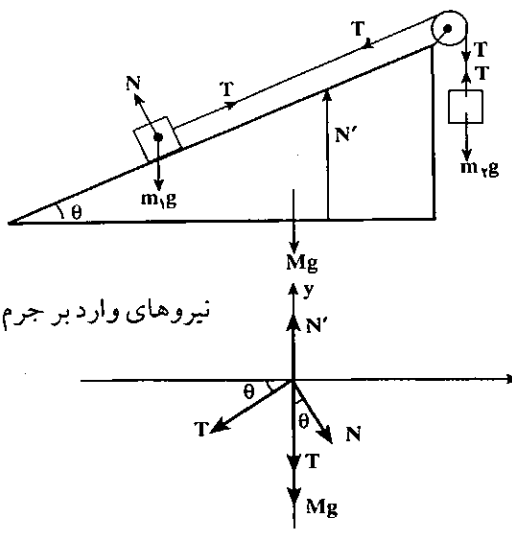
# پاسخ سؤالها و مسأله های تشریحی

## پاسخ سؤالها

۱ـ الف
۲ـ الف
۳ـ د
۴ـ د
۵ـ ج
۶ـ ب
۷ـ ب و ج
۸ـ ب و ج
۹ـ ب و ج
۱۰ـ ج و د
۱۱ـ ب و ج
۱۲ـ ب و د
۱۳ـ الف
۱۴ـ درست
۱۵ـ نادرست
۱۶ـ نادرست
۱۷ـ نادرست
۱۸ـ نادرست
۱۹ـ نادرست
۲۰ـ تقریباً درست است.
۲۱ـ نادرست است
۲۲ـ ۲۰۰N
۲۳ـ صفر
۲۴ـ ۲۵N
۲۵ـ ۲۵N
۲۶ـ ۳۲m
۲۷ـ ۷۷
۲۸ـ ۱۶۸
۲۹ـ ۴۰cm
۳۰ـ ۴
۳۱ـ ۲
۳۲ـ ۴/۸
۳۳ـ ۰/۲
۳۴ـ ۶ ولت

## حل مسأله های تشریحی

مسألهٔ اول




$$\begin{cases} m_1 g\sin\theta - T = m_1 a \\ T - m_2 g = m_2 a \end{cases} \qquad \begin{matrix} N - m_1 g\cos\theta = 0 \\ N = m_1 g\cos\theta \end{matrix}$$

$$T = \frac{m_1 m_2 g(\sin\theta + 1)}{m_1 + m_2}$$

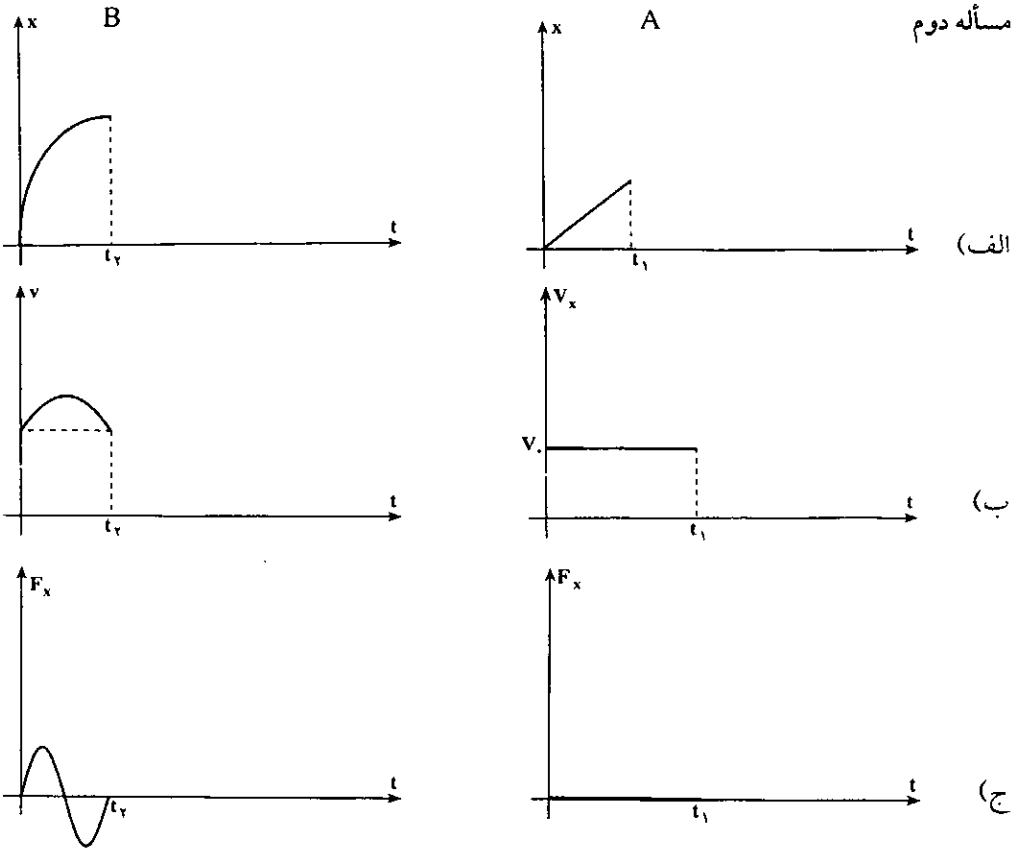
نیروهای وارد بر جرم M ـ واکنش $N'$ به نیروسنج وارد می شود

