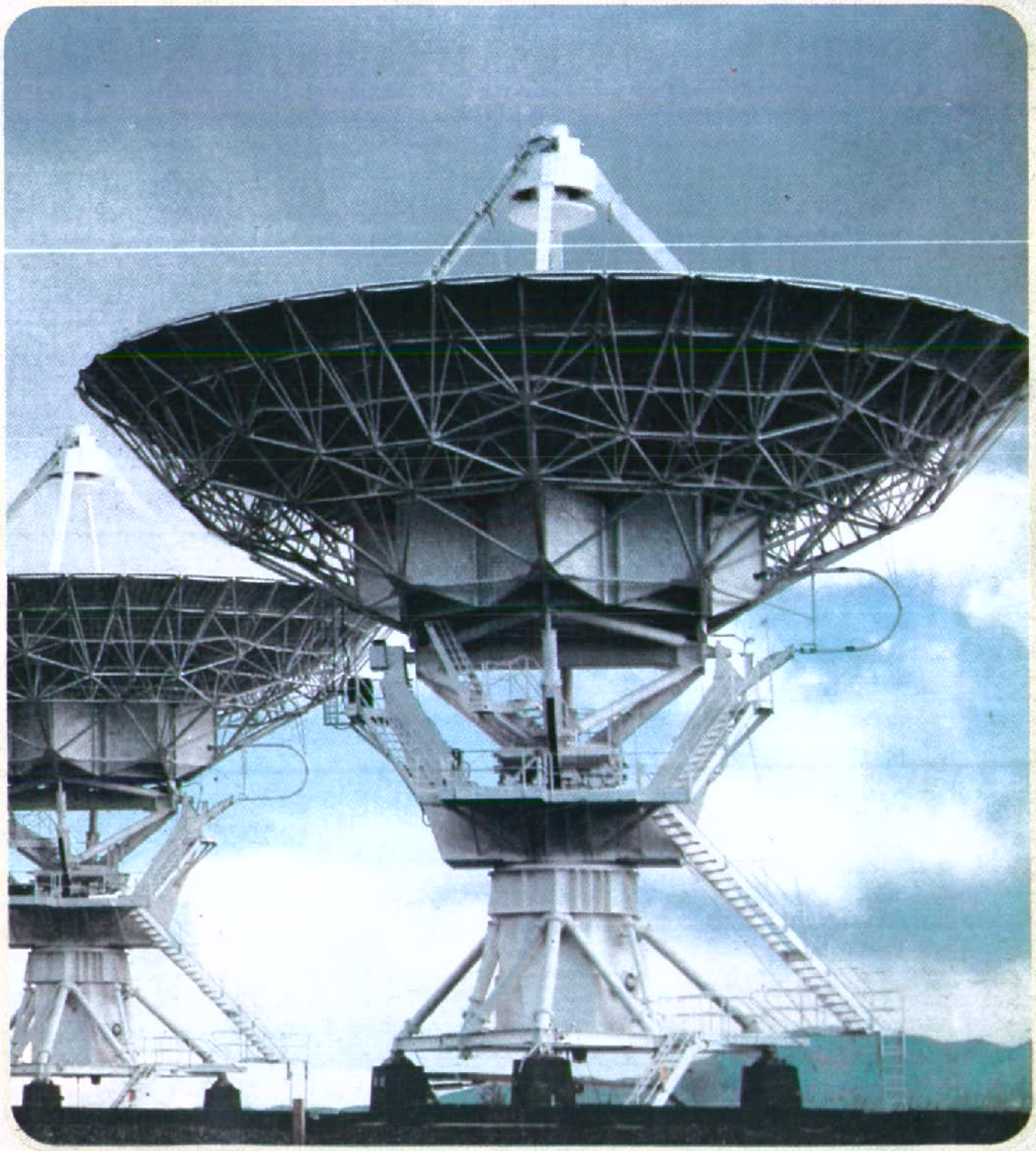
رشد آموزش فیزیک

سال نهم - پاییز ۱۳۷۲ - شماره مسلسل ۳۴

بها ۳۵۰ ریال



وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

رشد آموزش فیزیک

سال نهم ـ تابستان ۱۳۷۲ ـ شماره مسلسل ۳۴

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

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

زیر نظر هیأت تحریریه رشد آموزش فیزیک:

دکتر عزت‌الله ارصی — دکتر منیژه رهبر

دکتر ابوالقاسم قلمسیاه — غلامعلی محمودزاده

سید جعفر مهرداد

مدیر داخلی: محمدعلی سعادت‌بخت

مسؤول هماهنگی و تولید: فتح‌الله فروغی

امور فنی، صفحه آرایی: خالد قهرمانی دهبکری

دستیار ناظر چاپ: محمد کشمیری

پیشگفتار (دومین کنفرانس آموزش فیزیک در کرمان، اردیبهشت ۷۳)	۳
پیام وزیر محترم آموزش‌وپرورش به مناسبت کنفرانس آموزش فیزیک	۵
سرگذشت فیزیک (قسمت هفدهم)	دکتر ابوالقاسم قلمسیاه ۶
بهمانک و انبساط جهان	ترجمهٔ دکتر منیژهٔ رهبر ۱۲
تجارب نوری با استفاده از نارهای نوری	ترجمهٔ محمدرضا اجتهادی ۲۱
آزمایش قانون شتابها در آونگ	ترجمه و تنظیم حسنعلی وحید ۲۶
آنچه معلمان باید در مورد رادن بدانند	ترجمهٔ دکتر منیژهٔ رهبر ۲۹
مجله و خوانندگان ـ خبر علمی	۳۶
مسائل دهمین المپیاد بین‌المللی فیزیک سال ۱۹۷۷ چکسلواکی	ترجمهٔ دکتر منیژهٔ رهبر ۴۰
سیستمهای ساده با جرم متغیر: قانون دوم نیوتون	ترجمهٔ رضا حسین‌نژاد ۲۶
سؤالات امتحانات نهائی شهریور و دی ۱۳۷۱	۴۸
حادثهٔ رآکتور اتمی در چرنوبیل شوروی از نگاهی دیگر (قسمت اول)	ترجمهٔ دکتر مجتبی جعفرپور ۶۰
فرم اشتراک مجلات رشد	۶۶

توضیح روی جلد: طیف الکترومغناطیسی شامل طول موجهایی به کوتاهی 10^{-14} متر و به بلندی 10^{7} متر است. با استفاده از آنتنهای بزرگ رادیویی می‌توان آن انواع رادیویی را که در فضا پیدا شده‌اند آشکارسازی کرد. تکنولوژی مربوط به استفاده از امواج الکترومغناطیسی به ما امکان داده است که مطالب بیشتری درباره جهان خود بدانیم.

پیشگفتار

دومین کنفرانس آموزش فیزیک ایران

دومین کنفرانس سراسری آموزش فیزیک ایران در آموزشکده فنی و مهندسی شهید چمران کرمان از ۸ تا ۱۰ اردیبهشت ماه ۱۳۷۲ با حضور ۵۰۰ نفر از دبیران سراسر کشور برگزار شد. برگزار کنندگان این کنفرانس عبارت بودند از: انجمن فیزیک ایران، وزارت آموزش و پرورش، اداره کل آموزش و پرورش استان کرمان، آموزشکده فنی و مهندسی شهید چمران کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

* در این کنفرانس سخنرانیهای عمومی دارای عنوانهای زیر بود:

انرژی خورشیدی- لیزر در پزشکی- پیدایش و تحول ستارگان- استفاده بهینه از منابع سوخت هسته‌ای- حالت جامد- کاربردهای تکنولوژیکی لیزر در صنعت- ویژگیهای الکتریکی و نوری طیفی در لوله‌های تخلیه افروخته- توجیه برخی پدیده‌های فیزیک از نظر معلمان و محصلان.

عنوانهای مربوط به سخنرانیهای اختصاصی عبارت بود از: به کارگیری بیومکانیک ورزشی در تفهیم فیزیک و مکانیک در دبیرستان، تدریس علوم در مدارس- مفهوم تعدیل زمان در کتابهای درسی و...

سخنرانیهای عمومی و اختصاصی به طور نسبی رضایت خاطر شرکت کنندگان کنفرانس را فراهم آورد. قابل تذکر است که:

۱- با توجه به پر حجم بودن موضوع و کوتاه بودن زمان، بعضی از سخنرانها در ارائه مطلب موفق نبودند.

۲- بیان مقدمه مفصل در چند سخنرانی، نزدیک به نیمی از وقت را اشغال کرد.

۳- در معدودی از سخنرانیها، ذکر لغات و اصطلاحات خارجی بیش از اندازه نه ضرورت داشت و نه مناسب بود.

٤- در ضمن سخنرانیها اسلایدهایی که نشان داده شد قابل استفاده نبود. بهتر است نوشته‌های آنها فارسی و اندازه‌ها

متناسب و خوانا باشد.
* در برنامه‌های جنبی کنفرانس آموزش فیزیک ۱۳۷۲ـ کرمان همزمان بودن کار «فیزیک سرا» با سخنرانیها، گاهی مانع استفاده عموم شرکت کنندگان بود.
* عنوانهای پوسترهای علمی و نمایش دستگاهها و پدیده‌های فیزیک این کنفرانس عبارت بود از: علم فیزیک در هنر نمایش طرح عمودی، زمان سنجی، طراحی و ساخت خشک‌کن خورشیدی برای مواد دانه‌ای با استفاده از تکنیک بستر سیال ارتعاشی، نمایش پدیده‌های فیزیکی دوره راهنمایی، شبیه سازی پراکندگی نور خورشید در آسمان.
* از برنامه‌های جنبی دیگر کنفرانس که مورد توجه شرکت کنندگان قرار گرفت عبارت بود از: نمایشگاه کتاب انتشارات انجمن فیزیک.
* در این کنفرانس برای توضیح درباره کتابهای فیزیک نظام جدید نیز جلسه‌ای دائر گردید و به پرسشهای دبیران جواب داده شد. مدت زمان این جلسه برای استفاده بیشتر دبیران کافی نبود.

* * *

با توجه به نظرات شرکت کنندگان و دبیران علاقمند در این کنفرانس مطالب زیر قابل ذکر و توجه است.
۱ـ دبیران شرکت کننده عموماً تقاضا داشتند که معیارهای مشخصی برای دبیر ممتاز معین گردد و از طرف برگزار کنندگان گردهم آییهای آموزشی، انگیزه‌های مناسبی برای شرکت جدی دبیران فراهم آید و انتخاب دبیر ممتاز موکول به اظهار علاقه شخص او برای پذیرش این عنوان نگردد.
۲ـ انتظار می‌رود برای دبیران شرکت کننده در این گونه کنفرانسها حکم مأموریت صادر شود و آموزش و پرورش مبدا، ترتیب مسافرت و پرداخت هزینه سفر در برابر اخذ گزارش کار از شرکت کننده، کمکهای لازم مبذول دارد.
۳ـ در کنفرانس کرمان سالن غذاخوری و سرویس غذا خوب بود، اما سالنهای پر جمعیت خوابگاه عموماً از لحاظ گرما و سرما و تهویه و نور نامناسب بود.
۴ـ تعطیل موقت یک محل با فعالیت رسمی برای تشکیل کنفرانس در آن محل، خالی از اشکال نیست و سردرگمی مراجعان و شرکت کنندگان را در پی دارد.
(برگزاری این کنفرانس موجب تعطیل فعالیت آموزشی آموزشکده فنی شهید چمران گردید).
۵ـ دبیران علاقمندند که متن سخنرانیها چاپ و در اختیار آنان قرار گیرد.
۶ـ دبیرستانهای کشور عموماً فاقد پوسترهای علمی است. مسئولان امور آموزشی می‌توانند با حداقل هزینه این نیاز اولیه آموزشی را برطرف سازند.
۷ـ در کنفرانس‌های بعدی لازم است که بیش از پیش سخنرانیها و برنامه‌ها مطابق زمان اعلام شده انجام گیرد.
۸ـ برای کنفرانسهای آینده مباحثی مانند عنوان‌های زیر پیشنهاد شد. بررسی کتابهای درسی نظام جدید متوسطه- سخنرانی در سطوح بالاتر و مربوط به‌محتوای کتابهای درسی- تازه‌های فیزیک برای تکمیل اطلاعات دبیران- روشهای تدریس، کارهای علمی و آزمایشگاهی.
۹ـ کوشش لازم به عمل آید که محتوای سخنرانیها با عنوانهای آنها مطابقت کافی داشته باشد.

* * *

این کنفرانس آموزشی با خاطراتی شیرین از دیدار همکاران در حالی پایان یافت که از طرف میزبان کنفرانس به هر یک از شرکت کنندگان ره‌آوردی از پسته کرمان هدیه سفر داده شد. به عنوان تشکر بجاست همصدای با شاه نعمت‌الله ولی (متوفای ۸۳۴ هـ.ق) بگوییم:

در روی زمین نیست چو کرمان جایی

کرمان دل عالم است و ما اهل دلیم

پیام وزیر محترم آموزش و پرورش،

آقای دکتر نجفی

به مناسبت کنفرانس آموزش فیزیک درکرمان، اردیبهشت ۷۲

برگزاری دومین کنفرانس آموزش فیزیک که با حضور جمع کثیری از استادان و دبیران فیزیک کشور تشکیل شده است، فرصت بسیار ارزشمندی را برای بحث و بررسی پیرامون آموزش یکی از علوم پایه فراهم می‌آورد و یقیناً به اعتلاء علم فیزیک در جامعه کمک خواهد کرد.

اهمیت علوم پایه و از جمله فیزیک و نقش آن در دستیابی به تکنولوژی بر کسی پوشیده نیست و مسلماً تا علوم پایه و محققان آنها در مؤسسات علمی و جامعه از جایگاه مناسب و رفیع برخوردار نباشند، نمی‌توان به آفرینش تکنولوژی ملی امید بست. بنابراین باید همهٔ برنامه‌ریزان و دست‌اندرکاران تعلیم و تربیت کشور در همه سطوح تدابیری بیندیشند تا ضمن آگاه ساختن جامعه نسبت به اهمیت موضوع، زمینهٔ جلب بهترین استعدادها برای تحصیل و تحقیق در علوم پایه فراهم آید.

یکی از لوازم موفقیت در این امر آموزش درست و عمیق علوم پایه در دوره دبیرستان است. اگر کام دانش‌آموز با حلاوت فیزیک و سایر علوم پایه شیرین شود، به طرف این دانش جذب خواهد شد، همچنانکه آموزش نامناسب درس فیزیک منجر به گریز نوجوانان از این علم خواهد شد. باین ترتیب ملاحظه می‌شود که عامل اصلی جذب افراد مستعد به فیزیک و سایر علوم پایه دبیران این دروس هستند که با دانش و مهارت خود می‌توانند رونقی در علم فیزیک ایجاد نمایند.

برای دستیابی به هدف یاد شده آموزش فیزیک دارای اهمیت فراوانی است. معلمان برای کسب توفیق باید علاوه بر تسلط بر علم فیزیک در حد لازم، اصول تعلیم و تربیت را نیز در تدریس خود مورد توجه قرار دهند. دانسته‌های فیزیک بسیاری از معلمان یکسان است ولی آنچه بعضی از معلمان را از دیگران متمایز می‌کند تسلط بر جنبه‌های مختلف تعلیم و تربیت و روشهای مناسب تدریس است که به تجربه و با مطالعه و تحقیق بدست آورده‌اند. اگر چه هر معلم می‌تواند از تجربیات معلمان دیگر سود برده و روشهای تدریس خود را اصلاح نماید ولی آنچه وی را در رسیدن به تدریس صحیح فیزیک و ایجاد انس و علاقه در دانش‌آموزان نسبت به فیزیک کمک می‌کند، تحقیقات آموزشی است. این تحقیقات می‌تواند معلمان را برای دست یافتن به بهترین شیوه آموزش مطالب و مفاهیم مختلف کمک نماید. انتظار می‌رود کنفرانس آموزش فیزیک در آشنائی بیشتر دبیران محترم فیزیک با شیوه‌های جدید و وسائل مناسب آموزش این علم راهگشا و مؤثر باشد.

در پایان ضمن آرزوی توفیق برای شرکت‌کنندگان در کنفرانس، از اداره کل آموزش و پرورش کرمان و انجمن فیزیک ایران که برای برگزاری آن تلاش و جدیت فراوان نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

سرگذشت فیزیک

نوشتهٔ دکتر ابوالقاسم قلمسیاه

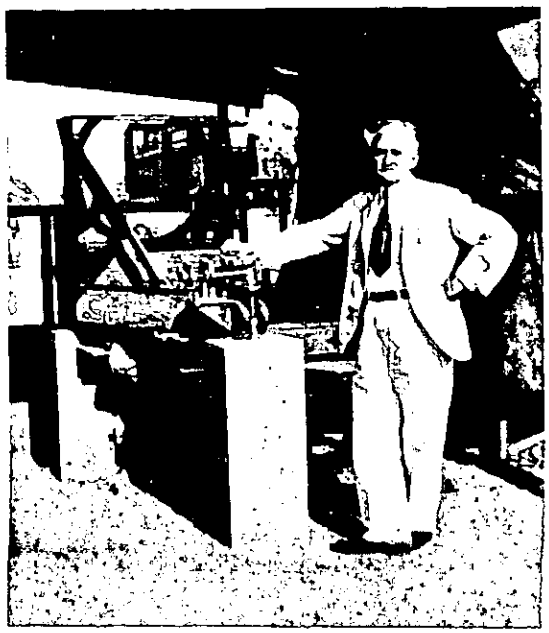
قسمت هفدهم

(دنباله) پایان قرن نوزدهم میلادی
از ۱۸۸۰ تا ۱۹۰۰ میلادی

قوانین تابش- در ۱۸۵۹ میلادی (۱۲۳۸ ه.ش) کیرشهف «جسم سیاه» را (یعنی جسمی که تابشهای دریافتی را کلاً جذب می‌کند) متصوّر شد. حدود ۱۸۸۰ م. این مسأله توجّه فیزیکدانان را بخود جلب کرد. آنان قانون نشر و جذب انرژی تابشی را، که کیرشهف واضع آن بود، مورد مطالعه قرار دادند. بموجب این قانون، اجسامی که می‌توانند از خود امواجی با طول موجهای معین تابش کنند جذب کننده خوبی برای همان طول موجها نیز هستند. بنابراین «جسم سیاه» که جذب‌کننده کاملی است تابش‌کننده کاملی نیز خواهد بود.

یوزف اشتفان[1] فیزیکدان اتریشی (۱۸۳۵-۱۸۹۳ م.) با بررسی آزمایشهای دولُن و پتی و پژوهشگران دیگر نشان داد: انرژی تابشی که از یک جسم گسیل می‌شود متناسب با توان چهارم دمای مطلق آنست. اشتفان به کمک این رابطه و براساس مشاهدات و یول[2] و پوّیه[3]، دمای سطح خورشید را حدود ۶۰۰۰ کلوین بدست آورد. این رابطه در مورد تابش جسم سیاه نخستین بار در ۱۸۸٤ م. (۱۲٦۳ ه.ش.) توسط بولتسمان بطور نظری استنتاج شد (قانون تابش اشتفان- بولتسمان). ویلهلم وین[4]، فیزیکدان آلمانی (۱۸٦٤-۱۹۲۸ م.) معیّن کرد که چگونه می‌توان از توزیع طیفی وابسته به یک دمای معیّن، توزیع طیفی مربوط به دمای دیگر را نتیجه گرفت. ولی این دانشمندان نتوانستند از این مرحله فراتر بروند، زیرا، توضیح بیشتر و رساتر این

توزیع طیفی بوسیله اصول و قوانین ترمودینامیک، که آنان پایبند آن بودند، میسّر نبود.
آنگاه نظرها متوجّه قلمرو جدیدی شد، یعنی تکیه کردن بر فرضیه‌های جدید اتمی و الکترونی. جان ویلیام استرات[5]، ملقّب به بارون ریلی سوم، دانشمند انگلیسی (۱۸۴۲-۱۹۱۹ م.) که یکی از بزرگترین افتخارات دانش بریتانیا در نیمه دوم قرن نوزدهم و دو دهه اول قرن بیستم میلادی است، در مطالعاتش و در ارتباط با دانشمندان همعصر، همگام با فعالیّتهای مهم در زمینه فیزیک پیش می‌رفت. او بخوبی به مشکلاتی که فیزیک کلاسیک (ترمودینامیک، مکانیک آماری، و نظریه برقمغناطیسی) در روندهای توزیع طیفهای تابشی با آنها مواجه بود وقوف داشت. و او با تکیه کردن بر فرضیه‌های اتمی و الکترونی قانونی را استنتاج کرد که بعدها بنام قانون تابش ریلی-جینز نامیده شد و در ۱۹۰۰ میلادی (۱۲۷۹ ه.ش)، چند ماه قبل از انتشار مقاله مشهور پلانک دربارهٔ قانون توزیع، منتشر شد. قانون تابش ریلی- جینز، اصل آماری «تقسیم مساوی انرژی میان مشدّدها» است که نگرش کلّی وی را بخوبی منعکس می‌سازد. این قانون در مورد طول موجهای بلند بخوبی صدق می‌کرد ولی متأسّفانه درباره طول موجهای کوتاه بکلّی غلط از کار درمی‌آمد.
شاید ریلی آرزو داشت که اصل پیش گفته را با اتّخاذ تدابیری ماهرانه در مورد طول موجهای کوتاه نیز بتواند بکار ببرد. ولی چنین موفقیّتی بدست نیامد زیرا، اینکار از عهده اصول و قوانین فیزیک کلاسیک که وی پایبند آنها بود برنمی‌آمد و مسلّماً نباید او را بدین پایبندی سرزنش کرد. ریلی به اهمیت این مسأله در ارتباط با ساختار اتمی پی برده بود و در پیدا کردن راه حل تلاش بسیار کرد امّا موفّق نشد. برای خروج از این بن‌بست باید منتظر ظهور کوانتومها در قرن بیستم میلادی بود.
آزمایش مایکلسن- مدتها پیش از زمانی که مورد بحث ما



آلبرت مایکلسن (۱۸۵۲-۱۹۳۱)

است، مقدار عددی سرعت نور را می‌دانستند ولی باقی‌مانده بود که آخرین پیشرفت درباره این موضوع به تحقّق پیوندد: اگر منبع نور و بیننده در حرکت باشند این سرعت قاعدتاً باید تغییر کند! عقل سلیم آنرا قبول می‌کرد و معادلات ماکسول هم آنرا تأیید می‌نمودند. برای تحقیق دربارهٔ این تغییرات دانشمندان بفکر افتادند از حرکت زمین استفاده کنند، بدین طریق که سرعت نور را در چندین جهت اندازه بگیرند. انحرافهای حاصل از این اندازه‌گیری قطعاً حرکت مطلق زمین را تبیین خواهد کرد و حتی امکان خواهد داد آنرا بطور کمی برآورد کنند!
چنین اندازه‌گیری آسان نبود زیرا، سرعت حرکت زمین نسبت به سرعت نور اندک بود. امّا در ۱۸۸۱ م. (۱۲۶۰ ه.ش.) آلبرت آبراهام مایکلسن فیزیکدان امریکائی (متولد در لهستان، ۱۸۵۲-۱۹۳۱) اسباب اندازه‌گیری بسیار دقیقی براساس تداخل‌سنجی تعبیه کرد که قادر بود انحرافهای پیش‌بینی شده توسط نظریه مورد بحث را آشکار سازد. ولی با شگفتی بسیار، نتیجهٔ مورد انتظار منفی بود: سرعت نور در تمام جهات یکی بود. مایکلسن اندازه‌گیری خود را در ۱۸۸۷ م. (۱۲۶۶ ه.ش) به اتفاق ادوارد ویلیامز مورلی[7] از نو

هایزیشن هرتز (۱۸۵۷-۱۸۹٤)

بعمل آورد، باز هم نتیجه همان بود؛ و تمام آزمایشهای بعد هم مؤید آن بودند.

نتیجهٔ این آزمایش بسیار ناراحت کننده بود؛ زیرا قانون ریلی آنرا موجب تناقضی بزرگ میان مجموع نظریه‌های کلاسیک و واقعیت نشان می‌داد. جرج فرانسیس فیتز جرالد[8] فیزیکدان ایرلندی (۱۸۵۱-۱۹۰۱ م.) سعی کرد تناقض را با این فرض که «حرکت جسم سبب انقباض (جمع شدگی) آن در جهت حرکت می‌شود» برطرف سازد؛ و در ۱۹۰۳ میلادی (۱۲۸۲ ه.ش) هندریک آنتون لورنتس[9] فیزیکدان هلندی (۱۸۵۳-۱۹۲۸ م) این فرضیه را بصورت ریاضی بسط داد. بر طبق محاسبات لورنتس، انقباض طول یک جسم متحرک از دید ناظر ساکن نسبت به جسم، با فاکتور $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ برآورد می‌شود که در آن، v سرعت نسبی جسم متحرک و c سرعت نور است. با وجود این، احساس می‌شد راز موفقیت در پرده ابهام است و برای خروج از بن‌بست باید منتظر ظهور نظریه نسبیت در قرن بیستم میلادی بود.

آخرین نقاط استفهام- اکتشافات دیگری در همین دوران حس کنجکاوی دانشمندان را بشدت برانگیخت. در اینجا به چهار کشف اشاره می‌کنیم:

۱- در ۱۸۸٦ م. (۱۲٦۵ ه.ش.) گولدشتاین خاطر نشان ساخت که در لوله کروکز نه تنها الکترونهای کاتودی جریان دارند بلکه پرتوهای دیگری نیز در جهت مخالف آنها می‌روند که اگر در کاتود سوراخهای کوچکی ایجاد شده باشد که آنها را هدایت کنند می‌توانند از آن سوراخها بگذرند. او نتوانست این پرتوها را در میدان مغناطیسی منحرف کند، ولی «وین» در ۱۸۹۸ م. (۱۲۷۷ ه.ش) در اینکار موفق شد و نشان داد که این پرتوها دارای بار مثبت هستند و سرعت آنها را چند صد کیلومتر در ساعت برآورد کرد. امّا کشف ماهیت آنها به قرن بیستم کشیده شد.

۲- در ۱۸۸۷ م. (۱۲٦٦ ه.ش.) هاینریش هرتز[10] فیزیکدان آلمانی (۱۸۵۷-۱۸۹٤) متوجّه شد که جهش جرقّه بین دو گلوله فلزی تحت اختلاف پتانسیل الکتریکی، هنگامی که آنها در معرض تابش نور مخصوصاً پرتوهای فرابنفش قرار می‌گیرند آسانتر صورت می‌گیرد. این پدیده اثر نور- برقی (فوتوالکتریک) است که بعدها با آزمایشهای متعدد تأیید شد: یعنی نور قادر است الکترونها را از ماده خارج سازد. قوانین این پدیده توسط لنارد[11] بطور وضوح چنین بیان شده‌اند: پرتو فرابنفش، حتی اگر ضعیف باشد می‌تواند چند الکترون سریع را خارج سازد، ولی تابشهای مرئی و فروسرخ هر چند هم شدید باشند معمولاً قادر نیستند (۱۸۹۹ م.). در اینجا یک موضوع بسیار بحث‌انگیز پدیدار شد: چرا الکترونها در اثر تابش نور کنده می‌شوند؟ چرا فرابنفش مخصوصاً نقش عمده را دارد؟ در آن زمان علت وقوع این پدیده در پرده ابهام پوشیده ماند. خواهیم دید که به این چراها نظریه کوانتومی پاسخ می‌دهد.

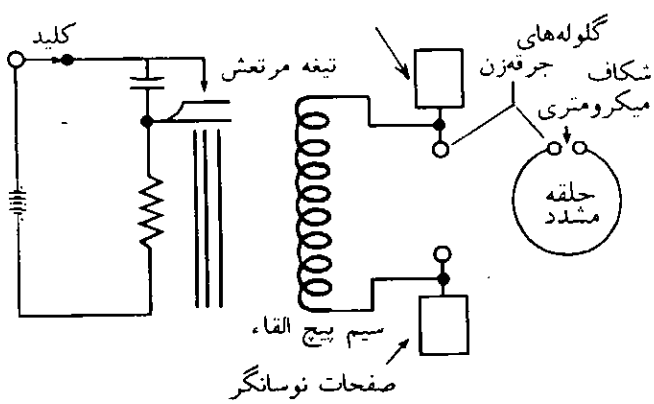
۳- از مدتها قبل می‌دانستند که هر جسم پرتوهای خاص خود را با طول موجهای مشخص گسیل می‌دارد. در ۱۸۸۵ م. (۱۲٦٤ ه.ش.) بالمر[12] فرمول ساده‌ای را عرضه

کرد که چهار بسامد خطوط طیف مرئی حاصل از ئیدروژن را بدست می‌داد؛ بزودی فرمولهای مشابهی توسط دیگران نیز عرضه شد: فرمول لیمان[13] برای رشته خطوط طیفی فرابنفش، فرمولهای پاشن[14] و براکت[15] برای رشته‌های خطوط طیفی فروسرخ. روال همه این فرمولها یکی بود و می‌توانستند در یک رابطه کلّی‌تر جمع شوند. چنین بنظر می‌رسید که همانندی آنها معرّف خاصیتی از ئیدروژن است که هنوز پنهان مانده است. این فرمولها بطور تجربی بدست آمده بودند بدون اینکه برپایه ملاحظات و بررسیهای نظری استوار باشند. سازوکار ایجاد این رشته خطوط طیفی نامعلوم بود. باید منتظر ۱۹۱۳ میلادی (۱۲۹۲ ه.ش) بود تا نظریه اتمی یکی از بزرگترین رازهای طبیعت را فاش سازد.

٤- در ۱۸۸٤ م. (۱۲٦۳ ه.ش) ادیسون مخترع امریکائی که بواسطه اختراعات متعددّش (فونوگراف، چراغ برق و ...) مشهور بود پدیده ترموالکترونی، یا به اصطلاح کنونی ترمویونی، یعنی گسیل الکترون از سیم ملتهب را کشف کرد. این پدیده بعدها اساس لامپ‌های تلگراف بی‌سیم شد. توضیح درباره علت این پدیده موکول به اثبات طبیعت الکترونی برق (الکتریسیته) توسط ریچاردسن[16] در ۱۹۰۱ م. است.

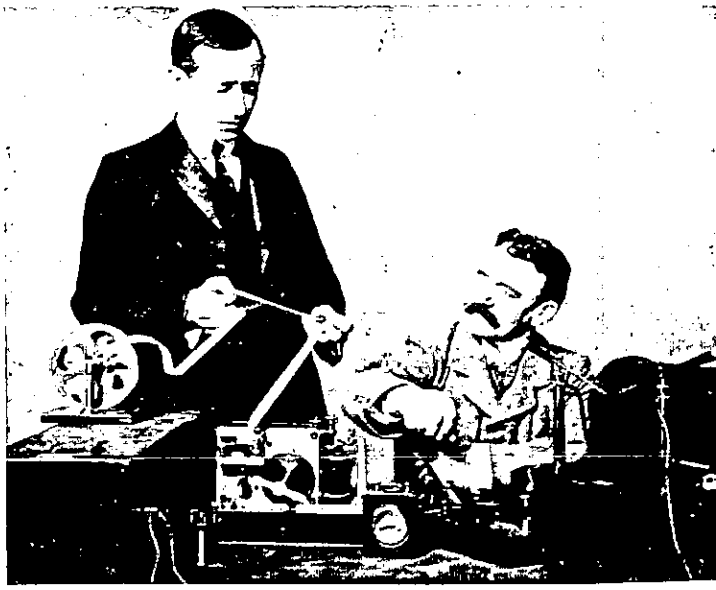
امواج هرتز و تلگراف بی‌سیم- مطالب پیش گفته نشان می‌دهند که فیزیکدانانِ سال ۱۹۰۰ میلادی در بسیاری از موارد چقدر دچار سردرگمی بودند. معذالک نباید تصور شود که در همه قلمروهای فیزیک چنین بوده است. کشف امواج هرتز که اکنون از آن یاد می‌شود، برعکس، به نتیجه‌ای منتهی شد که از نظریه‌های پیش‌گفته انتظار می‌رفت.

بخاطر بیاوریم که ماکسول وجود اختلالهای برقمغناطیسی را امواجی شبیه به نور اعلام کرده بود که تفاوتشان در طول موجشان است. در مدتی بیش از بیست سال تلاش پژوهشگران در تحقق بخشیدن به آنها بی‌نتیجه ماند. سرانجام در ۱۸۸۸ م. (۱۲٦۷ ه.ش)، هرتز دانشمند جوان آلمانی که او هم مانند ماکسول در جوانی در گذشت، بوسیله دستگاه محرّکی که بنام خود او «محرّک هرتز» نامیده شده است یک سلسله تخلیه الکتریکی با بسامد تقریباً یک میلیارد جرقه در ثانیه تولید کرد. اثر پخش اختلالهای ناشی از این جرقه‌ها در فضا، توسط گیرنده حلقه مانندی (به نام مشدّد هرتز) که آنرا در نزدیکی محرّکه جابجا می‌کرد بصورت جرقه‌های ریز در شکاف میکرومتری قابل تنظیم که در آن تعبیه شده بود آشکار می‌شد بدون اینکه حلقه گیرنده بوسیله سیم به دستگاه محرّک متّصل باشد. این پدیده گسیل تابشی را ثابت می‌کرد که خواص فضای اطراف را تغییر می‌داد.از طرف دیگر هرتز با شایستگی که داشت طبیعت موجی این تابش جدید را با انجام آزمایشهای ویژه امواج نور (از جمله بازتابش از روی صفحه بزرگ فلزّی که نقش آینه را داشت، ایجاد تداخل، امواج ایستاده) نشان داد.



نوسان کننده (فرستنده و گیرنده) هرتز در ۱۸۸۷ میلادی

بنابراین ایجاد سلسله تابشهای نامرئی معرف ادامه تابشها در ناحیه فروسرخ با طول موجهای سانتی‌متری بود. و این



گوگلیلمو مارکونی (۱۸۷۴-۱۹۳۷)

کشف و تحقیق درخشان نشان داد که نظریه ماکسول، فرضیهٔ بدون دلیل یا اندیشه ذهنی محض نبوده است. این کشف از لحاظ کاربردهای عملی نیز افقهای تازه‌ای گشود: از جمله اصل ارتباط بدون سیم از راه دور را در برداشت که منجر به اختراع تلگراف بی‌سیم و رادیو شد. برای تحقّق بخشیدن به اینگونه ارتباطها تحقیقات زیادی بعمل آمده است که به اهمّ آنها اشاره می‌شود:

- در ۱۸۷۹ م. ، دیوید ادوارد هیوز[۱۷] برق‌شناس انگلیسی- امریکائی، بهنگام تحقیق درباره مقاومت الکتریکی تماسهای سست بین ذرات کربن در میکروفون فرستنده‌اش پدیده‌ای کشف کرد که طرز کار همدوسنده‌ها (Coherers) به آن بستگی داشت.

- در ۱۸۸٤ م. ، اوٗنستی[۱۸] ایتالیائی[۵] متوجه شد که براده‌های آهن و مس آزاد موقعیکه دارای بار الکتریکی می‌شوند بهم می‌چسبند و در نتیجه مقاومت الکتریکی آنها در مقابل عبور جریان برق کاهش می‌یابد.

- در ۱۸۹۰ م. اِدوار برانلی[۱۹] فیزیکدان فرانسوی (۱۸٤٤-۱۹٤۰ م.) کشف کرد که مقاومت الکتریکی بین براده‌های آزاد آهن در یک لوله شیشه‌ای در اثر برخورد با امواج برقمغناطیسی کاهش می‌یابد. او بر این اساس همدوسنده (Coherer) را اختراع کرد که وسیله اصلی آشکار سازی امواج ارسالی از فاصله نسبتاً دور بود. ولی برانلی این همدوسنده را برای آشکار سازی امواج برقمغناطیسی (بصورت علامات ارتباطی) بکار نبرد، اما پی برد که برای از بین بردن این همدوسیها کافی است براده‌های بهم چسبیده را تکان داد تا از هم جدا شوند.

- در ۱۸۹٤ م. ، سِر اوٗلیور لاج[۲۰] فیزیکدان انگلیسی، در همدوسنده برانلی اصلاحاتی بعمل آورد. او این وسیله را بجای حلقه گیرنده (مشدّد) هرتز برای آشکار سازی و ثبت علامات مورس که در یک آزمایشگاه بوسیله فرستنده‌ای ارسال می‌شد بکار برد. این اسباب در «مدار مرکّب‌نویس» دستگاه گیرنده تلگراف در حکم لرزنده (مرتعش شونده) یا جدا سازنده بود که بطور خودکار براده‌ها را تکان می‌داد تا بحالت آزاد برگردند و مقاومت زیاد خود را بازیابند، و بدین ترتیب جریان قطع شود.

- در ۱۸۹۵ م. الکساندر اِستپانویچ پوپوف[۲۱] فیزیکدان روسی (۱۸۵۹-۱۹۰۵ م.) برای مطالعه برق آسمان، گیرنده لاج را با دو اصلاح زیر مورد استفاده قرار داد:

۱- بکار بردن سیم‌پیچ‌های خفه‌کن (سیم پیچ‌های چوٗک[۲۲]) برای خنثی کردن اثر موضعی جرقه زنی در رله (کلید قطع و وصل) مدار مرکب‌نویس- جدا سازنده (مدار inker-decoherer)

۲- اصلاح مهمتر استفاده از سیم روکش عایق‌دار و اتصال زمین بود که بین آنها «همدوسنده» جای داده شده بود.

پوپوف در ۱۸۹٦ علامت هرتزی را از فاصله ۲۷۰ متری توسط گیرنده خود دریافت کرد. بدین ترتیب او پایه‌گذار طراحی آنتن بود. اصلاحات دیگری در همدوسنده توسط مارکونی بعمل آمد.

گوگلیلموٗ مارکونی[۲۳] (۱۸۷٤-۱۹۳۷ م.) در ایتالیا متولد شد ولی از ۱۸۹٦ هویت انگلیسی یافت. مارکونی محقق آزمایشگاهی نبود ولی می‌خواست راهی پیدا کند تا ارتباط الکتریکی بدون هدایت از راه سیم را در فضا برقرار سازد. او زندگی خود را وقف کرد که رادیو را از

آزمایشگاه به بازار بکشاند؛ همواره در جستجوی یافتن وسیله برای بالا بردن اعتبار و قابل اعتماد کردن تجهیزات بی‌سیم و افزودن دامنه عملکرد آنها بود.

مارکونی نخستین کسی بود که علامات (سیگنال‌ها) را بوسیله امواج هرتز، بدون سیم بطرف مقصد ارسال داشت و دریافت کرد (۱۸۹۵ م.). او در مدار فرستنده، یک سیم‌پیچ القاء و یک کلید تلگراف بکار برد. در مدار گیرنده یک شکاف جرقه زن تنظیم نشده (هم فرکانس نشده) تعبیه کرده بود. مارکونی شکاف گیرنده خود را به دو قطبی (که در گیرنده هرتز و لاج بکار رفته بود) ختم نکرد بلکه یک قطب آنرا به زمین و قطب دیگر را به استوانه فلزی بلندی وصل کرد. در مدار گیرنده خود همدوسنده ساده‌ای که اصلاحاتی در حساسیت آن بعمل آورده بود بکار برد و در پایان سال برد انتقال را به بیش از یک مایل رسانید. در ۱۸۹۶ م. مارکونی به لندن رفت و اختراع خود را به ثبت رسانید و ماموران دولتی را در آن ذینفع کرد. در این سال بردهای ۲ تا ۹ مایل بدست آمد و تا ۱۹۰۱ م. به ۲۰۰ مایل افزایش یافت. چون ادامه این تحقیقات به قرن بیستم میلادی کشیده می‌شود در اینجا دنباله بحث را رها می‌کنیم و در جای خود دوباره به آن خواهیم پرداخت.

پیشرفت فنون- در مدتیکه نظریه‌پردازان این دوره کارهای خود را دنبال می‌کردند، صاحبان فن نیز در فعالیّت دست کمی از آنان نداشتند. برق (الکتریسیته) در تمام زمینه‌ها پیشرفت داشت. اختراع موتور انفجاری در ۱۸۶۰ م. سبب شد که صنعت خودرو سازی توسعه یابد و سرعت حدّ خودرو در پایان قرن از مرز ٤٠ کیلومتر در ساعت گذشت. در ۱۸۹۱ م.، کابریل لیپمان[24] فیزیکدان فرانسوی (۱۸٤٥-۱۹۲۱ م.) روش جدیدی برای عکّاسی رنگی (روش تداخلی) اختراع کرد. در ۱۸۹۵ م.، برادران لومیپر[25] (لوئی، شیمیدان و صنعتگر فرانسوی ۱۸٦٤-۱۹٤۸ م.، و اُگوست، ۱۸٦۲-۱۹٥٤ م.) به سینما تحقق بخشیدند که رواج سریع آن اعجاب‌انگیز بود. کلِمان آدِر[26] مهندس فرانسوی (۱۸٤۱-۱۹۲٥) نخستین هواپیما را ساخت و با آن ۳۰۰ متر در هوا پرواز کرد. صنعت بیسیم، که شرح آن گذشت، در آن سالهای غنی از اختراعات نیز پیشرفت نمایانی داشت.

زیرنویسها:

1- Josef Stefan
2- Violle
3- Pouillet
4- Wilhelm Wien
5- John William Strutt, 3 rd Baron Rayleigh
6- Albert A. Michelson
7- Edward W. Morley
8- J. F. Fitzgerald
9- Hendrik Antoon Lorentz
10- Heinrich Hertz
11- Lenard
12- Balmer
13- Lyman
14- Paschen
15- Brackett
16- Richard son
17- D. E. Hughes
18- Onesti
19- Edovard Branly
20- Lodge
21- Aleksandr Stepanovich Popov
22- Choke Coils
23- Guglielmo Marconi
24- Gabriel Lippmann
25- Lumière
26- Clément Ader

مِهبانگ و انبساط جهان[1]

نوشتهٔ هانس اُهانیان
ترجمهٔ دکتر منیژهٔ رهبر

کیهان شناسی به مطالعهٔ کلی جهان، ابعاد، شکل و تکامل آن می‌پردازد. برای درک جهان، ذهن کیهان شناس باید در مسافتهایی به درازی ۱۰ بیلیون سال نوری یا زیادتر و در زمانهایی به مدت ۱۰ بیلیون سال یا بیشتر سیر کند.

تا اوایل این قرن، اختر شناسان تصور می‌کردند که ابعاد جهان از مقادیر فعلی بسیار کوچکتر است. آنها فکر می‌کردند که دورترین ستارگان لبهٔ کهکشان ما در فاصلهٔ ۳۰۰۰۰ سال نوری قرار دارند. و در ماورای آن چیزی جز فضای تاریک تهی نیست. ولی در سالهای ۱۹۲۰، ادوین هابل با استفاده از تلسکوپ ۱۰۰ اینچی مونت ویلسون ثابت کرد که سحابیهای کم نوری که در تمام قسمتهای آسمان وجود دارند در حقیقت توده‌های عظیمی از ستارگان مانند کهکشان خود ما هستندکه در فاصلهٔ بسیار زیاد از ما قرار دارند. او روشهایی راجهت اندازه گیری این فاصله‌های بزرگ کیهانی ابداع و کشف کرد که بعضی از این کهکشانهای دوردست در فاصلهٔ بیش از نیم بیلیون سال نوری از ما قرار دارند.