$$N' - T - T\sin\theta - N\cos\theta - Mg = 0$$

$$N' = Mg + N\cos\theta + T(1 + \sin\theta)$$

$$N' = Mg + m_1 g\cos^2\theta + \frac{m_1 m_2 (1+\sin\theta)^2}{m_1 + m_2}$$

مسأله دوم




د) جسم B زودتر می رسد (مطابق شکلهای بالا) یک نیروی افقی $F_x$ به جسم B وارد می شود به طوری که سرعت B در جهت x زیاد می شود و هنگام بالا آمدن از دره، باز سرعتش در هر لحظه بیشتر از سرعت جسم B است. چون سرعت آن در نهایت به همان مقدار $v_0$ (در جهت x) می رسد.

مسألهٔ سوم نظام فعلی

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

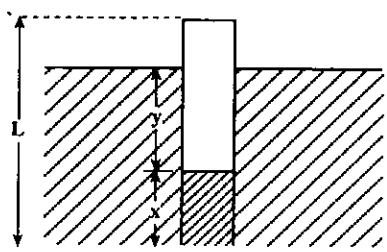
$$P_0LA = P(L-x)A \quad (1) \rightarrow x = L(1-\frac{P_0}{P})$$

$$P = \rho gy + P_0 \quad (2)$$

$$M = \rho Ay \rightarrow y = \frac{M}{\rho A}$$

$$(2) \rightarrow P = \rho g\frac{M}{\rho A} + P_0 \rightarrow P = \frac{Mg}{A} + P_0$$

$$x = L(1-\frac{P_0}{P}) \rightarrow x = L(1-\frac{P_0A}{Mg+AP_0}) \rightarrow x = L(\frac{Mg}{Mg+AP_0})$$



مسألهٔ سوم نظام جدید

$F = K\Delta l$

$F\sin\theta = mr\omega^2 = mL\sin\theta\omega^2 \rightarrow F = mL\omega^2$

$F\cos\theta - mg = 0$

$0/8F - 2\times10 = 0 \rightarrow F = 25N$

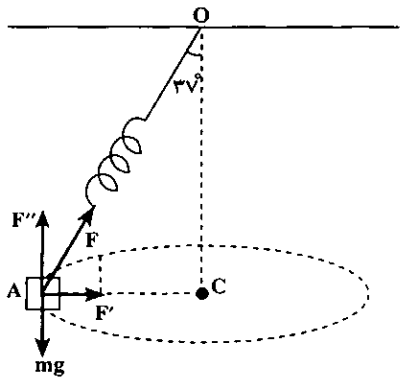
$\Delta L = \frac{F}{K} = \frac{25}{250} = 0/1m$

$L = L_0 + \Delta L = 0/4m$

$\omega^2 = \frac{F}{mL} = \frac{25}{2\times0/4} = 31/25$

$\omega = 5/6\ rad/s$

$T = \frac{2\pi}{\omega} = 1/12s$




مسألهٔ چهارم

$\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{PV}{T_0+\Delta T}$ ، $V_0 \simeq V \rightarrow \frac{P_0}{T_0} = \frac{P}{T_0+\Delta T}$ ① ← برای گاز داخل بالن