برای شروع بررسی نظری جهان، کیهان شناسان احتیاج به یک فرض اساسی دارند: قانونهای فیزیکی در قسمتی از جهان که ما در آن زندگی می‌کنیم با قانونهای سایر قسمتهای جهان یکسان است، دلایل مشاهده‌ای چندی موافق این فرض وجود دارد. برای مثال، نور و امواج رادیویی که از کهکشانهای دور دست به ما می‌رسند، دارای خصوصیتهایی مشابه نور و امواج رادیویی هستند که در آزمایشگاه‌های روی کرهٔ زمین تولید می‌شوند. البته روش مستقیمی جهت اثبات این مطلب وجود ندارد. به نظر می‌رسد فرض یکسانی قانونهای فیزیک در جهان، در عمل به خوبی به کار می‌رود. و با استفاده از این فرض می‌توان اطلاعات حاصل از مشاهده راکه اخترشناسان و اخترشناسان رادیویی با استفاده از تلسکوپ و رادیو تلسکوپ گرد آورده‌اند، تفسیر کرد.

در میان نیروهای طبیعت، گرانش در شکل‌گیری سیمای جهان در مقیاس بزرگ و تکامل آن نقش عمده‌ای دارا می‌باشد. بنابراین قانونهای گرانش نیوتون ابزار اساسی در بررسی نظری آن هستند. البته نظریهٔ نیوتون برای توصیف دقیق جهان کفایت نمی‌کند زیرا در فواصل بسیار طولانی کیهانی، اثرات نسبیتی حائز اهمیت می‌گردند، بنابراین باید در بررسیهای خود درحقیقت از نظریهٔ نسبیت عام اینشتین استفاده کنیم. به هر حال، ثابت شده‌است که نظریهٔ نیوتون در مطالعه بعضی مسایل مربوط به دینامیک جهان بسیار موفق است و در این مقاله بدون در نظر گرفتن نسبیت می‌توانیم به مطالعهٔ موضوع بپردازیم. البته، پرسشهای بسیاری در مورد هندسهٔ جهان، ابعاد و شکل‌گیری آن وجود دارد که نظریهٔ نیوتون قادر به پاسخگویی به آنها نیست، ولی حتی اگر از کلیهٔ مواردی که محتاج بررسی نسبیتی هستند صرفنظر کنیم، هنوز موارد جالب توجهی باقی می‌مانند.

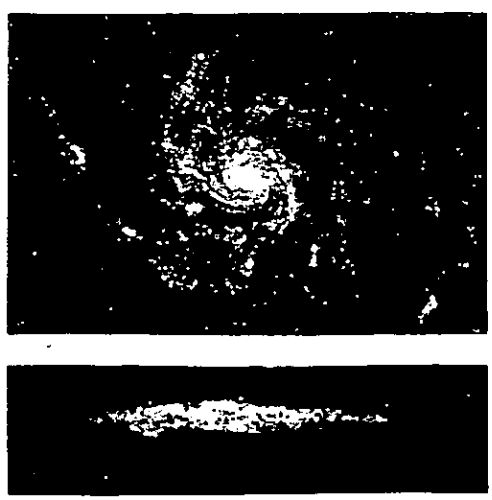
انبساط جهان

شب هنگام در حدود ۲۰۰۰ ستاره در آسمان با چشم غیر مسلح قابل مشاهده‌اند. تلسکوپ ستارگان بسیاری را نمایان می‌سازد و نشان می‌دهد که این ستارگان قسمتی از توده یا ابر ستارگان هستند. این ابر، **کهکشان یا راه شیری** خوانده می‌شود که شامل 10^{11} ستاره است که در منطقه قرص مانندی به قطر 10^{6} سال نوری به طور نامنظم پخش شده‌اند. این قرص دارای یک برآمدگی در مرکز است و بازوهای مارپیچی آن محل تمرکز ستارگان است (شکل ۱).

در ماورای کهکشان ما کهکشانهای خارجی بسیاری وجود دارند. با تلسکوپهای بزرگ می‌توانیم به طور کلی درحدود 10^{11} کهکشان را مشاهده کنیم. کهکشانهای غول آسایی وجود دارند که هر یک حاوی 10^{13} ستاره‌اند. همچنین کهکشانهای کوتوله‌ای فقط با 10^{6} ستاره کهکشانهای کروی وبیضوی چون کره‌ها و تخم‌مرغهای درخشان، کهکشانهای مارپیچی و مارپیچی مسدود، مانند فرفره‌های چرخان و کهکشانهای نامنظمی با شکلهای خارق‌العاده وجود دارند. (شکلهای ۳ تا ۸)

کلیهٔ کهکشانها در حرکتند، بسیاری از آنها در خوشه‌هایی مجتمع شده‌اند که گرد یکدیگر می‌چرخند و گاهی به طور تصادفی به یکدیگر برخورد می‌کنند. ما از حرکت جزیی کهکشانها چشمپوشی کرده و توجه خود را به حرکت آنها در مقیاس بزرگ معطوف می‌داریم. متوجه می‌شویم که در مقیاس بزرگ کهکشانها واپس رفته و از یکدیگر دور می‌شوند. برای مثال، شکل ۹ چند کهکشان دوردست را نشان می‌دهد که همگی آنها با سرعت $6\times10^{7}\frac{m}{s}$ از ما دور می‌شوند. بعضی اجسام حتی با سرعتی بیش از این در حال پس‌روی هستند - یک سرعت حدی در مورد کوازار QSO(OH471) وجود دارد که سرعت آن درحدود ۹۰٪ سرعت نور است.

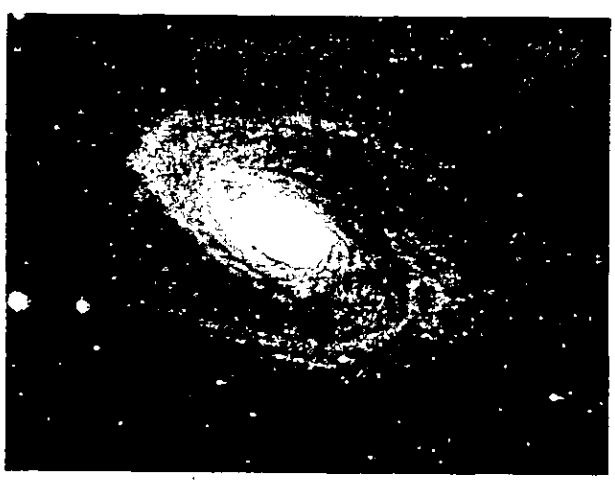
سرعت پس‌روی کهکشانها را می‌توان با روش **انتقال به سرخ** تعیین کرد. این روش براین واقعیت استوار است که نور ناشی از چشمه‌ای که از ما دور می‌شود سرختر از چشمهٔ ساکن به نظر خواهد آمد (برعکس نور چشمه‌ای که به ما نزدیک می‌شود آبی‌تر به نظر می‌رسد). انتقال رنگ یا به طور دقیقتر انتقال طول موج با سرعت ارتباط مستقیم دارد. برای بدست آوردن سرعت پس روی، اخترشناسان باید فقط انتقال طول موج نور



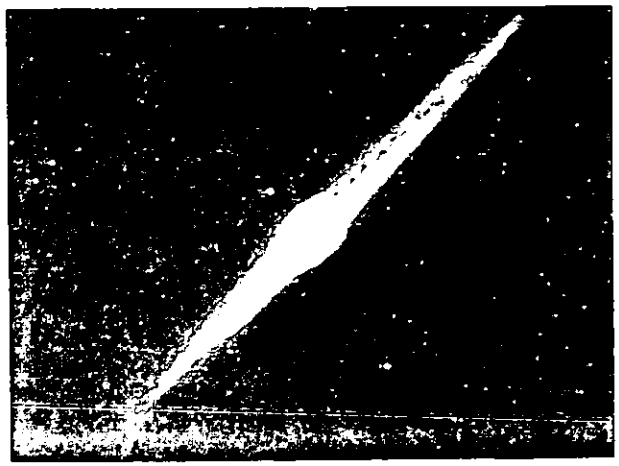
الف

ب

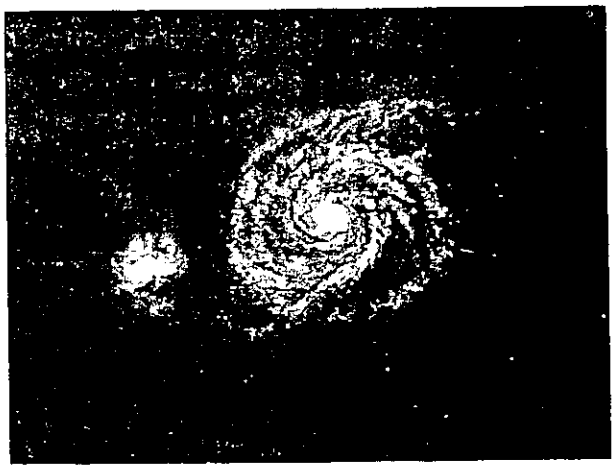
شکل ۱ – این تصاویر نشان می‌دهند که کهکشان ما (الف) از روبرو و (ب) از کنار چگونه به نظر می‌رسند. این تصاویر در واقع عکسهایی از دو کهکشان دوردست هستند.



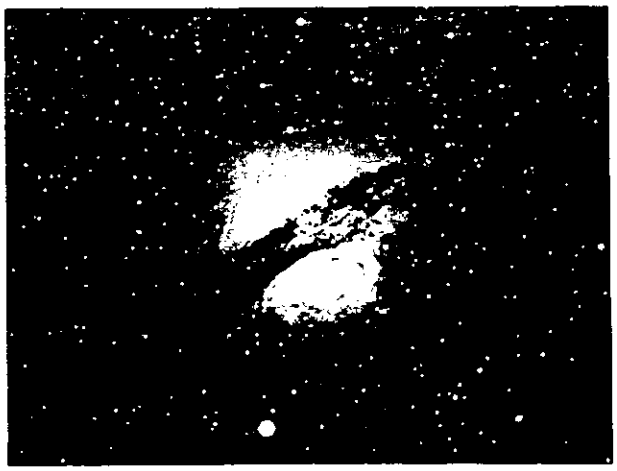
شکل ۲ – کهکشان مارپیچی (NGC 3031) در دب اکبر. صفحهٔ این کهکشان نسبت به خط دید ما مایل است. اگر از روبرو به آن نگاه کنیم کهکشان دایره‌ای است.



شکل ۳ – کهکشان مارپیچی (NGC 4565) در گیسوان برنیس که از پهلو مشاهده شده است. به نازکی کهکشان توجه کنید.



شکل ۴ – کهکشان مارپیچی (NGC 5194) در سگان تازی. این مار پیچ زیبا کهکشان «گردابی» نامیده می‌شود.



شکل ۵ – کهکشان غیر عادی (NGC 5128) در قنطورس، به قشر ضخیم گرد و غبار که کهکشان را احاطه کرده‌است، توجه کنید.

تابش شده از اتمهای موجود در یک کهکشان دور دست را نسبت به همان رنگ نور تابش شده از اتمهای موجود در روی زمین، اندازه بگیرند.

شکل ۱۰ سرعت پس روی کهکشانهای دوردست را نسبت به کهکشان ما نشان می‌دهد. با اندازه گیری سرعت و فاصلهٔ کهکشانها، هابل کشف کرد که حرکت پس‌روی از قاعدهٔ بسیار ساده‌ای پیروی می‌کند. سرعت هر کهکشان با فاصله آن نسبت مستقیم دارد. یعنی کهکشانهای نزدیک با سرعت کم و کهکشانهای دور با سرعت زیاد حرکت می‌کنند. این تناسب را **قانون هابل** می‌خوانند و می‌توان آنرا به صورت ریاضی زیر نوشت.

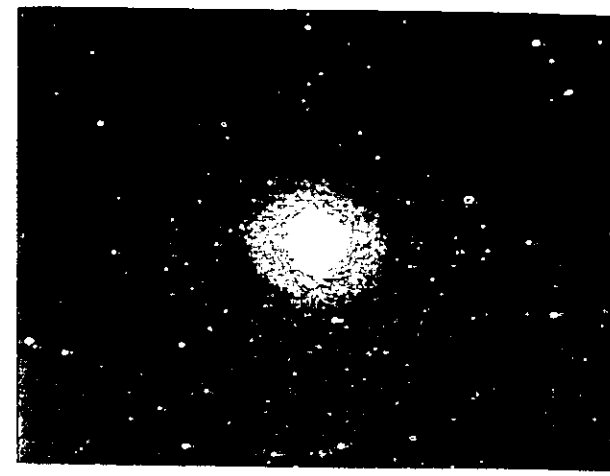
$$v = H_{\circ} r \qquad (۱)$$

که در آن $H_{\circ}$ ثابت هابل است. اگر r فاصله بر حسب سال نوری باشد، مقدار عددی ثابت هابل برابر است با

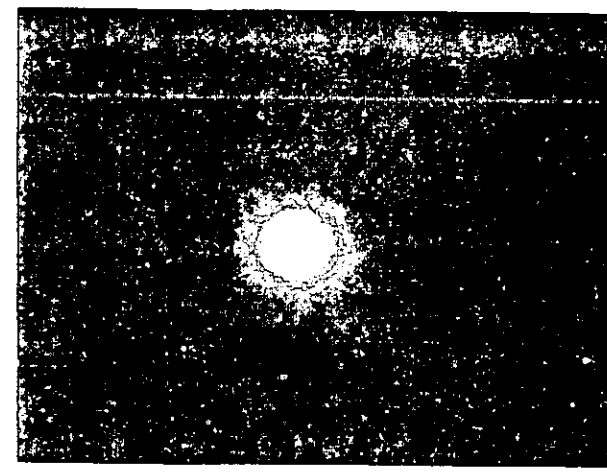
$$H_{\circ} = ۱/۷ \times ۱۰^{-۲} \ (\frac{m}{s}) \ / \ \text{میلیون سال نوری} \qquad (۲)$$

به عنوان مثال کهکشانی که در ماورای صورت فلکی شجاع (هیدرا) قرار دارد و در شکل ۹ نشان داده شده‌است. دارای سرعت پس روی $۶/۱ \times ۱۰^{۷} \ \frac{m}{s}$ است و فاصلهٔ آن $۳/۵ \times ۱۰^{۹}$ سال نوری است که با معادلهٔ (۱) سازگار است.

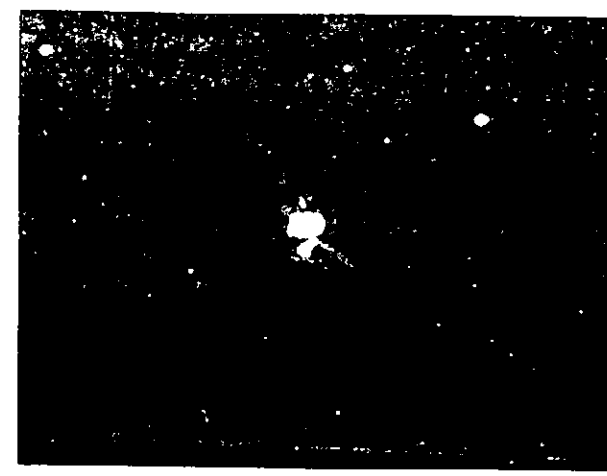
ضمناً اختر شناسان، فواصل بزرگ کیهانی از زمین تا کهکشانهای دیگر را با روش درخشندگی یا **«چراغ جلو»** تعیین می‌کنند. اساس این روش بر این است که کهکشانهای دوردست کمرنگ و کهکشانهای نزدیک درخشان هستند - درست مانند آنچه در یک جادهٔ تاریک اتفاق می‌افتد و چراغ اتومبیلهای دوردست، ضعیف و چراغ اتومبیلهای نزدیک پر نور هستند. اگر تمام کهکشانها دقیقاً نور یکسانی تولید می‌کردند، تفاوت درخشندگی ظاهری که با تلسکوپ مشاهده می‌شد اساساً ناشی از تفاوت فاصله بود - بنابراین رابطهٔ ریاضی ساده‌ای بین درخشندگی ظاهری و فاصله وجود می‌داشت. به هر حال، در عمل پیچیدگیهایی وجود دارد. دو کهکشان می‌توانند در یک فاصله باشند ولی درخشندگی متفاوت داشته‌باشند. زیرا یکی از آنها می‌تواند تعداد ستارگان بیشتری داشته باشد و نوری بیشتر از کهکشان دیگر تولید کند. این تفاوتهای ذاتی بین کهکشانها باید در استفاده از روش درخشندگی مورد توجه قرار گیرد. اختر شناسان تکنیکهای هوشمندانه‌ای برای انتخاب یک کهکشان یا قسمتی از آن به عنوان استاندارد درخشندگی ابداع کرده‌اند. ولی هنوز عدم قطعیتهای فراوانی در تعیین فاصله و همین طور در مقدار ثابت هابل وجود دارد. عدم قطعیت در معادلهٔ (۲) حداقل ۲۵٪ و احتمالاً بیشتر است.



شکل ٦- کهکشان مار پیچی (NGC 7217) در فَرَس اعظم(اسب بزرگ).



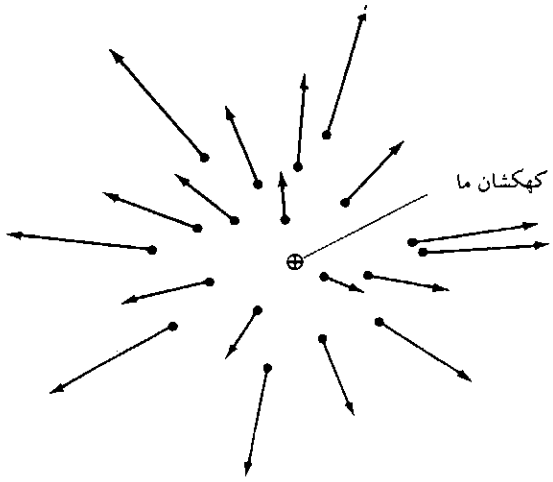
شکل ۷- کهکشان بیضوی (NGC 4486) در سنبله. این یکی از درخشانترین کهکشانهای شناخته شده‌است.



شکل ۸- کهکشان مارپیچی عجیب (NGC 2623) در سرطان.

Galaxy	*Distance*	*Speed of recession*
دب اکبر	1.0×10^9 سال نوری	1.5×10^7 m/s
اکلیل شمالی	1.4×10^9 سال نوری	2.2×10^7
گاوران (عوّا)	2.5×10^9 سال نوری	3.9×10^7
شجاع (هیدرا)	4.0×10^9 سال نوری	6.1×10^7

شکل ۹- چند کهکشان مار پیچی دوردست.



شکل ۱۰ – حرکت پس‌روی کهکشانهای دور دست. (انبساط جهان)

اگر چه شکل ۱۰ این اثر گمراه‌کننده را دارد که کهکشان ما در مرکز عالم قرار گرفته‌است و کهکشانهای دیگر از ما می‌گریزند. ولی کهکشان ما هیچ مکان ویژه‌ای را در جهان اشغال نکرده‌است. کهکشانهای دیگر فقط از ما نمی‌گریزند: بلکه از یکدیگر نیز می‌گریزند. کلیهٔ کهکشانها در حال پس رفتن از کهکشانهای دیگر هستند ـ جهان در حال انبساط است. یک اختر شناس برون زمینی که روی کهکشان در ماورای شجاع (هیدرا) نشسته است ملاحظه خواهد کرد که کهکشان ما و سایر کهکشانها از او دور می‌شوند. بنابراین، موضع ما در جهان مانند هر موضع دیگر است. کیهان شناسان بر این باورند که این یکنواختی نه تنها در مورد انبساط، بلکه در سایر امور جهان نیز وجود دارد. برای مثال، تعداد و انواع کهکشانها که این اختر شناس برون زمینی در همسایگی خود می‌یابد، به طور متوسط برابر همان تعدادی است که در مجاورت ما وجود دارد ـ جهان در همه جا تا حدود زیادی یکسان است تأکید یکنواختی جهان در مقیاس بزرگ، **اصل کیهان شناسی** نامیده می‌شود.

حرکت پس روی کهکشانها را می‌توان با یک مقایسه ساده نشان داد. وقتی یک نارنجک در فضا منفجر می‌شود، پاره‌های ترکش آن در تمام جهات پخش می‌شود. پاره‌های مختلف ممکن است سرعتهای متفاوت داشته‌باشند و پس از گذشت زمان معین فواصل مختلفی را طی خواهند کرد. پس از زمان t، محل یک پاره با سرعت v از رابطهٔ زیر بُدست می‌آید

$$r = vt \qquad (۳)$$

که می‌توان آنرا به صورت زیر نوشت

$$v = \frac{r}{t} \qquad (۴)$$

ملاحظه می‌شود که در هر لحظه پاره‌های واقع در بیشترین فاصله دارای بیشترین سرعت هستند، تناسب سرعت و فاصله دارای شکلی مشابه قانون هابل [رک معادله (۱)] است. بنابراین، طبق قانون هابل کهکشانها که در اثر یک انفجار کیهانی اولیه در ایام بسیار قدیم به حرکت در آمده‌اند و از آن پس، کم و بیش آزادانه حرکت می‌کنند. تنها ایراد مقایسهٔ حرکت پاره‌های نارنجک و کهکشانها در آن است که در مورد نخست یک مرکز انفجار معین وجود دارد در حالی که در دومین مورد انفجار به طور هم‌زمان در همه جا رخ داده‌است و مرکز معینی برای انفجار وجود ندارد، ضمناً در انبساط جهان فقط فاصلهٔ بین کهکشانها افزایش می‌یابد، خود کهکشانها منبسط نمی‌شوند. البته این مطلب در مقایسه با نارنجک از این حیث سازگار است که در آن فاصلهٔ بین پاره‌های ترکش افزایش می‌یابد در حالی که اندازهٔ پاره‌ها ثابت باقی می‌ماند.

سن جهان و انفجار بزرگ (مِهبانگ)

انفجاری که سبب انبساط جهان گردیده است **مهبانگ** خوانده می‌شود. با مقایسهٔ معادلات (۱) و (۴) می‌توانیم زمان وقوع آنرا محاسبه کنیم. بدیهی است که عکس ثابت هابل برابر زمان انبساط است.

$$t = \frac{۱}{H_۰} \qquad (۵)$$

$$t = \frac{۱}{۱/۷ \times ۱۰^{-۴}} \times \frac{\text{میلیون سال نوری}}{\text{m/s}}$$

$$= \frac{۱}{۱/۷ \times ۱۰^{-۴}} \times \frac{۹/۵ \times ۱۰^{۲۱}\text{m}}{\text{m/s}}$$

$$= ۵/۶ \times ۱۰^{۱۷}\text{s} = ۱/۸ \times ۱۰^{۱۰} \text{ سال}$$

به هر حال، در محاسبهٔ سن جهان، امکان تغییر سرعت کهکشانها با زمان را نادیده گرفتیم (برای مثال، چون گرانش سبب کشش کهکشانها به یکدیگر می‌شود، ممکن است انتظار داشته باشیم که گرانش مانع پس‌روی کهکشانها از یکدیگر شده و انبساط جهان را کند سازد. این مطلب ایجاب می‌کند که سرعت کهکشانها در گذشته از مقدار فعلی بیشتر بوده و در نتیجه سن جهان کمتر از ۱۸ بیلیون سالی باشد که با محاسبات ساده بدست آمده است. ولی به‌هر حال، این عدد برآوردی

تقریبی از سن جهان را بدست می‌دهد.

ضمناً، چون آغاز جهان در زمان معینی در گذشته بوده‌است، نور فقط از قسمتهایی به ما می‌رسد که در فاصله‌ای به اندازهٔ کافی نزدیک قرار دارند.

سرعت نور = $c = ۳/۰۰ \times ۱۰^۸ \text{ m/s}$ = ۱ سال نوری / سال

است و در زمان t می‌تواند مسافت زیر را طی کند

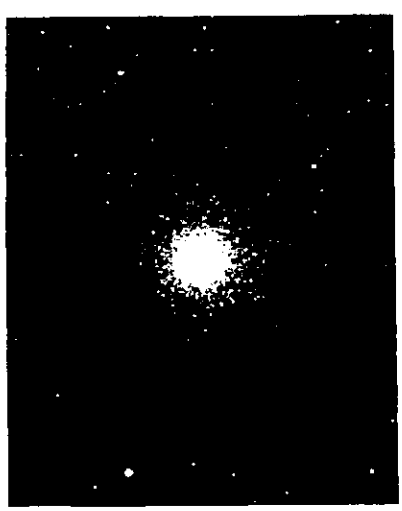
$$ct = (\frac{\text{۱ سال نوری}}{\text{سال}}) \times ۱/۸ \times ۱۰^{۱۰} = \text{سال } ۱/۸ \times ۱۰^{۱۰}$$

این فاصله، **شعاع جهان قابل مشاهده** است. کلیهٔ اجسامی را که در این فاصله قرار دارند، می‌توانیم مشاهده کنیم (در صورت در دسترس بودن تلسکوپهایی به اندازهٔ کافی پر قدرت)؛ هر چیزی که در ماورای آن قرار داشته باشد نمی‌توانیم مشاهده کنیم زیرا نور آن زمان کافی برای رسیدن به ما را نداشته است. توجه کنید که با افزایش زمان، شعاع ct زیاد می‌شود؛ یعنی، جهان قابل مشاهده قسمت بیشتری از کل جهان را در بر می‌گیرد. پندار مهبانگ را می‌توان به طور مستقیم آزمود: اگر منشاء جهان در ۱۸ بیلیون سال قبل باشد، چیزی قدیمی‌تر از آن نمی‌تواند در جهان وجود داشته باشد. سن زمین و خورشید فقط ۴/۵ بیلیون سال است - برای آزمون جدی فرضیهٔ مهبانگ، احتیاج به اجسام بسیار قدیمی‌تر داریم. قدیمی‌ترین اشیایی که می‌توانیم سن آنها را به طور قابل اطمینان ارزیابی کنیم خوشه‌های گوی‌سان ستارگانی است که در نزدیکی کهکشان ما وجود دارند هر یک از آنها انبوهی از $۱۰^۵$ تا $۱۰^۶$ ستاره است که مانند گروه بزرگی از زنبوران در آسمان به نظر می‌رسند. (رك شکل ۱۱). نظریه تکامل ستاره‌ای ما را قادر می‌سازد تا با استفاده از رنگ و درخشندگی ستارگان سن آنها را محاسبه کنیم. با پیر شدن ستارگان، آنها وارد مرحلهٔ غول سرخ می‌شوند. در این مرحله رنگ آنها قرمز و اندازهٔ آنها چند صد برابر اندازه عادی می‌گردد. با شمارش تعداد این غولهای سرخ در یک خوشه می‌توانیم سن آنرا برآورد کنیم - یک خوشهٔ جوان فقط حاوی تعدادی اندك و یک خوشهٔ پیر دارای تعداد بسیار زیادی غول سرخ است. محاسبات دقیق نشان می‌دهند که خوشه‌های گوی‌سان عمری درحدود ۱۰ تا ۱۶ بیلیون سال دارند که با زمان انبساط معادلهٔ (۶) سازگار است.

با در نظر گرفتن سن پیرترین خوشه‌های گوی‌سان می‌توانیم زمان تولد اولین ستارگان را در کهکشان خود تعیین کنیم. روش دیگری نیز وجود دارد که به کمك آن می‌توانیم زمان تولد ستارگان را به وسیلهٔ سن عناصر شیمیایی معین کنیم. تشکیل کلیهٔ عناصر، به استثنای هیدروژن و هلیوم، در اثر واکنشهای هسته‌ای در داخل ستارگان سنگین است که پس از پیدایش کهکشان ما به وجود آمده‌اند. این ستارگان عمر بسیار کوتاهی داشته‌اند که پس از طی آن به صورت ابر نواختر منفجر شده‌اند و عناصر شیمیایی خود را در همه جا پراکنده‌اند. بعضی از این عناصر در نهایت وارد ابر گاز و غباری شده‌اند که مقدر بود منظومهٔ شمسی را تشکیل دهد. سن یا اتمهای این عناصر - مانند اورانیوم و توریوم - را می‌توان بر مبنای اکتیویتهٔ آنها تعیین کرد این اتمها به مرور زمان و در نتیجه واپاشی رادیو اکتیو از بین می‌روند و مقدار واپاشی نمایانگر سن آنهاست. اندازه گیری واپاشی رادیو اکتیو سن این عناصر را چیزی بین ۷ تا ۱۵ بیلیون سال بدست می‌دهد. بنابر این در گسترهٔ خطای تجربی، سن عناصر با زمان انبساط سازگار است.

ناهمسازی سنهای بدست آمده از خوشه‌های گوی‌سان، عناصر شیمیایی، و حرکت پس روی کهکشانها نشان می‌داد که نظریهٔ مهبانگ صحیح نیست. البته همسازی سنهای بدست آمده، درستی نظریه را اثبات نمی‌کند، بلکه به ما دلگرمی می‌دهد تا در جستجوی دلایل بیشتری برآییم.

قطعی‌ترین دلیل صحت نظریهٔ مهبانگ وجود تابش گرمایی حاصل از انفجار اولیه است که امروزه در سراسر آسمان یافت می‌شود. در لحظه شروع مهبانگ، جهان به طور متراکم از مادهٔ در دما و فشار بسیار زیاد پر بوده است. آهنگ انبساط اولیهٔ ماده باید بسیار سریع بوده باشد، زیرا این انبساط هنوز در اثر اندازه حرکت (تکانهٔ) اولیه‌ای که به آن داده شده است، ادامه

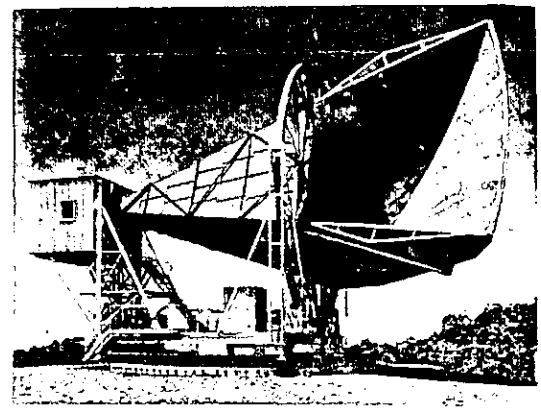


شکل ۱۱ - خوشهٔ گوی سان (NGC 5272) در صورت فلکی تازی.

دارد. ماده باید در ابتدا از جسمی که با نور سفید می‌درخشد بسیار داغ‌تر بوده و نور بسیار شدیدی را تابش می‌کرده است. تمام جهان باید پر از گلولهٔ آتشین بوده که با درخشندگی بسیار شدیدتر از خورشید، یا انفجار یک بمب هیدروژنی می‌درخشیده‌است.

گرمای تابش گسیل شده از این گلولهٔ آتشین ابتدا به صورت پرتوهای گاما و پرتوهای x بسیار نافذ بوده‌است. این پرتوها اساساً از نوع امواج نورانی ولی با طول موج بسیار کوتاه هستند. با انبساط جهان، این امواج همراه آن منبسط شده‌اند. بنابراین، طول موج نور گلولهٔ آتشین که در حال حاضر در آسمان باقی مانده‌است. از طول موج نور اولیه بسیار بلندتر است. نسبت طول موج آنها به طول موج اولیه برابر نسبت فواصل فعلی بین کهکشانی به فواصل اولیه است. محاسبات نظری نشان می‌دهند که طول موج فعلی باید در حدود ۱mm باشد. این مقدار خیلی بیش ازطول موج نور مرئی است و در محدودهٔ امواج رادیویی (میکروویو) قرار دارد.

این نوع تابش در سال ۱۹۶۴ توسط اِا. پنز یاس و آر. دبلیو. ویلسون که با دستگاه‌های ارتباطی میکرو ویو بسیار حساس در آزمایشگاه‌های بل کار میکردند، کشف شد (شکل ۱۲). آنها متوجه شدند که تمام آسمان پر از امواج نوفه[۲] است. این نوفه‌ها امواجی بودند که از تمام جهات به زمین می‌رسیدند. دانشمندان در دانشگاه پرینستون فوراً متوجه اهمیت کیهان شناختی این کشف شدند. در نتیجه، آزمایشهای بسیاری برای اندازه گیری دقیق این پرتوهای زمینهٔ کیهانی انجام شد که نشان می‌داد قلهٔ این تابشها در طول موج حدود ۲mm است، شدت تابش در



شکل ۱۲ – آنتن هورن در آزمایشگاه بل در هولمدل نیوجرسی. این آنتن برای آزمایشهای مخابرات میکروویو با ماهواره‌های اِکو و تل استار طرح شده بود.

کمتر و بیشتر از این طول موج به تدریج کاهش می‌یابد. تابش دارای همهٔ مشخصات تابش گرمایی است - این تابش مشابه پرتو گسیل شده از یک جسم «سیاه» در دمای ۳ °C بالای صفر مطلق است. آنچه رخ داده به این گونه است که تابش گرمایی بسیار داغ گلولهٔ آتشین اولیه به تدریج در اثر انبساط جهان سرد شده است و در حال حاضر دما به صفر مطلق بسیار نزدیک شده‌است. با ادامهٔ انبساط جهان، کاهش دما ادامه می‌یابد. تابش زمینهٔ کیهانی پسماند تابش گرمایی است که از مهبانگ درآسمان باقی مانده است و دلیل مادی مستقیمی بر مهبانگ است.

گواه دیگر مهبانگ از مطالعهٔ فراوانی هلیوم در جهان بدست آمده است. ترکیب شیمیایی جهان در حدود ۷۴٪ هیدروژن (از نظر جرمی) و ۲۴٪ هلیوم است، عناصر دیگر به میزان بسیار کم وجود دارند - تمام هیدروژن و قسمت اعظم هلیوم از ابتدا در جهان موجود بوده‌اند. یعنی این عناصر در گلولهٔ داغ اولیه، بلافاصله پس از آغاز جهان تشکیل شده‌اند. دمای این گلولهٔ آتشین سه دقیقه پس از آغاز جهان $۱۰^۹$ °C بوده است. در این دما، هیدروژن در اثر همجوشی هسته‌ای تبدیل به هلیوم می‌شود. محاسبات نظری ایجاد هیدروژن با فراوانی ۷۵٪ و هلیوم با فراوانی ۲۵٪ ناشی از واکنشهای همجوشی را نشان می‌دهند که با فراوانی مشاهده شده به خوبی سازگار است. این مطلب مؤید تصویر مهبانگ داغ است.

آیندهٔ جهان

اگر کهکشانها به حرکت فعلی خود با سرعت ثابت ادامه دهند، به تدریج فاصلهٔ آنها زیاد می‌شود و کوچک و کوچکتر و کم‌نور و کم‌نورتر خواهند شد تا از دیده پنهان شوند و کهکشان ما تنها خواهد ماند.

اما، این حرکت پس روی با سرعت ثابت انجام نمی‌شود. نیروی گرانش سبب کشش کهکشانها به یکدیگر می‌شود. این جاذبهٔ متقابل سبب کاهش سرعت انبساط می‌شود.

البته نیروی جاذبهٔ گرانشی بسیار ضعیف است زیرا فواصل میان کهکشانی بسیار زیاد هستند. ولی حتی یک کاهش اندک سرعت در دراز مدت می‌تواند حائزاهمیت باشد. اگر این حرکت، زمانی متوقف شود، کهکشانها حرکت به سوی یکدیگر را آغاز خواهند کرد. در این حالت جهان شروع به انقباض خواهد کرد. با نزدیک‌تر شدن کهکشانها به یکدیگر، نیروی جاذبهٔ گرانشی شدیدتر و سرعت انقباض بیشتر می‌شود. بالاخره، کهکشانها با یکدیگر برخوردکرده و جهان در یک

انفجار داخلی کیهانی نهایی فرو خواهد ریخت.

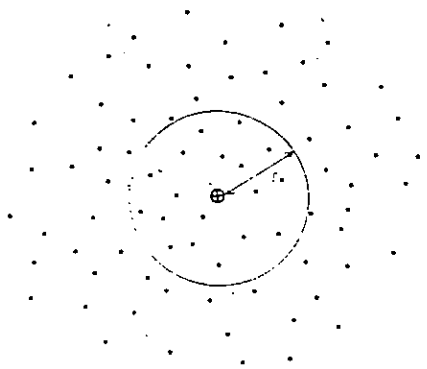
سؤال مهم در کیهان شناسی این است: آیا جهان برای همیشه منبسط می‌شود؟ یا این که روند انبساط متوقف و انقباض آغاز خواهد شد. برای یافتن پاسخ به این پرسش باید کاهش سرعت حرکت پس‌روی را محاسبه کنیم.

چون مسئلهٔ مورد نظر ما حرکت متوسط کهکشانهاست، فرض می‌کنیم که این کهکشانها به طور یکنواخت در جهان توزیع شده و یک گاز کهکشانی را تشکیل داده‌اند. در این صورت انبساط جهان معادل انبساط این گاز خواهد بود. برای بدست آوردن قانون انبساط گاز، ناحیه‌ای کروی را درنظر بگیرید که مرکز آن مثلاً کهکشان ما باشد، فرض می‌کنیم که این ناحیهٔ کروی در مقایسه با اندازهٔ جهان کوچک ولی شامل کهکشانهای بسیاری می‌باشد. تصور کنید که با سحر و جادو کلیهٔ کهکشانهای موجود در این کره را خارج کردیم و فقط یک حفرهٔ خالی به جا مانده است. بقیهٔ جهان حول این حفره دارای تقارن کروی است. بنابراین طبق این قضیه که یک پوستهٔ یکنواخت از ماده هیچگونه نیروی گرانشی به ذراتی که داخل آن قرار دارند وارد نمی‌کند، گرانش در داخل حفره دقیقاً برابر صفر است. بنابراین اگر کهکشانها را به داخل این ناحیهٔ کروی برگردانیم، حرکت آنها تحت تاثیر بقیهٔ جهان نخواهد بود ـ فقط کهکشانهای داخل ناحیهٔ کروی نیروی گرانشی به سایر کهکشانهای این حفره وارد میکنند. حال یکی از کهکشانهای سطح این ناحیه را در نظر بگیرید که در فاصله شعاعی r از ما قرار دارد. (شکل ۱۳). نیروی گرانشی که جرم موجود در ناحیهٔ کروی به این کهکشان وارد می‌کند برابر مقداری است که در صورت متمرکز بودن کل جرم در مرکز، به آن وارد می‌شد. در نتیجه شتاب این کهکشان برابر است با

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{GM}{r^2} \qquad (۷)$$

که در آن M جرم ناحیهٔ کروی است. این معادله چگونگی تغییر ناحیهٔ کروی با زمان را معین می‌کند.

معادله حرکت (۷) مشابه معادلهٔ حرکت موشکی است که در امتداد خط شعاعی از زمین پرتاب می‌شود. شتاب حرکت شعاعی به طور پیوسته کم می‌شود ولی توقف یا وارون شدن جهت حرکت بستگی به سرعت اولیهٔ آن دارد. اگر سرعت اولیه بزرگ تر از سرعت فرار باشد، فاصله شعاعی همواره افزایش می یابد؛ اگر سرعت اولیه کوچک‌تر از سرعت فرار باشد، حرکت شعاعی متوقف و جهت آن وارون می‌شود. اگر زمان حال را زمان اولیه و شعاع فعلی را شعاع اولیه در نظر بگیریم،



شکل ۱۳ – یک ناحیهٔ کروی در جهان ما

سرعت اولیه با استفاده از معادله (۱)برابر است با

$$v_0 = H_0 r_0 \qquad (۸)$$

و سرعت فرار

$$v_{\text{بحرانی}} = \sqrt{2GM/r_0} \qquad (۹)$$

در معادلات فوق، زیر نویس صفر مؤید این مطلب است که مقادیر در حال حاضر محاسبه شده‌اند. جرم M را می‌توان بر حسب چگالی متوسط جرم موجود در جهان بیان کرد

$$M = \frac{4\pi}{3} r_0^3 \rho_0 \qquad (۱۰)$$

به طوری که

$$v_{\text{بحرانی}} = \sqrt{\frac{8\pi}{3} G r_0^2 \rho_0} \qquad (۱۱)$$

بنابر این شرط ادامهٔ انبساط جهان برای همیشه به صورت زیر در می‌آید

$$v_0 \geq v_{\text{بحرانی}} \qquad (۱۲)$$

که هم ارز رابطهٔ زیر است

$$H_0 r_0 \geq \sqrt{\frac{8\pi}{3} G r_0^2 \rho_0} \qquad (۱۳)$$

یا

$$\rho_0 \leq \frac{3}{8\pi G} H_0^2 \qquad (۱۴)$$

بنابراین، شرط لازم برای اینکه در نهایت انبساط جهان متوقف شود و انقباض آغاز شود به صورت زیر در می‌آید

$$\rho_0 > \frac{3}{8\pi G} H_0^2 \qquad (۱۵)$$

با قراردادن مقدار عددی $H_0 = \frac{1}{5/6 \times 10^{17}}\ s$ در یک معادلهٔ (۶)] و مقدار ثابت گرانش در طرف راست معادلات (۱۴) و (۱۵)، شرایط زیر بدست می‌آیند.

$$\rho_0 \leq 5/7 \times 10^{-27}\ kg/m^3 \qquad (۱۶)$$

(انبساط دائم)

$$\rho_0 > 5/7 \times 10^{-27}\ kg/m^3$$

(انقباض نهایی)

اصولاً، شرایط فوق پیش بینی تحولات آتی جهان را امکان پذیر می‌سازند، فقط لازم است که چگالی متوسط جرم موجود در جهان را اندازه بگیریم و ببینیم که آیا مقدار آن از مقدار بحرانی $5/7 \times 10^{-27}\ kg/m^3$ بزرگتر یا کوچکتر است. عملاً، عدم قطعیتهای موجود در چگالی جرم و به میزان کمتر، عدم قطعیت در مقدار سمت راست معادلهٔ (۱۶) مانع از این کار می‌شوند.

در جستجوی اعداد

ثابتهای کیهان شناختی که رفتار جهان در مقیاس بزرگ را تعیین می‌کنند عبارتند از سرعت انبساط [یا ثابت هابل، رک معادله (۱)]، آهنگ تغییر این سرعت، عمر جهان، و جرم آن. اگر مقدار این پارامترها را بدانیم، می‌توانیم تحولات آتی جهان را پیش‌بینی کنیم. برای مثال، معادلهٔ (۱۶) ما را قادر می‌سازد تا با استفاده از مقادیر مشاهده شدهٔ چگالی جرم و سرعت انبساط (مقدار ثابت هابل) این پیش‌بینی را انجام دهیم. به طور مشابه می‌توان از معادلات مربوط به عمر جهان یا کاهش سرعت برای این منظور استفاده کرد.

جستجوی اعداد یکی از مسائل مهم کیهان شناسی مشاهده‌ای است. اگر چه در سالهای اخیر پیشرفتهای فراوانی حاصل شده‌است، ولی مقادیر پارامترهای کیهان شناختی هنوز دارای عدم قطعیت هستند. این مسئله پاسخ نهایی به سؤال مهم در مورد تحولات آیندهٔ جهان را مشکل می‌سازد.