$P'_0H_0 = P'(H_0+\Delta H)$ ② برای گاز محبوس در بالای لولهٔ نازک

$P_0 = P'_0 + \rho gh$
$P = P' + \rho gh$
$\Rightarrow \Delta P = \Delta P'$

$$\left.\begin{array}{l} ① \rightarrow \Delta P = P_0(1+\frac{\Delta T}{T_0}) - P_0 = \frac{P'_0\Delta T}{T_0} \\ ② \rightarrow \Delta P' = \frac{P'_0H_0}{H_0+\Delta H} - P'_0 = \frac{-P'_0\Delta H}{H_0+\Delta H} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$\frac{P_0\Delta T}{T_0} = \frac{-P'_0\Delta H}{H_0+\Delta H}$

$P_0H_0\Delta T + P_0\Delta T\Delta H = -P'_0T_0\Delta H$

$\Delta H(P_0\Delta T + P'_0T_0) = -P_0H_0\Delta T$

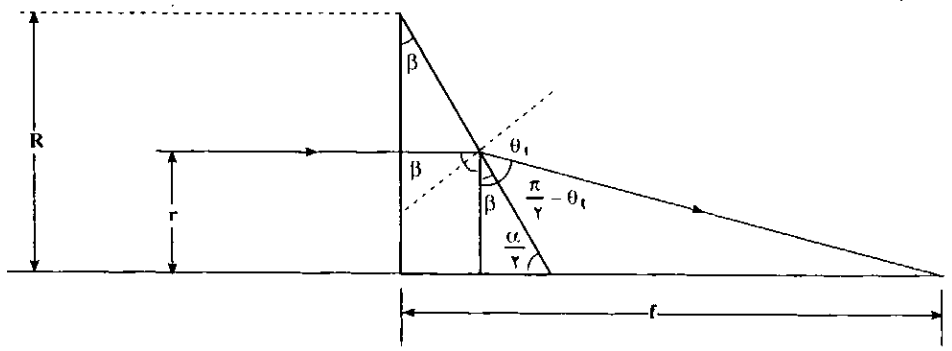
$\Delta H = \frac{-P_0H_0\Delta T}{P_0\Delta T + P'_0T_0} = \frac{-P_0H_0\Delta T}{P_0\Delta T + P_0T_0 - \rho ghT_0}$

با فرض کوچک بودن $\Delta T$ خواهیم داشت

$\Delta H = \frac{-P_0H_0\Delta T}{(P_0-\rho gh)T_0}$

$\rightarrow \Delta T = \frac{\Delta H(-P_0+\rho gH)T_0}{H_0P_0}$

مسألهٔ پنجم




$$f=(R-r)tg\beta+r\,tg(\frac{\pi}{2}-\theta_t+\beta)$$

$$f=(R-r)tg\beta+r\,cotg(\theta_t-\beta)$$

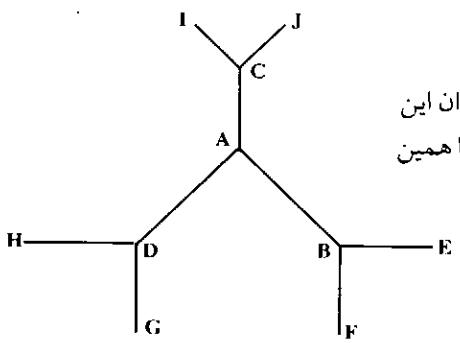
$$\sin\theta_t=n\sin\beta\rightarrow\theta_t=n\beta\rightarrow tg\beta=\beta$$

$$f\cong(R-r)\beta+r\,cotg(n\beta-\beta)=(R-r)\beta+r\,cotg[(n-1)\beta]$$

$$f=(R-r)\beta+\frac{r}{(n-1)\beta}\rightarrow f-(R-r)\beta=\frac{r}{(n-1)\beta}$$

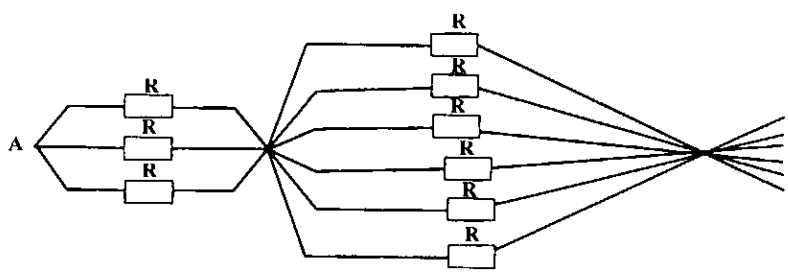
$$n-1=\frac{r}{\beta[f-(R-r)\beta]}\Rightarrow n=\frac{r}{\beta[f-(R-r)\beta]}+1$$

$$n=\frac{r}{\beta f}+1$$

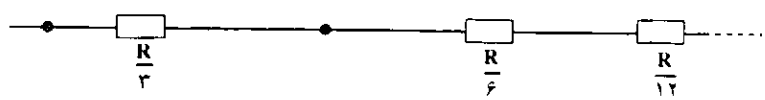



مسألهٔ ششم

به علت تقارن دستگاه، نقاط B و C وD هم پتانسیل هستند. پس می توان این سه نقطه را به هم وصل کرد. مقاومتهای AB و AC و AD موازی هستند. با همین استدلال نقاط E و F و G و H و I و J نیز هم پتانسیل هستند. خواهیم داشت