در مورد چگالی متوسط جرم موجود در جهان چه می‌دانیم؟ وقتی جرم جهان را محاسبه می‌کنیم، باید جرم کهکشانها و جرم موجود در فضای بین کهکشانها را به حساب بیاوریم. جرم کهکشانها دارای خطا هستند ـ روشهای مختلفی که برای تعیین جرم وجود دارند اعدادی را بدست می‌دهند که با ضریب ۱۰ تفاوت دارند. علت این مشکل آن است که علاوه بر ستارگان مرئی یک کهکشان می‌تواند حاوی مقدار زیادی جرم نامرئی به صورت ستارگان کوچک کم نور یا سیاهچاله باشد. طبق بهترین برآوردهای موجود، کل جرم مربوط به کهکشانها دارای چگالی $2 \times 10^{-28}\ kg/m^3$ است. این مقدار از مقدار بحرانی معادلهٔ (۱۶) کمتر است. بنابراین، به جز در صورتی که مقداری جرم نامرئی در کهکشانها یا فضای بین کهکشانها پنهان باشد، جهان برای همیشه منبسط خواهد شد.

فضای بین کهکشانها ممکن است حاوی جرم اضافی پنهان به صورت سیاهچاله‌ها، گاز هیدروژن در دمای بسیار زیاد (پلاسما) یا نوترینو باشد. آشکارسازی جرم به این صورت بسیار مشکل است، بنابراین نمی‌توانیم حد معینی برای مقدار جرم اضافی تعیین کنیم. به هر حال، قرائنی وجود دارند که نمایانگر بسیار نبودن این جرم اضافی هستند. یکی از این قرائن، فراوانی دوتریوم در جهان است. دوتریوم ایزوتوپ هیدروژن است ـ هسته هیدروژن متشکل از یک پروتون است در حالی که دوتریوم از یک پروتون و یک نوترون تشکیل شده است. هر کجا هیدروژن باشد، دوتریوم نیز وجود دارد. برای مثال، در آبهای کرهٔ زمین به ازاء هر ۶۰۰۰ مولکول آب یک مولکول «آب سنگین» وجود دارد که یکی از اتمهای H_2O آن دوتریوم است. هیدروژن موجود در خورشید نیز با دوتریوم مخلوط است و همینطور در همهٔ ستارگان دیگر. اختر فیزیکدانان بر این باورند که این دوتریوم در واکنشهای هسته‌ای در طی مهبانگ و قبل از این که کهکشانها و ستارگان متولد شوند، تولید شده است. با محاسبات نظری در مورد تولید دوتریوم در می‌یابیم که چگالی جرم زیاد در جهان با تولید دوتریوم مغایرت دارد، زیرا این چگالی جرم زیاد سبب واکنشهایی می‌شود که باعث از میان رفتن دوتریوم می‌گردند. از آنجا که جهان در حال حاضر حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای دوتریوم است، چگالی جرم در مدت مهبانگ باید کمتر از حد معینی بوده باشد ـ حداکثر $6 \times 10^{-28}\ kg/m^3$. این مقدار به طور قابل ملاحظه‌ای از مقدار بحرانی معادله (۱۶) کمتر است که نمایانگر جهان همواره در حال انبساط است. متأسفانه، بحث مربوط به دوتریوم بسیار جدی نیست و نمی‌توانیم امکان پنهان شدن مقدار زیادی جرم در گوشه‌ای از جهان را رد کنیم.

آیا جهان به انبساط خود ادامه می‌دهد و یا در نهایت منقبض خواهد شد. اطلاعات موجود فاقد دقت کافی برای یک پیشگویی قاطع است و واقعیتهایی که در بارهٔ جهان می‌دانیم به جهانی می‌پردازد که برای همیشه منبسط می‌شود. ولی عدم قطعیتهای کافی در اندازه گیریها و راه‌های گریز زیادی در بحث ما وجود دارند که امکان یک جهان منقبض شونده را نیز منتفی نمی‌سازند ولی تا دانستن سرنوشت نهایی جهان هنوز زمانی را در پیش داریم.

زیر نویسها:

۱- The Big Bang and the expansion of the universe

۲- noise

مرجع:

Interlude D, Physics, Hans Ohanian

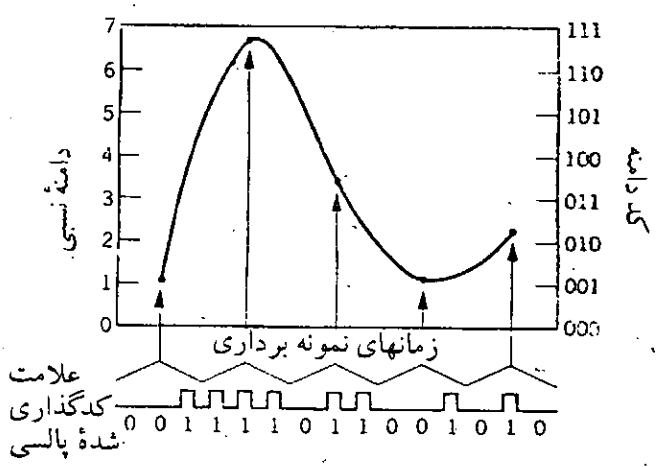
مخابرات نوری با استفاده از تارهای نوری

نوشته سوزان ناگل[1]
ترجمهٔ محمدرضا اجتهادی[2]

یک تکنولوژی جدید انقلابی ـ مخابرات نوری ـ در حال تغییر دادن شبکهٔ ارتباطی جهان است. حجم وسیعی از اطلاعات ـ علامتهای صوتی، داده‌های ویدئویی و رقمی را به وسیله شبکهٔ وسیعی از تارهای نوری با سرعت و کارایی زیاد می‌توان از یک نقطه به نقطهٔ دیگر منتقل کرد. این رشته‌های مویین شیشه‌ای اطلاعات را در فاصله‌های بسیار زیاد به صورت پالسهایی از نور حمل می‌کنند. چرا مخابرات نوری تا این اندازه مهم است و این تارهای نوری چگونه کار یک «نوربر» را انجام می‌دهند؟ به این پرسشها به اختصار پاسخ می‌دهیم.

یک دستگاه مخابراتی پایه، شامل یک فرستنده (چشمهٔ علامت) که در آنجا اطلاعات کدبندی می‌شود، یک محیط انتقال (حامل علامت) و یک گیرندهٔ آشکارساز است که اطلاعات اولیه را باز سازی می‌کند.

بیشتر دستگاه‌های جدید مخابراتی به علت کیفیت عالی انتقال، «رقمی» هستند در یک دستگاه سادهٔ مخابراتی رقمی، اطلاعات به صورت رقمهای دودویی که شامل صفر و یک است کدبندی می‌شود. پیش از بررسی دقیق مخابرات نوری، چگونگی کدگذاری رقمی برروی یک علامت صوتی ساده را بررسی می‌کنیم. هنگام صحبت، بیشینهٔ بسامد صوت ما در حدود ۴۰۰۰ هرتز است. اگر این علامت صوتی به صورت تابعی از زمان نمونه برداری شود می‌توان آن را به طور دقیق با استفاده از کد رقمی یک و صفر نشان داد. شکل ۱ نمایش ساده‌ای از چگونگی این عمل را با استفاده از روشی به نام «مدولاسیون کدی پالس» (PCM) نشان می‌دهد. بخش بسیار کوچکی از یک علامت صوتی در این شکل نشان داده شده‌است. چنان که ملاحظه می‌کنید از علامت صوتی در نقطه‌هایی نمونه برداری شده است. در هر زمان نمونه برداری، دامنه با یک کد در مبنای ۲ مشخص می‌شود (محور سمت راست) که بر اساس دامنهٔ نسبی که در گسترهٔ صفر تا ۷ نوشته

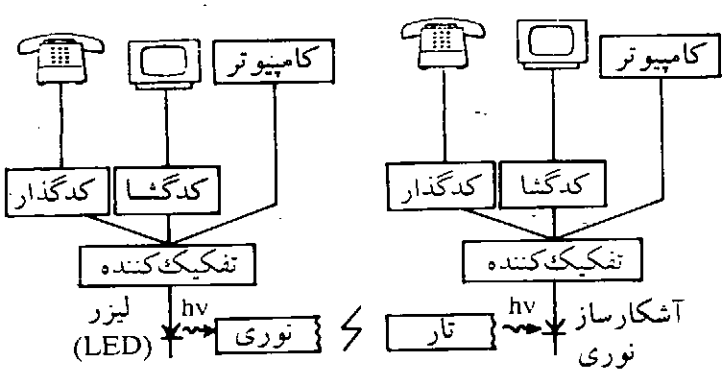


شکل ۱ ـ تکنیک مدولاسیون کدگذاری پالسی. دامنهٔ نسبی یک علامت قیاسی مانند صدا با یک آهنگ نمونه‌برداری ویژه، نمونه‌برداری می‌شود. علامت کدگذاری شدهٔ پالسی دودویی حاصل را می‌توان برای ایجاد علامت انتقالی به کار برد.

شده‌است (محور سمت چپ) به دست آمده‌است. لذا در این مثال، دامنهٔ نسبی ۱ با ۰۰۱، ۷ با ۱۱۱ و به همین ترتیب مشخص می‌شوند، علامت گذاری شدهٔ پالسی رقمی در قسمت پایین شکل نشان داده شده است. بنابراین علامت صدای شما را می‌توان با یک رشته ۰ و ۱ نشان داد. برای نمایش یک علامت صوتی به طور دقیق به صورت رقمی تقریباً ۶۴۰۰۰ بیت علامت کدگذاری شدهٔ پالسی در ثانیه لازم است. به بیان دیگر صدای شما در هنگام صحبت با یک رشته از ۶۴۰۰۰ صفر و یک بر ثانیه به طور دقیق نمایش داده می‌شود! هر صفر یا یک، یک «بیت» از اطلاعات است.

چرا یک دستگاه مخابراتی نوری می‌تواند اطلاعات رقمی خیلی بیشتری را نسبت به دستگاه‌های مخابراتی سنتی منتقل کند؟ زیرا آهنگ انتقال اطلاعات مستقیماً به بسامد علامتها بستگی دارد. گسترهٔ بسامد نور، بین 10^{14} تا 10^{15} هرتز است، در مقایسه با فرکانس امواج رادیویی که حدود 10^{6} هرتز و بسامد امواج میکروویو که 10^{10} - 10^{8} هرتز است. بنابراین، یک دستگاه انتقال که با فرکانس نور کار می‌کند نسبت به دستگاه‌هایی که با بسامدهای میکروویو رادیویی کار می‌کنند، به طور نظری می‌تواند با آهنگ بیشتری اطلاعات را منتقل کند. آهنگ انتقال رقمی بنا به تعریف تعداد بیتهایی است که در ثانیه منتقل می‌شود.

یک دستگاه سادهٔ مخابراتی راه دور نوری در شکل ۲ نشان داده شده است. اطلاعات منتقل شده می‌تواند به صورت علامتهای صوتی تلفن، علامتهای ویدئویی، یا داده‌های رقمی یک کامپیوتر باشد. علامتهای صوتی و ویدئویی به صورت یک رشتهٔ رقمی از صفر و یک کدگذاری می‌شوند. در واحد تسهیم کننده همهٔ این علامتها به صورت جریانی از داده‌های بسیار با یکدیگر مخلوط می‌شوند. برای سهولت فقط به هم پیوستن یا مخلوط شدن علامتهای صوتی را برای انتقال در نظر می‌گیریم. هر علامت صوتی به $10^{2} \times 6/4$ بیت بر ثانیه نیازمند است. اگر آهنگ داده‌های یک دستگاه یک گیگا بیت بر ثانیه ($10^{9} \times 1$ بیت/ثانیه) باشد تعداد کانالهای صوتی که می‌توانند با هم مخلوط شوند، تقریباً ۱۵۰۰۰ ($10^{9} \times 1$ تقسیم بر $10^{2} \times 6/4$) است. چگونه این کار عملاً انجام می‌شود؟ در فرستندهٔ امواج نوری هر «یک» متناظر با پالس الکتریکی و هر «صفر» متناظر با نبود پالس الکتریکی است. از این پالسهای الکتریکی برای



شکل ۲ – نمایش شماتیک یک دستگاه مخابرات راه دور نوری. همهٔ اطلاعات به صورت یک جریان دادهٔ دودویی از یک و صفر در تسهیم کننده با هم ترکیب می‌شوند. علامتها در تسهیم کننده برای خاموش و روشن کردن یک لیزر یا دیود نوری (LED) با یک آهنگ انتقال مشخص به کاربرده می‌شود. نوری که به این طریق تولید شده‌است (با hν نشان داده شده‌است) در یک تار نوری منتقل می‌شود که در پایان به یک آشکار ساز نور می‌رسد. علامت الکتریکی ایجاد شده در آشکارساز نوری به داخل تفکیک کننده فرستاده می‌شود تا علامتهای مختلف از یکدیگر جدا شده و به مقصد نهائی آنها گسیل شوند.

روشن و خاموش کردن یک چشمهٔ نور با سرعت زیاد استفاده می‌شود، خیلی شبیه به روشن و خاموش کردن چراغ به کمک یک کلید است. چشمهٔ نور می‌تواند یک لیزر یا یک دیود نوری (LED) باشد. بنابراین در فرستنده یک دستگاه مخابرات نوری، اطلاعات به صورت رشته‌ای از پالسهای الکتریکی حاوی داده‌های بسیار با یکدیگر مخلوط می‌شوند که از آنها برای روشن و خاموش کردن یک چشمهٔ نور با سرعت زیاد استفاده می‌شود.

همه اطلاعات کدگذاری شده دو رقمی جهت انتقال، به یک رشته زمانی از درخشهای نوری تبدیل می‌شوند.

قسمت حائز اهمیت بعدی در یک دستگاه مخابرات نوری محیط انتقال است. اگر چه اصولاً این درخشهای نورانی می‌توانند مشابه علامتهای رادیویی در جو آزاد منتقل شوند ولی ساخت یک دستگاه مخابراتی راه دور عملی به این شکل بسیار مشکل است. در عوض «نوربرهایی» از تارهای شیشه‌ای برای انتقال نور از فرستنده به قسمت سوم دستگاه یعنی گیرنده استفاده می‌شوند. در گیرنده، هر پالس نور به وسیلهٔ یک

آشکارساز نور آشکار می‌شود. به ازاء هر پالس نوری که به آشکار ساز می‌رسد یک پالس از جریان الکتریکی تولید میشود. به این ترتیب پالسهای نوری مجدداً به پالسهای الکتریکی تبدیل می‌شوند. گیرندهٔ دارای یک تسهیم کننده است که علامتها را از یکدیگر جدا کرده و آنها را به صوت، ویدئو، یا داده‌های کامپیوتری تبدیل می‌کند.

اگر چه این مطلب یک توصیف ابتدائی از چگونگی عمل یک دستگاه مخابرات نوری است، ولی اساس کار را نشان می‌دهد. اطلاعات به پالسهای نور تبدیل شده که به کمک یک تار نوری تا فاصله‌ای منتقل می‌شود و سپس این پالسها مجدداً به اطلاعات تبدیل می‌شود.

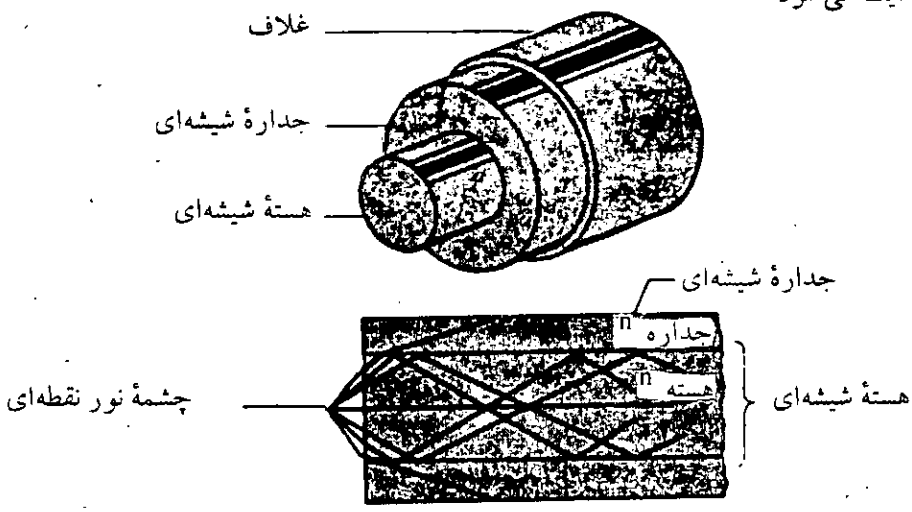
حال با تفصیل بیشتری به چگونگی استفاده از تارهای نوری برای انتقال اطلاعات به شکل پالسهای نوری می‌پردازیم. اولین خاصیت مهم یک تار، توانایی رساندن نور از یک مکان به مکان دیگر است. همان طور که در شکل ۳ برای یک نوربر نشان داده شده‌است. «بازتابش کلی» اساس کار یک تار نوری است. ساختار تار شامل یک هسته است که ضریب شکست آن از مادهٔ پیرامونش به نام «جداره» بیشتر است. یادآوری می‌شود که ضریب شکست یک محیط برابر نسبت سرعت نور در خلأ کامل به سرعت آن در همین محیط است. تارهای شیشه‌ای دارای پوشش پلاستیکی هستند تا شیشه را از سایش مکانیکی و دیگر اثرات محیطی محافظت کند. یک چشمهٔ نور مانند لیزر یا LED نزدیک هستهٔ تار قرار داده می‌شود. چشمهٔ نور یک «مخروط» نوری گسیل می‌کند که داخل هستهٔ تار می‌شود. برای رساندن این نور باید بازتاب کلی صورت بگیرد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است بعضی از زاویه‌های نور در یک مسیر زیگزاگ در تار هدایت می‌شوند، در حالی که بعضی دیگر هدایت نمی‌شوند. اگر زاویهٔ نور خارج شده از چشمهٔ نور خیلی بزرگ باشد، نور به جای بازتابش به داخل هسته به درون جداره شکست می‌یابد. اگر چه جزئیات هدایت نور خیلی پیچیده‌تر از این توصیف ساده است، ولی اصل بازتابش کلی برای درک چگونگی هدایت نور در هستهٔ تار نوری بسیار مفید است.

هر چند این نمونهٔ ساده از تارها برای انتقال نور در فاصله‌های کوتاه (حدود چند متر) بسیار مفیدند ولی برای انتقال نور در فاصله‌های دور مورد استفاده در دستگاه‌های مخابرات راه دور، تارهایی با ساختار پیچیده‌تر مورد نیاز است. حال چگونگی محاسبهٔ فاصلهٔ زمانی پالسهایی که می‌توانند داخل تار شوند را بررسی می‌کنیم. به خاطر داشته باشید که می‌خواهیم بیشترین تعداد پالس ممکن درثانیه را انتقال دهیم. شکل ۴ سه نوع مختلف تار را نشان می‌دهد. ابتدا به تصویر بالایی که یک تار ساده را نشان می‌دهد نگاه کنید. این تار «چند مدی» نامیده می‌شود زیرا که زاویه‌های زیادی از نور را می‌تواند هدایت کند و گفته می‌شود که ضریب شکسته «پله‌ای» دارد، به دلیل آنکه هستهٔ آن دارای ضریب شکست ثابتی است که توسط یک جداره با ضریب شکست کمتر پوشانده شده‌است. نمودار ضریب شکست نشان داده شده، مقدار ضریب شکست را به صورت تابعی از مکان در عرض برش تار می‌نمایاند. پالسی از نور به داخل تار فرستاده شده‌است. باریکه‌ها یا زاویه‌های بسیاری از نور با سرعت مساوی در هسته هدایت می‌شوند. ولی باریکه‌ای که در مرکز حرکت می‌کند دارای مسیری کوتاه‌تر از مسیر باریکه‌هایی با مسیر زیگزاگی است. در نتیجه پالس «باریکی» که در ابتدا به داخل تار فرستاده شده‌است بسته به مسافتهای متفاوتی که هر پرتو می‌پیماید بعد از طی چندین کیلومتر در داخل تار به طور قابل ملاحظه‌ای پهن می‌شود. این پدیده‌ای است که نزدیک کردن فاصلهٔ زمانی پالسهای ورودی را برای اینکه بتوان آنها را در خروجی بدون هم‌پوشانی آشکار ساخت، محدود می‌کند.

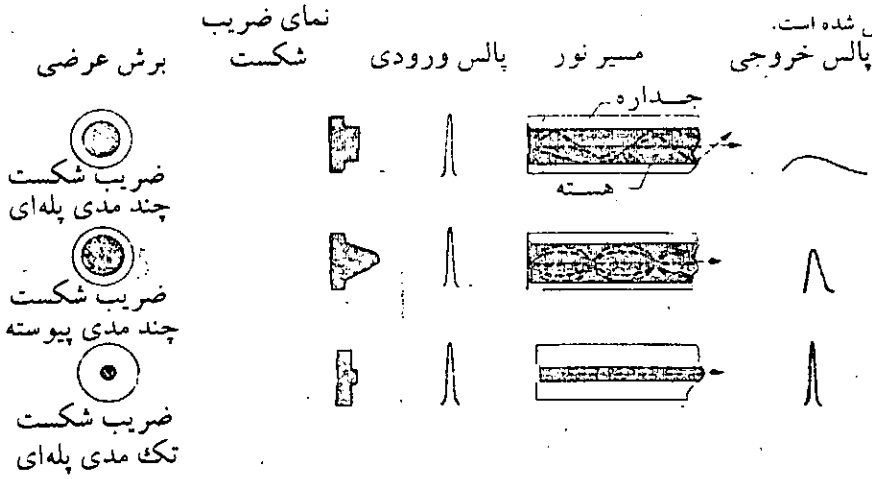
برای غلبه بر پهن‌شدگی پالس از دو نوع تار استفاده می‌شود. یکی از آنها در وسط شکل ۴ نشان داده شده است که تار چندمدی با ضریب شکست پیوسته نامیده می‌شود. توجه کنید که هستهٔ تار دارای ضریب شکستی است که به تدریج تغییر می‌کند. این نوع ضریب شکست باعث می‌شود که زاویه‌هایی از نور که در تار هدایت می‌شوند در طی مسیر خود در تار به طور تناوبی به آرامی به طرف داخل خم شوند. این کار چه فایده‌ای دارد؟ پرتویی که در مرکز حرکت می‌کند هنوز هم کوتاه‌ترین راه را طی می‌کند ولی این پرتو آرام‌تر از بقیه حرکت می‌کند، زیرا در قسمتی از تار منتشر می‌شود که دارای بیشترین ضریب شکست است و پرتویی که در مسیر تناوبی حرکت می‌کند بیشتر مسیرش را در محیطی با ضریب شکست کمتر طی می‌کند در نتیجه سرعت حرکتش بیشتر است! بنابراین میانگین سرعت در مسیرهای طولانی‌تر بیشتر است. با دقت بسیار زیاد در کنترل

● نور از طریق بازتابش کلی هدایت می‌شود

● جداره n < هسته n



شکل ۳–ساختار سادهٔ هدایت در یک محیط انتقال نوری. ضریب شکست هسته و جداره به ترتیب هسته ^{n} و جداره ^{n} مشخص شده است.



شکل ۴– انواع تار نوری

شکل دقیق تغییرات ضریب شکست در تار همهٔ زاویه‌های نور هدایت شده می‌توانند در زمانی تقریباً یکسان تار را طی کنند! در نتیجه این امر مقدار پهن شدگی پالس خروجی را کاهش داده و فاصله‌ای را که می‌توان پالسها را بدون هم پوشانی فرستاد افزایش می‌دهند. نوع سوم تار که در قسمت پایین شکل ۴ نشان داده شده است پهن شدگی مربوط به زاویه‌های متفاوت نور هدایت شونده را کاملاً از بین می‌برد. این تار «تک مدی» نامیده می‌شود و فقط نور را در روی محور منتقل می‌کند. این امر به وسیلهٔ تفاوت بسیار کم بین هسته و جداره، و کوچک بودن هسته به دست می‌آید. این نوع از تارها می‌توانند داده‌ها را با آهنگهای بیتی بسیار بالایی هدایت کنند.

اگر چه جزئیات هدایت نور و پهن‌شدگی پالس از این توصیف ساده بسیار پیچیده‌تر است ولی با این توصیف می‌توانید به چگونگی انتقال حجم وسیعی از داده‌ها به کمک تار پی ببرید. لیزرها یا LEDها متناظر با یک رشتهٔ مشخصی از یک‌ها و صفرها به سرعت روشن و خاموش می‌شوند. هر پالس به تنهایی در داخل تار منتقل می‌شود و در خروجی انتهائی تار، پالسهای نور رسیده آشکار می‌شوند. میزان پهن‌شدگی پالس نور در هنگام هدایت داخل تار در تعیین آهنگ ماکزیمم حجم اطلاعاتی که می‌توان منتقل کرد و هم‌چنین فاصله‌ای که می‌توان آنها را فرستاد نقش مهمی دارد.

دومین خاصیت مهم یک تار تضعیف نوری آنهاست. زیرا این واقعیت نیز تعیین می‌کند که تا چه فاصله‌ای می‌توان علامتها را با شدت کافی برای آشکار سازی منتقل کرد.

وقتی نور در یک محیط منتشر می‌شود کاملاً هدایت نمی‌شود و شدت علامت متناسب با مسافت کاهش می‌یابد. تضعیف نور منتشر شده در تار هم به علت جذب و هم به علت پراکندگی صورت می‌گیرد. به طور خیلی ساده می‌توان گفت که در جذب بخشی از شدت نور به محیط انتشار منتقل می‌شود به جای آنکه خود منتقل شود. در صورتی که پراکندگی نتیجه پخش یا شکست نور در جهتهای مختلف است. در نتیجه مقداری نور به جای انتقال در هسته، به اطراف پراکنده می‌شود و باعث کاهش شدت نور می‌شود. در تارهای شیشه‌ای که از شیشه‌های سیلیکاتی بسیار خالص با پراکندگی کم ساخته شده‌اند، مقدار پراکندگی و جذب در طول موجهای نوری در «نزدیک فروسرخ» بسیار کم است. این طول موجهافقط کمی بلندتر از طول موجهای طیف مرئی است. یاد آور می‌شویم که گسترهٔ نور مرئی از ۳۸۰ نانومتر (بنفش) تا ۷۰۰ نانومتر (قرمز) است. متداول‌ترین طول موج انتقال ۱۳۰۰ نانومتر (تقریبا با بسامد ۲×۱۰^{۱۴} هرتز) است. در تار شیشه‌ای سیلیکاتی تا فاصله یک کیلومتری بیشتر از ۹۵ درصد نور منتقل می شود. این شفافیت زیاد انتقال نور در فاصله‌های ۲۰ تا ۲۰۰ کیلومتری را امکان پذیر می‌سازد به طوری که برای آشکار سازی به وسیلهٔ یک آشکارساز نوری شدت آن کافی باشد.

از آنجاکه این مقاله به طور خیلی ساده و کیفی به بررسی مخابرات نوری و محیطهای انتقال در تارهای نوری پرداخته است افراد علاقمند می‌توانند با استفاده از مراجع متعدد قابل دسترس به بررسی عمیق‌تر این شاخهٔ نوظهور تکنولوژی بپردازند. تعدادی از مراجع پیشرفته در انتهای این مقاله معرفی شده‌اند.

هم‌اکنون جستجو برای بهره‌برداری از قابلیتهای بسامد دستگاه‌های مخابراتی که بر اساس نور کار می‌کنند ادامه دارد، و پیشرفتهای خیلی زیادی هم حاصل شده‌است. در سالهای ۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ دستگاه‌های مخابراتی راه دور نصب شده‌اند که با ۱/۷ گیگابیت بر ثانیه ($۱/۷ \times ۱۰^{۹} \frac{\text{بیت}}{\text{ثانیه}}$) کار می‌کنند که متناظربا تقریباً ۲۵۰۰۰ صوت است که در تاری به اندازهٔ تقریبی موی انسان منتقل می‌شوند! تازه این مقدار چندین مرتبه پایین‌تر از قابلیت نظری تارهاست. در سالهای آینده استفادهٔ از این تارهاکه در دستگاه‌های مخابراتی نوری به کار برده می‌شوند برای انتقال صوت، ویدئو و داده‌های کامپیوتری در یک کشور و در جهان و نیز از خانه‌ها و محلهای کار و به آنها گسترش می‌یابد.

REFERENCES FOR FURTHER READINGS Optical Fiber Telecommunications, S. E. Miller and A. Chynoweth (eds.), academic Press, 1979, 705 pp.

J. E. Midwinter optical Fibers for Transmission, John Wiley & Sons, Inc. 1979, 410 pp.

A. W. Snyder and J. D. Love, Optical Waveguide Theory, Chapman and Hall.1983, 734 pp.

Optical Fiber Communications, Vol. 1, Fiber Fabrication, T. Li, (ed.) Academic Press, 1985, 363 pp.

D. J. Morris, Pulse Code Formats for Fiber Optical Data Communication, Marcel Decker Inc., 1983, 217 pp.

زیرنویسها:

1- Suzanne R. Nagel

AT&T Bell Laboratories

۲- دانشجوی دکترای فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

واژگان ترجمه:

light guide	نوربر
binary	دودویی
analogue	قیاسی
multiplexer	تسهیم کننده
core	هسته
cladding	جداره

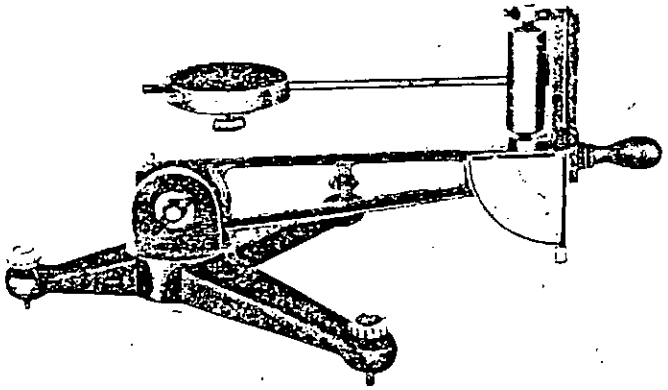
مرجع ترجمه:

Halliday & Resnick (1990) Fundamentals of physics, Essay 17.

آزمایش قانون شتابها در آونگ (پاندول)

مقدمه: برای اولین بار نظر تیزبین و کنجکاو گالیله متوجه نوسان چلچراغ کلیسا شد که اکنون آونگ مرکب نامیده می‌شود، و دریافت که زمان همه نوسانهای آن با هم برابر است، این مطلب او را بر آن داشت که در مورد زمان نوسانهای آونگ به‌طور کلی تحقیقاتی انجام دهد.

ترجمه و تنظیم: حسنعلی وحید



در فیزیک هر جسمی که بتواند حول محوری نوسان کند آونگ نامیده می‌شود.

آونگ بر دو قسم است: ۱ ـ آونگ ساده (آونگ ریاضی) ۲ ـ آونگ مرکب (آونگ فیزیکی)

آونگ ساده متشکل از یک نقطه مادی است که به انتهای نخ بدون وزنی آویزان شده است. چون عملاً نمی‌توان چنین آونگی تهیه کرد در فیزیک برای آزمایشهای مربوط به آونگ ساده جسم سنگین کوچکی را به انتهای نخ کم وزنی متصل نموده آنرا به عنوان آونگ ساده به کار می‌برند. واضح است که هر آونگی غیر از آونگ ساده را آونگ مرکب می‌نامند.

قوانین آونگ ساده: چون منظور در این آزمایش، تحقیق قانون شتابهاست فقط به ذکر نام قوانین آونگ ساده اکتفا می‌کنیم:

۱ ـ قانون همزمانی نوسانهای کم‌دامنه (انحراف کمتر از ۶°)

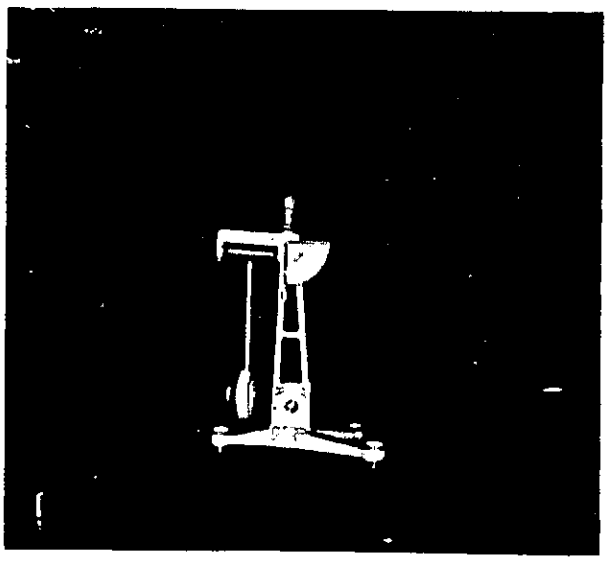
۲ ـ قانون عدم تأثیر جنس و جرم گلوله آونگ در زمان نوسان آن

۳ ـ قانون طولها

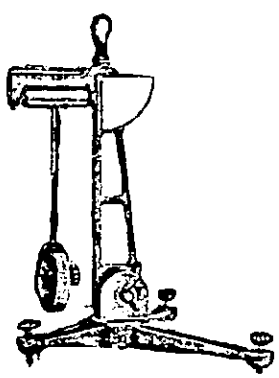
۴ ـ قانون شتابها

قانون اوّل و چهارم برای آونگ ساده و آونگ مرکب تفاوتی نمی‌کند و می‌توان به جای آونگ ساده از آونگ مرکب استفاده کرد، سابقاً برای آزمایش قانون چهارم گلوله آونگ را از جنس آهن انتخاب کرده و برای تغییر شتاب جاذبه، در زیر آن آهنربای الکتریکی قرار می‌دادند. ولی این مطلب در

محاسبات این اشکال را ایجاد می‌کند که میدان جاذبه آهربایی در تمام طول نوسان آونگ یکنواخت نیست، برای رفع این اِشکال از دستگاه‌هایی که نوع ساده آن مطابق شکل (۲ - الف) است استفاده می‌کنند، البته صنعتگران کشور ما نیز به راحتی می‌توانند آنرا بسازند.



الف

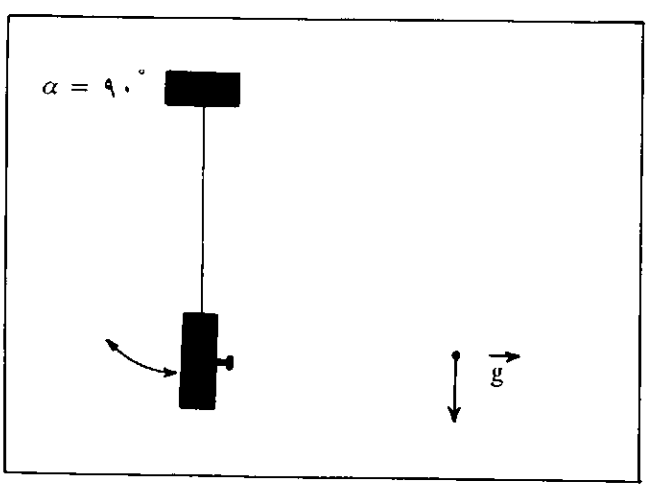


ب

شکل ۲

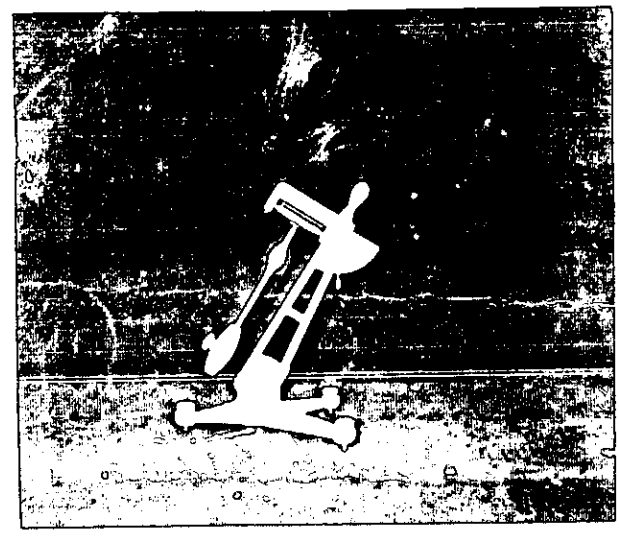
مطابق شکل ۲ - ب پیچهای A ، B_1، B_2، و B_3 برای میزان کردن دستگاه است تا محور نوسان آونگ کاملاً افقی و خود آونگ به‌طور قائم قرار گیرد. شاغول کوچکی که روی صفحهٔ C آویزان است باید 90° را نشان دهد در این حال نیروی مؤثر هنگام نوسان (صرف‌نظر از مقاومت هوا) نیروی جاذبه زمین (با شتاب g) است.

روش آزمایش: ۱ - پس از میزان کردن آونگ، مطابق آنچه که ذکر شد، آن راکمتر از 6° منحرف و رها می‌کنند (شکل ۳) و مدت زمان ۲۰ نوسان آنرا با یک کرونومتر دقیق اندازه گیری می‌کنند و از تقسیم این مدت بر تعداد نوسان مقدار عددی T را که پریود آونک است تعیین می‌کنند (تعداد ۲۰ نوسان برای آن است که از خطای آزمایش کاسته شود)

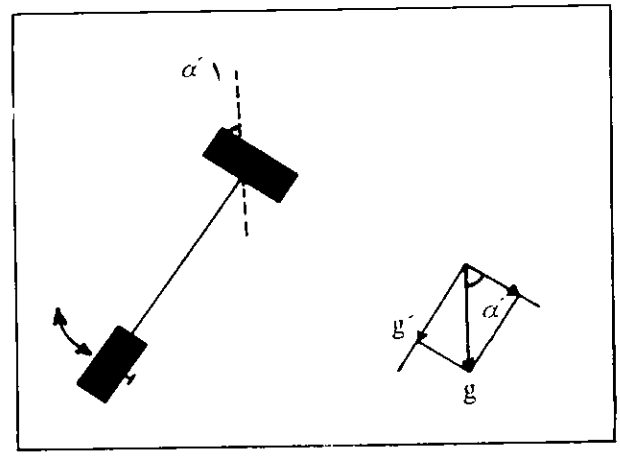


شکل ۳

۲ - پیچ A را اندکی باز کرده میلهٔ D را می‌چرخانند تا در وضعیتی مانند شکل ۴ قرار گیرد و پیچ را محکم می‌کنند. در این حالت همنهٔ بردار $\vec{g}$ در راستای میلهٔ آونگ $\vec{g}$ است که مقدار آن با توجه به شکل ۵ برابر است با $g' = g\sin\alpha$

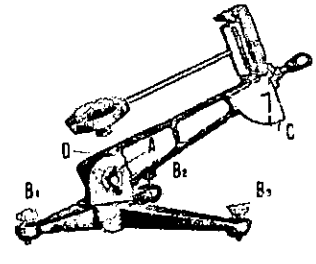


الف



ب

شکل ۴



شکل ۵

۳ - مجدداً آونگ را کمی منحرف و رها می‌سازند تا آزادانه نوسان کند و مانند حالت پیش‌زمان نوسان آنرا به وسیلهٔ کرونومتر اندازه‌گیری میکنند و سپس پریود آونگ را تعیین می‌کنند (T')

۴ - با داشتن g، g'، T، α'، و T' رابطه قانون چهارم آونگ را تحقیق کرده و نتیجه را در جدول ۱ یادداشت می‌کنند.

α	g	T	α'	$\sin\alpha'$	T'	$g' = g\sin\alpha$	$\frac{\sqrt{T}}{\sqrt{T'}}$	$\frac{\sqrt{g}}{\sqrt{g'}}$

جدول ۱

محاسبه شتاب جاذبه زمین: آزمایش نشان می‌دهد که طبق شکل ۶ طول آونگ ساده همزمان با این آونگ تقریباً برابر است با $l = a - b$ بنابراین با اندازه‌گیری طولهای a ، b و تعیین مقدار l از روی فرمول کلی آونگ

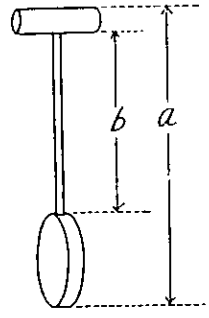
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

می‌توان مقدار g را طبق رابطه

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

محاسبه کرد و نتایج را در جدول ۲ نوشت:

a	b	l	T	g



شکل ۶

مراجع:

۱ - دستور کار Model of Horizontal Pendulum

از کارخانه Kagaku Kyocisha (K.K.S.) ژاپن

۲ - کتابهای درسی دبیرستان (مجموعهٔ علوم و چهارم)

آنچه معلمان باید در مورد رادُن بدانند

نوشتهٔ: کلیفوردبتیس و کارل‌نراک‌مورتُن[1]
ترجمهٔ: دکتر منیژه رهبر

نگرانی قابل‌ملاحظه‌ای در مورد اثرات بالقوهٔ گاز رادیوآکتیو رادن بر سلامت جامعه به وجود آمده است. بحث در این‌باره در میان سراسیمگی، خونسردی، اطلاعات نادرست و حسن‌نیتها ادامه دارد. چرا رادُن این همه بحث‌انگیز شده است؟ و چرا معلّمان فیزیک باید از وجوه مختلف این بحث آگاه باشند؟ در این مقاله کوشش خواهیم کرد تا برخی سوءتفاهمها در مورد رادُن را برطرف کنیم و آنچه را که معلمان فیزیک باید در این‌باره بدانند تا بتوانند معلومات خود را به دانش‌آموزان منتقل کنند و به شهروندان کمک کنند تا تصمیمهای عاقلانه‌ای در مورد رادُن در خانه‌هایشان و در جامعه بگیرند به آنها بیاموزیم.

تاریخچهٔ مختصر رادُن

رادُن یک گاز رادیوآکتیو طبیعی است که طی صدها سال سبب مرگ هزاران نفر شده است. این تلفات هنگامی رخ می‌دهد که افراد، هوایی را که حاوی تراکم قابل‌ملاحظه‌ای از گاز رادن و دختران آن است استنشاق کنند، مانند هوای معادن زیرزمینی و کانالهایی که این گاز در آنها متراکم شده است. منطقهٔ شمال وین در مرز اتریش ــ چکسلواکی طی صدها سال برای استخراج سنگ معدنهای مختلف حفاری شده است. از اینجا بود که کوری‌ها سنگ معدن را بدست آوردند ــ یک تن پسماندهٔ سنگ معدن اورانیوم، هدیهٔ دولت اتریش از کارخانهٔ دولتی در یواخیمستال، بوهمیا[2] ــ این سنگ برای کشف عنصر رادیوم بکار رفت، در آن زمان، یعنی اواخر سالهای دههٔ ۱۸۹۰، در معدن سنت یواخیمستال سنگ معدن را برای اورانیوم آن فراوری می‌کردند که برای لعاب دادن ظروف سفالی مورداستفاده قرار می‌گرفت. ماری‌کوری می‌دانست که سنگ معدن اورانیوم، پیچیلاند، از خودِ اورانیوم رادیوآکتیوتر است، بنابراین، از دریافت پسماندهٔ فرایند استخراج معدن سنت یواخیمستال کاملاً خوشحال بود، زیرا به این وسیله از دردسر استخراج اورانیوم از سنگ معدن با روشهای متداول شیمیایی رهایی می‌یافت، آنچه در انبوه پسمانده به‌جا می‌ماند، رادیوم و فرزند مشهور رادیوم یعنی رادن و دختران آن بود.