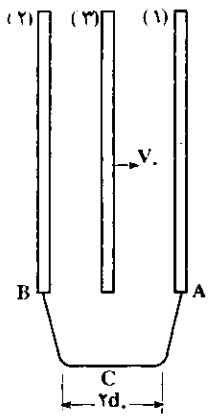

$$R'=\frac{R}{3}+\frac{R}{6}+\frac{R}{12}+\ldots$$



$$R' = \frac{R}{3}(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \ldots) = \frac{R}{3} \times \frac{1}{1 - \frac{1}{2}}$$

$$R' = \frac{2R}{3}$$

**مسألهٔ هفتم**




شکل مسأله بصورت زیر درست است.

در ابتدا بار Q روی دو خازن $C_1$ و $C_2$ که به طور موازی وصل هستند تقسیم می شود (صفحهٔ ۳ صفحهٔ مشترک دو خازن است)

$$Q = E(C_1 + C_2)$$

$$Q = E(2\varepsilon_0 \frac{A}{d_0})$$

وقتی صفحه ۳ با سرعت $v_0$ به راست حرکت کند داریم:

$$q_1 + q_2 = Q \quad \text{و} \quad \frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2}$$

$q_1$ بار خازن (۱ و ۳) و $q_2$ بار خازن (۲ و ۳) و $C_1$ و $C_2$ ظرفیت این خازنها هستند.

در زمان t داریم:

$$C_2 = \varepsilon_0 \frac{A}{d_0 + v_0 t} \quad , \quad C_1 = \varepsilon_0 \frac{A}{d_0 - v_0 t}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{d_0 + v_0 t}{d_0 - v_0 t} \begin{cases} q_1 = Q \ \frac{d_0 + v_0 t}{2d_0} \\ q_2 = Q \ \frac{d_0 - v_0 t}{2d_0} \end{cases}$$

$$I = -\frac{dq_2}{dt} = \frac{dq_1}{dt} = \frac{Qv_0}{2d_0} = \frac{(2\varepsilon_0 E A/d_0)v_0}{2d_0}$$

$$I = \frac{\varepsilon_0 A E v_0}{d_0^2}$$

**دانایی توانایی است بلکه دانایی خوشبختی است. چرا که دانایی ـ دانایی گسترده و ژرف ـ تشخیص هدفهای راست از ناراست و مفهومهای والا از پَست است.**

**دانستن افکار و رفتارهایی که پیشرفت انسان را مشخص کرده اند همان احساس ضربانهای انسانیت در طول سده هاست؛ اگر در این تپشها شخص نتواند اشتیاقی آسمانی را حس کند، او به راستی باید نسبت به آهنگهای موزون زندگی ناشنوا باشد.**

هلن کلر (Helen Keller)

## کسوف
## (دوم آبان ۱۳۷۴)

بامداد سه‌شنبه دوم آبان هفتاد و چهار در بخشی از ایران پدیدهٔ خورشیدگرفتگی روی داد.. در یک نوار که از حدود ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی دریاچهٔ نمک شروع شده به محدودهٔ شمالی بیرجند ادامه می‌یافت. خورشیدگرفتگی کامل بود. این عکس در شهرستان جندق در استان اصفهان گرفته شده است. شایان ذکر است خورشیدگرفتگی بار دیگر در ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ ولی به‌صورت حلقه‌ای در ایران روی خواهد داد.

عکس از محمدرضا طهماسبی‌پور

رشد

آموزش راهنمایی تحصیلی

رشد آموزش زیست شناسی

رشد

آموزش معارف اسلامی

اللهم نور
ظاهری بطاعتک
وباطنی بمحبتک و
قلبی بمعرفتک

رشد

آموزش شیمی

رشد

آموزش فیزیک

رشد آموزش زبان

Roshd

The Foreign Language Teaching Journal

رشد

رشد

ادب فارسی

رشد

آموزش ریاضی

P=MA+MB+MC+MD=4R