از سالهای دههٔ ۱۵۰۰ می‌دانستند که معدن سنت یواخیمستال و سایر معادن کوه‌های آلپ در بوهم حاوی چیزی است که سبب «برگ‌کرانکهایت»[3] (بیماری معدن یا

کوهستان) می‌شود. هیچکس، حتی کوریها[4] نمی‌توانستند حدس بزنند که یکی از محصولات واپاشی رادیوآکتیو اورانیوم گازی است سنگین، بی‌مزه، بی‌بو و بیرنگ که آنهم رادیوآکتیو است. رادیوم ــ امیناسیون، نامی که ارنست‌دورن[5] کاشف رادن در سال ۱۹۰۰ به آن داد، در آخر جای خود را در ستون گازهای بی‌اثر در زیرزنون یافت. ارنست راذرفورد نشان داد که این گاز حاصل واپاشی رادیوم است و بصورت یک گاز در سال ۱۹۰۸ جدا شد، که در آن زمان نیترون[6] نامیده می‌شد. نام امروزی آن یعنی رادن ــ برای اولین بار در اوایل دههٔ ۱۹۲۰ مورداستفاده قرار گرفت.

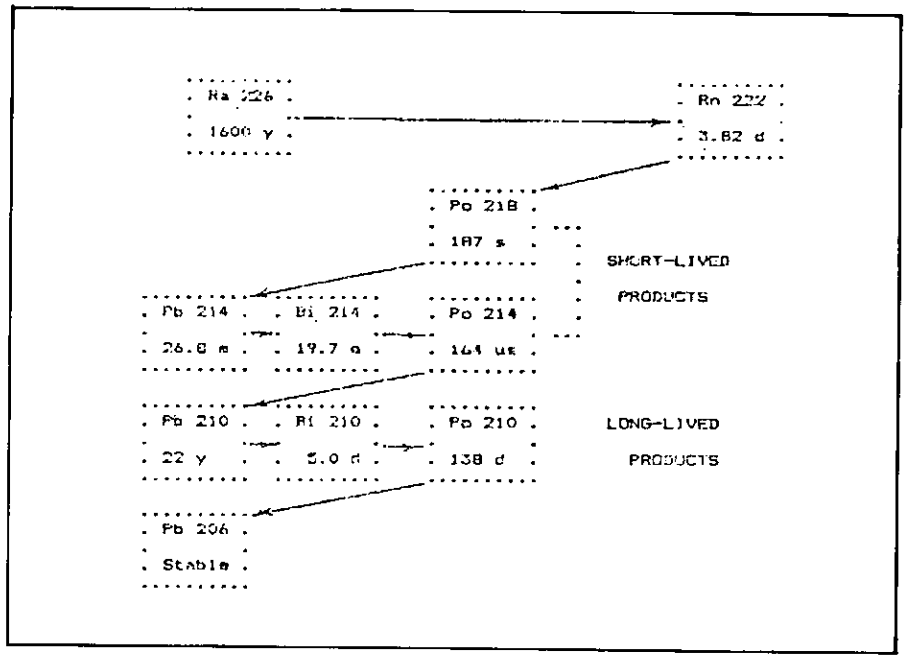
در ژوئن ۱۹۰۳ کوریها به لندن سفر کردند و در آنجا پی‌یر دربارهٔ رادیوآکتیویته در انستیتوی سلطنتی صحبت کرد. راذرفورد در این سخنرانی حضور داشت و مشاهده کرد که پی‌یر تا چه اندازه ضعیف به‌نظر می‌رسد. پی‌یر کوری در طی سخنرانی خود به یکی از آثار فیزیولوژیکی «پرتوهای رادیوم» اشاره کرد. دستهای پی‌یر و ماری‌کوری هر دو در اثر کار با رادیوم دارای پوستی ترک خورده و سرخ بودند، ولی معلوم نبود که ضعف جسمانی ظاهری پی‌یر در اثر پرتوگیری داخلی به وجود آمده است. می‌دانیم که کوریها، راذرفورد و دیگران پرتوگیری تابش را چندان جدی نمی‌گرفتند و سوختگیهایی را که در اثر تابش در بدن آنها بوجود آمده بود یک ناراحتی عادی تلقی می‌کردند. حتی هنگامی که یک آلمانی به نام آقای گیزل[7] که در ساخت مواد رادیوآکتیو دست داشته نشان داد که نفس وی می‌تواند یک الکتروسکوپ را تخلیه کند، هیچگونه حالت هشدار در افرادی که درگیر پژوهش با تابش بودند، به وجود نیامد. (این مطلب را به عنوان تأییدی بر وجود گاز رادیوآکتیو درنظر گرفتند!)

بنابراین، روشن است که در آغاز قرن حاضر، دانشمندان می‌دانستند که بافت انسان می‌تواند در اثر تابش آسیب ببیند. از این‌رو این نکته منطقی به نظر می‌آید که اگر سلولهای سالم در اثر تابش آسیب می‌بینند، پس سلولهای سرطانی نیز ممکن است در اثر تابش کشته شوند. بنابراین، صنعت نسبتاً بزرگی بر مبنای اثرات سعادت‌بخش و درمانی رادیوم و رادُن به وجود آمد. قسمتهایی از این صنعت دارای اهداف مفید بودند و توسط انجمن پزشکی امریکا، حمایت شدند، از جمله سوزنهای رادیوم که هنوز به کار می‌روند (بندرت) و مستقیماً وارد غدّه یا بافت آسیب‌دیده از سرطان می‌شوند. بهرحال، بسیاری از دستگاه‌ها و خدماتی که عرضه شدند، زیانی بیش از سود داشتند. آب آشامیدنی حاوی رادیوم از این جمله بود. گرچه حتی در اوایل سال ۱۹۲۴ می‌دانستند که رادن سبب سرطان ریه می‌شود، ولی بعضی از این خدمات هنوز هم عرضه می‌شدند (مانند استنشاق جوّ حاوی مقدار زیادی گاز رادن در معادن قدیمی غرب ایالات متحدهٔ امریکا)، خوشبختانه، آب آشامیدنی حاوی رادیوم و رادن و استحمام در چشمه‌های آب معدنی حاوی رادیوم دیگر متداول نیست. با افزایش شواهد دال بر ناایمن بودن پرتوگیری تابش در مورد بعضی افرادی که در اثر آشامیدن آب حاوی رادیوم و تنفس جوّ حاوی رادن آسیب دیده بودند، تبلیغات بسیار شد. ظهور بمب اتمی و عصر هسته‌ای وقتی معلوم شد که رادن می‌تواند موجب سرطان ریه شود، بر نگرانی در مورد ایمنی معدنچیان اورانیوم افزود. گسترش طبیعی این نگرانیها سبب مطالعه اثرات رادن بر افراد جامعه شد.

رادن تهدیدی بر سلامتی

با افزایش فعالیّت در استخراج معادن اورانیوم در قسمت غربی کوه‌های راکی در اواخر دههٔ ۱۹۴۰ و درک فزاینده از تابش طبیعی محیط، تصویری به منصّه ظهور رسید که نشان می‌داد رادن مسؤول قسمت اعظم دُز دریافتی انسان از طبیعت است. در سال ۱۹۵۰ روشن شده بود که جذب دُزهای بالا در ریه می‌تواند به علت استنشاق اعقاب رادیوآکتیو رادن باشد. بنابراین سؤال این بود که اگر رادن و دختران کوتاه عمر آن می‌توانند سبب سرطان ریه شوند و قسمت اعظم تابشی را تشکیل می‌دهند که بشر دریافت می‌کند، آیا اقداماتی جهت حفاظت افراد اجتماع ضروری است؟

مواد رادیوآکتیو طبیعی همه‌جا در اطراف ما وجود دارند، اورانیوم در صخره‌ها و خاک در سراسر جهان موجود است، گرانیت که در زیر قسمت اعظم نیوانگلند، ایالات اتلانتیک میانی، منطقهٔ دریاچه‌های بزرگ، کالیفرنیا، کوههای راکی و آپالاشی قرار دارد، حاوی مقدار قابل‌ملاحظه‌ای اورانیوم است. بعضی از سنگهای رستی و فسفاتی دارای اورانیوم هستند و نواحی یوتا، نیومکزیکو، کلرادو، و ویومینگ دارای صنایع اورانیوم تجارتی هستند. نیمه‌عمر اورانیوم ۲۳۸ در حدود ۴/۵ بیلیون سال است به طوری که مقدار اورانیوم در خاک در ناحیهٔ معین عملاً ثابت می‌ماند. با واپاشی اورانیوم، محصولات رادیوآکتیو با نیمه‌عمر کوتاه‌تر حاصل می‌شوند. این مواد در نهایت انرژی خود را در اثر واپاشی تا رسیدن به عنصر سرب که پایدار است، به محیط می‌دهند. قسمت اعظم زنجیرهٔ واپاشی اورانیوم با شروع از رادیوم ۲۲۶ که دارای نیمه‌عمر ۱۶۰۰ سال است در شکل ۱ نشان داده شده است.



واپاشی کند و بی‌امان رادیوم سبب ایجاد رادن و اعقاب آن می‌شود. اورانیوم و پنج دختر اولیهٔ آن جامدند و در خاک باقی می‌مانند ولی دختر پنجم ــ رادیوم ــ به رادن ۲۲۲ واپاشیده می‌شود که گازی بی‌بو، بی‌طعم و بیمزه است. این گاز فضای بین خاک، سنگدانه‌ها را پر می‌کند. رادن دارای نیمه عمر ۳/۸ روز است بنابراین مانند هر گاز می‌تواند پخش شود تا اینکه به پولونیم ۲۱۸ واپاشیده شود. رادن در جهت گرادیان فشار پخش می‌شود و به سهولت در مقابل تغییرات دما و فشار عکس‌العمل نشان می‌دهد. اگر این گاز در جسم متخلخل باشد، در آن نفوذ کرده و می‌تواند وارد جوّ شود. اگر این گاز وارد فضای آزاد (محیط خارج) شود توسط هوا رقیق شده و غلظت آن کم می‌شود. این مطلب در فضاهای بسته مانند زیرزمین خانه‌ها صادق نیست. اگر تهویه کافی نباشد، مانند خانه‌هایی که در آنها رفاه در درجهٔ اول اهمیت قرار دارد، تراکم رادُن می‌تواند به مقدار قابل ملاحظه‌ای برسد. رادن می‌تواند با تراوش از شکافهای موجود در دیوار و کف زیرزمینها به داخل فضاهای بسته نفوذ کند. همچنین می‌تواند در امتداد یا از محل اتصال دیوارها به کف، مجاری فاضل آب یا لوله‌های آب و یا در امتداد سیم‌کشیهای برق به خارج نفوذ کند. به طور خلاصه، اگر پی‌ها و زیرزمینها به خوبی عایق‌بندی نشده باشند، نفوذ گاز رادن به فضاهای بسته مشکل‌تر می‌شود. البته، دیوارها و کف زیرزمینها حاوی مقداری اورانیوم هستند، بنابراین آنها نیز به ورود رادن به فضاهای بسته کمک می‌کنند.

استنشاق گاز رادن با تراکمهایی که معمولاً در خانه‌های امریکا یافت می‌شود چندان خطرناک نیست. نیمه عمر آن ۳/۸ روز و گازی بی‌اثر است، بنابراین به دیواره‌های مسیر تنفس و یا عمق ریه نمی‌چسبد. احتمال این که رادن در داخل ریه تجزیه شود بسیار کم است، زیرا گاز در اثر عمل تنفس به ریه‌ها داخل و سپس از آن خارج می‌شود. اگر رادن برای مثال در اتاق یک خانه تجزیه شود، چهار دختر کوتاه عمر آن به سرعت آزاد می‌شوند (رک. شکل ۱). این دختران عبارتند از پولونیم ۲۱۸، سرب ۲۱۴، بیسموت ۲۱۴ و پولونیم ۲۱۴ که فلزات سنگین بسیار واکنش‌پذیری هستند و به سرعت در هوا دارای بار الکتریکی می‌شوند. این عناصر به سرعت به اشیاء موجود در اتاق مانند مبلمان و یا در مورد هوای اتاق به دود، بخار آب یا گرد وغبار ــ که به طور کلی اثروسل خوانده می‌شوند ــ می‌چسبند. این ذرات رادیو اکتیو می‌توانند به داخل مسیر تنفس کشیده شده و به مخاطی که این مسیر را می‌پوشاند بچسبند، و یا ممکن است به عمق ریه‌ها رانده شوند. آنها انرژی خود را با گسیل آلفا، بتا و یا تابش گاما در فرایند واپاشی، به بافت اطراف می‌دهند.

سرطان و ریهٔ انسان

وقایعی که شرح آنها رفت، ممکن است مسؤول سالانه حداکثر ۳۰۰۰۰ و حداقل ۵۰۰۰ مرگ ناشی از سرطان ریه در ایالات متحدهٔ امریکا باشند. چون معلوم شده است که رادن و اعقاب آن می‌توانند موجب سرطان در انسان شوند. ما چگونگی برهم کنش با ریهٔ انسان و ایجاد سرطان را بررسی می‌کنیم.

اندازه‌گیریهای انجام شده در یک نمونهٔ خانه در ایالت نیویورک نشان می‌دهد که اثروسلها ممکن است ابعادی تا حدود ۳×۱۰^{-۷} متر [۰/۳ میکرون] داشته باشند، ولی قطر حداکثر آنها معمولاً در حدود $۲/۵\times۱۰^{-۸}$ متر است. هرچه ذره کوچکتر باشد، شانس رسیدن آن به اعماق ریه بیشتر است. کلیهٔ مسیرهای منتهی به ریه با مخاطی پوشیده شده‌اند که در اثر عمل مژکها (برآمدگیهای مویین بر روی بعضی سلولها که برای کمک به تمیز کردن مسیر هوا از مواد خارجی طرح شده‌اند) به طرف بالا حرکت می‌کنند. علاوه بر این سلولها، سلولهای گوبلت مواد مخاط نیز در غشاء زیر مخاط منزل دارند. نوع سومی از سلول نیز بنام سلول پایه، زیر این دو نوع سلول قرار دارد. فرض کنید یک اتم دختر رادن خود را به یک اثروسل متصل کرده و این اثروسل به نوبهٔ خود به مخاط چسبیده است. اگر مخاط اتم رادیو اکتیو را براند (خارج شده یا بلعیده شود) هیچ آسیبی به بدن نمی‌رسد. بهرحال، درصورت واپاشی اتم، ذرات آلفا می‌توانند در مخاط نفوذ کرده و با سلولهای گوبلت و یا مژکها برهم کنش کنند. بُرد ذرات آلفا بسیار کوتاه است (۲ تا ۳ سانتیمتر در هوا). ولی این ذرات می‌توانند به سلولهای پایه برسند و این سلولها را می‌توان «هدف» (سلولهای حساس) درنظر گرفت.

عمق سلولهای پایه در دیوارهٔ ریه متغیر است، ولی نمونهٔ عمق در حدود ۶×۱۰^{-۵} متر است. ذرهٔ آلفای حاصل از Po-۲۱۴ می‌تواند در بافت انسان به این عمق برسد. در اوایل این قرن دو محقق فرانسوی دریافتند که سلولهایی دارای بیشترین حساسیت نسبت به تابش هستند که به سرعت تغییر می‌کنند. این مشاهده همراه با یک قانون کلی دیگر، قانون برگونی و تریبوندو[۸] خوانده می‌شود:

اعضایی که شامل سلولهای تقسیم شونده هستند، در مقابل آنهایی که تقسیم نمی‌شوند و یا بندرت تقسیم می‌شوند، به تابش حساس هستند. سلولهایی که خود را تکرار می‌کنند به تابش حساسند.

از آنجا که ذرات آلفا در تولید یونش در ناحیه‌ای که در آن حرکت می‌کنند کارآیی بسیار دارند، تعجب‌آور نیست که این ذرات به سرعت با سلولهای تقسیم شونده یا تکرار کننده مانند سلولهای پایه در مسیر تنفسی بر هم کنش کنند.

در حالی که می‌دانیم تابشها سبب ایجاد سرطان می‌شوند، ولی آنها یکی از چند دلیل شناخته شدهٔ ایجاد سرطان هستند.

ما مکانیسم دقیق تولید سرطان را نمی‌دانیم، ولی می‌توانیم یک سناریوی ممکن به صورت زیر را برای آن در نظر بگیریم.

یک سلول عادی دارای پروتئینهای خاصی است که کار آنها تعیین هویت سلول برای سلولهای دیگری است که در اطراف آن قرار دارند. اگر این پروتئین به طور صحیح عمل نکند، سلولهای دیگر نمی‌توانند آنرا شناسایی کنند و فرایندهای عادی تقسیم سلول را انجام دهند.

به طور خلاصه، اگر سلول توسط سلولهای اطراف تشخیص داده نشود، ممکن است اجازهٔ تکثیر یابد، چیزی که سلول عادی نمی‌تواند انجام دهد. برای انتقال این اطلاعات غلط به نسلهای بعدی سلول و رشد سرطان، محل آسیب سلول باید DNA (دی اُکسی ریبونوکلئیک اسید) باشد که تکثیر سلول را کنترل می‌کند. علت هر چه باشد، تبدیل سلول اولیه باید به گونه‌ای باشد که سلول قابلیت تقسیم سلولی بی حد را به سلولهای دختر و آنها نیز آن را به دختران خود منتقل کنند.

عوارض کوتاه مدت آسیب ریوی به علت رادن و دختران آن وجود ندارد. فقط یک سلول، یا چند سلول در هر زمان آسیب می‌بینند و بعضی از آنها به طور موفقیت‌آمیزی ترمیم می‌شوند. به طوری که ممکن است برای سالهای طولانی متوجه سرطان ریه نشویم. سرطان ریه، مانند بسیاری از سرطانهای دیگر، دارای دوران نهان است که می‌تواند حداقل ۲۰ سال باشد. فاصله زمانی طولانی بین آسیب ناشی از تابش و تشخیص آسیب سرطانی مشکل ایجاد ارتباط بین علت و معلول را افزایش می‌دهد، مخصوصاً، چون اغلب افراد در معرض بیش از یک عامل ایجاد سرطان مانند، سیگار کشیدن و آلودگی هوا قرار می‌گیرند. حتی اگر بیشتر سلولهای تقسیم شونده در یک غدهٔ در حال رشد دوام بیاورند (یک واقعهٔ غیرمحتمل)، نسلهای بسیاری از سلول ضروری است تا آسیب وارده به اندازه کافی بزرگ شود تا سبب عوارضی گردند که به طور کلینیکی تشخیص داده شوند. پوکین[۹] مثال یک سلول با حجم ۱۰۰ میکرومترمکعب ($۱۰^{-۱۶}m^۳$) را در نظر گرفته است. اگر فرض کنیم که دوران نهان ۲۵ سال باشد، این مدت کمتر از یک زمان دو برابر شدن در سال است، بنابراین بدیهی است که اغلب سلولهای یک کشت تقسیم شونده دوام نمی‌آورند. سلولهایی که دارای بیشترین حساسیت نسبت به تابش هستند دوره‌های سلولی در حدود روز دارند نه در حدود ماه.

یکاهای آشکارسازی و اندازه‌گیری رادن

اگر رادُن در نواحی بسته مانند منازل و محل کار جمع شود، باید روشی را برای اندازه‌گیری رادُن موجود در آن فضا ابداع کنیم.

همچنین باید تعیین کنیم که آیا سطح ایمنی وجود دارد که در کمتر از آن انجام اقدامات ایمنی ضروری نباشد. اگر عملیات تصحیح

کننده‌ای لازم باشد، چه راه‌هایی بر روی صاحب فضای موردنظر باز است؟ اول باید در مورد یکاهای اندازه‌گیری رادُن بحث کنیم و سپس ارتباط مقدار معینی از رادن در هوا را با محصولات دختر آن که در ریهٔ انسان بجا می‌ماند، در نظر بگیریم.

گاز رادن در هوا برحسب pCi/l (پیکوکوری در لیتر) و Bq/m^3 (بکرل بر متر مکعب) اندازه‌گیری می‌شود. دیدیم که رسوب محصولات دختر رادن در ریهٔ انسان سبب بیشترین نگرانی می‌شود. بنابراین، قدم بعدی بدست آوردن رابطه‌ای جهت تبدیل رادُن درهوا به محصولات دختر رادُن در ریه‌ها و مسیر عبور هواست.

اغلب اقدامات ایمنی در مقابل تابش در رابطه با گاز رادن ناشی از صنعت اورانیوم است. مخصوصاً در موارد استخراج قبل از تهویهٔ کافی معادن اورانیوم، کارگران معدن در معرض غلظت بالای گاز رادُن قرار داشتند. برای ایجاد مقررات ایمنی، روشهای اندازه‌گیری غلظت باید ابداع شود و سطوح ایمن پرتوگیری تعیین شود. بنابراین سطح کار[10] (WL) به عنوان یکای اندازه‌گیری و پرتوگیری محصولات دختر رادُن تعیین شد.

۱ سطح کار ــ مقداری از دختران رادُن است که واپاشی آنها سبب گسیل $۱/۳ \times ۱۰^۵ eV$ (الکترون ولت) انرژی گردد.

متأسفانه، هیچیک از یکاهایی که بدین گونه تعریف شده‌اند، نمی‌توانند به احساسی برای آنچه عملاً اندازه‌گیری می‌شود تبدیل بشوند. از طرف دیگر، WL معیاری از انرژی گسیل شده از چشمه است، ولی زمان نیز باید در آن دخالت داده شود، چون هرچه پرتوگیری در زمان طولانی‌تری انجام شود، مقدار انرژی به جا گذاشته شده بیشتر است. یکای پرتوگیری جمع شونده «سطح کار ماه» است.

۱ سطح کار ماه[11] = ۱۷۰ ساعت پرتوگیری WL است.

اغلب ما باید تا آن اندازه به این یکاها که به پرتوگیری کارگران معدن اورانیوم مربوط می‌شود، توجه کنیم که مبنایی برای برقراری سطوح ایمن پرتوگیری در سایر موارد باشد، برای مثال برای پرتوگیری در خانه یا محل کار.

رادُن و شخص صاحبخانه

رادن تا چه اندازه صاحبخانهٔ متوسط، یعنی فردی که در یک خانه برای مدت طولانی زندگی می‌کند، را در معرض خطر قرار می‌دهد؟ ایجاد تفاهم بین سازمانهای مختلف درگیر در ایمنی افراد اجتماع در این مورد مشکل است. سازمان حفاظت محیط زیست[12] (EPA) ایالات متحدهٔ امریکا مقدار ۴ pCi/l (۰/۰۲ WL) را به عنوان سطحی از رادُن در نظر گرفته‌اند که در بالاتر از آن عملیات تصحیحی توصیه می‌شود. وزارت انرژی ایالات متحده مقدار ۵ pCi/l (۰/۰۲۵ WL) را توصیه کرده است. در حالی که سوئد و کانادا توصیه‌های دیگری دارند. احتمال دارد که برخی سازمانها رهیافت محتاطانه‌تری را ترجیح دهند ولی احساس کنند که توصیه‌های جاری هدفهای واقعبینانه‌تری هستند.

فرض کنید یک نمونهٔ خانوادهٔ امریکایی در خانه‌ای زندگی کرده‌اند که سطح متوسط رادُن آن ۴ pCi/l است. برمبنای پرتوگیری در طول عمر، این مطلب برای بعضی معادل افزایش خطر مرگ افراد غیرسیگاری از سرطان ریه با ضریب ۳ است. مقایسهٔ دیگری که گاهی به کار می‌رود این است که تنفس ۲۰ pCi/l همان اندازه خطر سرطان ریه به وجود می‌آورد که کشیدن یک بسته سیگار در روز. مقایسه‌هایی از این نوع به منظور کمک به افراد متوسط است تا ایده‌ای در مورد خطر به دست آورند و خطاهای بسیاری در محاسبات وجود دارد. سبب آن است که مشاهدهٔ سرطان ریه در تعداد کم کارگران معدن کاملاً با پرتوگیری درازمدت رادن با تراکم نسبتاً کم در مناطق مسکونی متفاوت است. متغیرهایی مانند گرد و غبار، دود، سیگار کشیدن، آهنگ تنفس و سن در هنگام پرتوگیری مسئله را دشوارتر می‌سازد. از آنجا که بهترین اطلاعات ما در مورد رادن و سرطان ریه حاصل از اطلاعات مربوط به کارگران معادن است، نگرانی منطقی در برون‌یابی این اطلاعات به افراد اجتماع وجود دارد.

شق دیگر، بررسی خطر نسبی پرتوگیری رادن که اخیراً توسط کیت. جی. شیاگر[13] در مجلهٔ انجمن فیزیک بهداشت[14] منتشر شده است، از طول عمر چشمداشتی به عنوان راهی جهت فراهم آوردن دورنمایی بر خطر استفاده کرده است. او چنین خاطرنشان ساخته است:

برای پرتوگیری رادن مساوی در فضای بسته، خطر سرطان ریه برای افرادی که هرگز سیگار نکشیده‌اند تقریباً $\frac{۱}{۴}$ خطر برای افراد جامعه به طور متوسط و $\frac{۱}{۱۰}$ خطر برای سیگاریهاست. افزایش عمر چشمداشتی برای تقلیل هر pCi/l رادن و برای هر سالی که پرتوگیری انجام نشود تقریباً ۰/۱ روز برای غیرسیگاریها و ۱ روز برای سیگاریهاست. از آنجا که خطرات یکنواخت نیستند، بدیهی است که توازن هزینه‌ها و سودها برای تمام افراد یکسان نیست.

برای مثال، یک غیرسیگاری که سطح رادُن در خانهٔ خود را به pCi/l ۲ تقلیل دهد و این سطح را برای ده سال حفظ کند عمر چشمداشتی خود را روز $۲ = ۰/۱ \times ۱۰ \times ۲$ افزایش می‌دهد.

از آنچه گفته شد نتیجه می‌گیریم که نگرانی در مورد رادن در منازل بی‌مورد است. کلیهٔ

اطلاعات در دسترس دال بر این است که سیگار کشیدن بسیار خطرناکتر از در معرض تابش رادن در منازل قرار گرفتن است. به طور خلاصه، برای احتراز از مرگ در اثر سرطان ریه، اجتناب از دود سیگار بسیار مهمتر از تقلیل پرتوگیری رادن است. چون خطاها بسیارند، بسیاری از مردم می‌خواهند خانه‌های خود را برای برآورد سطح رادن بررسی کنند و چون معلمین فیزیک معمولاً در این مورد آمادگی ندارند، ساده‌ترین دستورالعمل را بررسی می‌کنیم.

چگونه می‌توان یک خانه را برای وجود رادن آزمود؟

این که یک خانهٔ شخصی حاوی مقداری کمتر از «سطح کنش» EPA یعنی ۴pCi/l است را می‌توان فقط با اندازه‌گیری تعیین کرد. برای این آزمون روشهای چندی وجود دارد که همگی آنها احتیاج به وسایلی دارند که معمولاً در آزمایشگاه‌های دبیرستانها وجود ندارند. ساده‌ترین روش تعیین تقریبی سطح رادن در یک خانه به قرار زیر است.

آزمون زغال فعال ارزان و انجام آن آسان است و به صاحبخانه به سرعت ایده‌ای در این مورد که آیا آزمونهای بیشتر ضروری است، می‌دهد. آشکار ساز زغال فعال یک دستگاه غیرفعال است که قبل از قرار گرفتن در اتاقی که تعیین سطح رادُن آن مورد نظر است، دربسته باقی می‌ماند. یک پردهٔ توری نازک با شبکهٔ ریز که بر روی زغال قرار دارد باعث می‌شود که گاز رادُن همراه هوای محیط وارد قوطی شده و جذب دانه‌های زغال شود. پس از زمان معین، قوطی مجدداً بسته شده و به آزمایشگاهی فرستاده می‌شود که قابلیت بررسی گاز رادن را دارد. روش معمولی استفاده از یک طیف‌سنج سنتیلاسیون برای اندازه‌گیری پرتوهای گامای گسیل شده از سرب ۲۱۴ و بیسموت ۲۱۴ است (رک شکل ۱). چون تعداد پرتوهای گسیل شده متناسب با مقدار رادنی است که در دورهٔ پرتوگیری[15] وارد قوطی شده است، عملیات تصحیح کننده باید برای متغیرهایی چون زمینه، زمان نمونه برداری، رطوبت، فاصلهٔ زمانی بین نمونه‌برداری و تحلیل انجام گیرد. بهرحال، اگر تحلیل نسبتاً پیچیده به طور صحیح انجام شود، صاحبخانه می‌تواند بگوید که آیا اندازه‌گیری بیشتر ضروری است یا خیر؟ سایر انواع آشکارساز رادن شامل آشکارسازهایی با ردآلفا و دیدبانهای (مانیتورهای) گاز رادن به طور پیوسته می‌باشند. هرچند روشهای اخیر ممکن است صحیح‌تر باشند ولی هزینهٔ آنها نیز بیشتر است.

اگر آزمون رادُن نشان دهد که مسئله‌ای وجود دارد. استفاده از کمک افراد متخصص توصیه می‌شود. بدیهی است نباید فقط برمبنای یک اندازه‌گیری وارد عمل شد. عملیات پرهزینه را نباید بدون توصیهٔ افراد متخصص آغاز کرد زیرا شرایط مختلف باید مورد به مورد بررسی شوند. اندازه‌گیری رادُن در منازل توجه افراد درست و نادرست را به خود جلب کرده است. بنابراین، احتیاط در این مورد توصیه می‌شود. لافاوُر[16] و دیگران کتابهایی نوشته‌اند که توصیه‌هایی را برای آزمودن و عملیات تصحیحی دربردارند.

به طورکلی، صنعت خانه‌سازی پاسخگوی رفاه و اقتصاد در ساختمان خانه‌های امریکایی است، بنابراین تهویهٔ مرتب هوای محیط از اولویت بالایی برخوردار است. تهویهٔ هوا به خروج رادن و کم کردن غلظت آن کمک می‌کند، ولی با روشهای گرم و سرد کردن فعلی ساختمانها این روش کارآیی چندانی ندارد. درصورتی که سطح رادُن آشکار شده بالاتر از مقدار ۴pCi/l باشد، قدم اول بهبود جریان هوا در ناحیهٔ مسئله‌ساز است. در مرحلهٔ بعد، می‌توان کلیهٔ راه‌های ورود رادُن را مسدود کرد. این راه‌ها عبارتند از ترکهای موجود در کفهای سیمانی و دیوارهای زیرزمینها و نقاطی که لوله‌ها و کابلهای الکتریکی از تیغه‌های سیمانی یا لوله‌ها عبور می‌کنند. اگر با وجود این، مسئله ازبین نرود، کمک تخصصی توصیه می‌شود.

در این مقاله ما تاریخچهٔ رادن را بررسی کردیم، مسائل بالقوه اندازه‌گیری گاز رادن را دیدیم و چگونگی آزمون محیط خانه برای تعیین تراکم رادُن را شرح دادیم. چون بحث درمورد میزان خطر ناشی از پرتوگیری رادن ادامه دارد. معلمین فیزیک باید با مطالعه مقالات در این مورد به افزایش سطح معلومات خود بپردازند.

واژه‌نامهٔ رادُن

دُز جذب شده ــ مقدار واقعی انرژی که تابش یونساز در بافت زیست شناختی به جا می‌گذارد.

راد (Rad): مقداری از تابش که انرژی را با آهنگ 1×10^{-2} J/kg در هر جذب کننده باقی بگذارد. یکای بین‌المللی دُز جذب شده گری[17] (Gy) است.

$$1Gy = 1J/kg = 100rad$$

آکتیویته ــ معیاری از تعداد اتمهایی که در یک نمونه رادیواکتیو در یک ثانیه فروپاشیده می‌شوند. یکای آن بکرل (Bq) است که متناظر با یک فروپاشی در ثانیه می‌باشد.

ذره آلفا ــ ذره‌ای که در هنگام واپاشی رادیواکتیو یک عنصر سنگین مانند اورانیوم، رادیوم یا رادُن خارج می‌شود. از دو نوترون و دو پروتون تشکیل شده است.

زمینه یا تابش زمینه ــ تابش در محیط زیست ناشی از واپاشی پرتوزای مواد رادیوآکتیو و تابشهایی که از فضا می‌آیند

(تابش کیهانی و غیره)

بکرل ــ یکای بین‌المللی رادیواکتیویته متناظر با یک واپاشی در ثانیه.

ذرهٔ بتا ــ ذره‌ای که هنگام واپاشی پرتوزای بعضی هسته‌های رادیوآکتیو گسیل می‌شود. ذره بتا ازنظر فیزیکی یک الکترون است.

سرطان (و لغات وابسته) ــ هریک از لااقل ۱۰۰ نوع رشد بدخیم (یعنی بدون کنترل) مواد زیست‌شناختی، غده‌های سرطانی دارای رشد سریع و بدون کنترل هستند، برخلاف جایگزینی مرتب سلولها در بافتهای زیست‌شناختی، معمولاً برحسب نوع هدف طبقه‌بندی می‌شوند. مانند سرطان ریه، سرطان معده و غیره.

سرطان زا[18] ــ آنچه باعث سرطان شود.

کوری ــ یکای رادیواکتیویته که علی‌رغم جایگزینی آن توسط یکای بکرل هنوز به کار می‌رود. یک کوری مقداری از مادهٔ رادیواکتیو است که $۳/۷ \times ۱۰^{۱۰}$ فروپاشی در ثانیه بدون توجه به نوع ماده انجام دهد.

یک کوری = $۳/۷ \times ۱۰^{۱۰}$ بکرل است.

دختر ــ اولاد اتمهای رادیوآکتیو را دختر می‌نامند. برای مثال، رادُن دختر رادیوم است (حاصل واپاشی رادیوم).

زنجیرهٔ واپاشی ــ سلسله اتمهای رادیوآکتیو که درنتیجهٔ واپاشی متوالی یک نوکلاید رادیوآکتیو اولیهٔ تولید شده و هنگامی ختم می‌شود که یک شکل پایدار اتم حاصل شود.

دی. ان. ای (DNA) در اکسی ریبونوکلئیک اسید. دو رشتهٔ مارپیچی از مواد ارثی در کروموزم که از واحدهای پروتئینی به نام اسید آمینه ساخته شده‌اند.

دُز معادل ــ تابشها آثار متفاوتی بر روی بافت زیست‌شناختی دارند. بنابراین، اثر زیست شناختی تابش آلفا با تابش گاما و پرتوهای X متفاوت است. یکای سیورت یک یکای بین‌المللی است که پرتوگیری را به دُز جذب شده ارتباط می‌دهد. به طوری که تأثیر زیست‌شناختی تابشها به حساب آورده شوند. تابش طبیعی زمینه دُزی درحدود ۲ میلی سیورت را به جمعیت متوسط در امریکا می‌رساند.

در معرض تابش قرار گرفتن ــ درمواردی به کار می‌رود که دزی از تابش دریافت شود یا شخصی در معرض پرتو قرار گیرد.

دُز تابش ــ مقدار تابش در محیط یک عضو که به علت پراکندگی و تراگسیل بدون جذب همهٔ آن جذب نمی‌شود. یکای آن رِم (rem) بود که به صورت تاریخی درآمده است. رجوع شود به دُز معادل.

پرتو گاما ــ یک موج الکترومغناطیسی که حامل انرژی حاصل از یک فرایند واپاشی رادیوآکتیو است. معمولاً هستهٔ حاصل از واپاشی رادیوآکتیو در حالت پایه نیست و انرژی خود را با تابش پرتوهای گاما تشکیل می‌کند.

یون ــ یک ذرهٔ با بار الکتریکی که هنگامی تشکیل می‌شود که یک یا چند الکترون از اتم کنده شوند. تابش یونساز: نوعی از تابش است که در هنگام عبور از ماده تولید یون کند.

دوران نهان ــ فاصلهٔ زمانی (برحسب ماه یا سال) بین تغییر سلولی که بالقوه سبب سرطان شود و به وجود آمدن سرطان قابل آشکارسازی.

مادهٔ رادیواکتیو طبیعی ــ عناصری که به طور طبیعی در پوستهٔ زمین یافت می‌شوند و رادیواکتیواند. این مواد قسمتی از تابش طبیعی محیط را به وجود می‌آورند، قسمت دیگر ناشی از پرتوهای کیهانی است.

اولاد ــ اتمهای موجود در یک زنجیرهٔ واپاشی که ناشی از واپاشی یک نوکلاید معین هستند. برای مثال، چهار دختر رادن که دارای نیمه عمر کوتاه هستند را می‌توان اولاد کوتاه عمر رادُن نامید.

آر. بی. ای (RBE) ــ تأثیر نسبی زیست‌شناختی. مقایسهٔ بین چند نوع تابش یونساز و ذرات که آنها را برحسب قابلیت ایجاد آسیب زیست شناختی طبق‌بندی می‌کند. برای مثال، یک گری (دز جذب شده) نوترون برابر ۱۰ گری پرتو X با انرژی ۱MeV است.

سیورت[19] ــ یکای بین‌المللی دز معادل

رَد ــ مسیر تابش یونساز در بافت و مواد دیگر به هر شکل

زیرنویسها:

۱ ــ Clifford Bettis and Carl Throckmorton
۲ ــ Joachimsthal, Bohemia
۳ ــ Bergkrankheit
۴ ــ Pierre Urie and Marie Curie
۵ ــ Ernest Dorn
۶ ــ Nitron
۷ ــ Herr Giesel
۸ ــ Law of Bergonie and Tribondeau
۹ ــ Pochin
۱۰ ــ Working Level
۱۱ ــ 1 Working Level Month
۱۲ ــ Environmental protection Agency
۱۳ ــ Keith. J. Schiager
۱۴ ــ Health Physics Society Newsletter
۱۵ ــ Exposure Period
۱۶ ــ Lafavore
۱۷ ــ Gray
۱۸ ــ Carcinogenic
۱۷ ــ Sievert

مرجع:

The Physics Teacher Sep. 91 P.338 - 343

مجله و خوانندگان

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

برگهٔ نامه

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

متن نامه

امضاء فرستنده

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

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

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

تهران- دانشجوی گرامی، آقای مهران برازنده- پیشنهادهای شما در شماره‌های آینده مورد توجه قرار خواهد گرفت.

شیراز- دانش‌آموز عزیز، آقای اشکان ظام پور- نشانی مجلهٔ مورد نظر شما
(the Physics Teacher):
American Association of Physics Teachers, 5112 Berwyn Road, College park, Md 20740-4100, U.S.A

باختران- دانش‌آموز عزیز، آقای شهرام بیگلری- مسائل مکانیکی را که مرقوم داشته‌اید به وسیلهٔ برخی از کتابهای فارسی و عموماً کتابهای خارجی پاسخ داده شده است. پرداختن به این گونه مسائل مطابق با هدفهای رشد آموزش فیزیک نیست.

تبریز- دانش‌آموز عزیز، آقای فرزاد سهندی- باید توجه کنید که فاصله کانونی آینهٔ کروی تقریباً برابر نصف شعاع آینه آنست.

نمین- دانش‌آموز عزیز، خانم لیلا محمدزاده- مثلث AOB قائم‌الزاویه نیست. لطفاً در مورد اشتباه‌های کتابهای شیمی و بینش اسلامی مستقیماً با گروه‌های مربوطه مکاتبه کنید.

نهاوند- دانشجوی گرامی، آقای علی سیف- علاقمندی شما به علوم فیزیک و شیمی مورد تقدیر است. در فیزیک، کمیتهای مکان و زمان به دور از مفاهیم فلسفی آنها بررسی می‌شود.

کوهدشت- دانش‌آموز عزیز، آقای کامران آزادبخت- اشکال شما وارد نیست.

زرین‌شهر- دانش‌آموز عزیز، آقای ایرج عسگری- ارسال پاسخ به این گونه سؤالها به صورت پستی برای مجله امکان‌پذیر نیست. به این گونه سؤالها در کتابهای دانشگاهی پاسخ داده شده است.

بیرجند- دبیر محترم، جناب آقای حسین شفیع‌پور- در آموزش، توجّه به مفهوم یک واژه در درجه اول اهمیت است، و گاه ممکن است مفهوم آن واژه با معنای لفظی آن تناسب کمتری داشته باشد.

بیجار- دانش‌آموز عزیز، آقای محمدنبی زندیه- دقت در بیان کتاب درسی مشکل شما را برطرف خواهد کرد.

آستانهٔ اشرفیه- آقای ارسلان حجت‌انصاری و زنجان- آقای حسین مراد خانی و خوی- آقای حجت مولائی- همان طور که بدون شناختن الفبای فارسی و داشتن اطلاع کافی از ادبیات نمی‌توان به عنوان مثال دربارهٔ شعر حافظ اظهار نظر کرد، بحث و بررسی علوم ریاضی و فیزیک بدون اطلاع از مبانی آنها نامعقول و غیرمنطقی است. باید توجه داشت که انجام پژوهشهای علمی بدون پایه و مایهٔ علمی غیرممکن است. امیدواریم پس از طی تحصیلات دانشگاهی، مشکلات شما از لحاظ مباحث علمی برطرف شود.

تبریز- خانم نیلوفر رئیس‌حسنی، و آقای داود سینامهر- متأسفانه پاسخ دادن به مطالب مطروحه در نامهٔ شما مطابق هدفهای مجلهٔ رشد فیزیک نیست. لطفاً مطالب درسی را با دبیران خود درمیان بگذارید.

آقای مرتضی کربلائیلو- برای تهیه مجلات پیشین می‌توانید با آدرس زیر مکاتبه کنید: تهران، جادهٔ آبعلی، خیابان سازمان آب، بیست متری خورشید، مرکز توزیع انتشارات کمک آموزشی، کدپستی ۱۶۵۹۸.

ضمناً سعی می‌شود که در مورد مطلب درخواستی شما مقاله‌ای مناسب چاپ و منتشر شود.

تویسرکان- آقای مهدی دباغی- تعریف چگالی سطحی الکتریکی با نامگذاری مواد از نظر الکتریکی ارتباطی ندارد.

ارومیه- آقای بهنام نبی‌زاده- جوابهای نهائی مسائل کتابهای درسی دانش‌آموزان متوسط و ضعیف یاری دهنده و راهگشاست.

مشهد- آقای شهرام خجسته- مطلب مورد نظر شما در کتاب درسی خالی از اشکال است.

بابل- آقای مازیار شریف‌زاده- پاسخ کامل به مسأله مورد نظر شما در مجلات شمارهٔ ۲ ص ۳۷ و شمارهٔ ۶ـ۷ به تفصیل نوشته شده است.

اصفهان- آقای ابراهیم قنبری- پاسخ به سئوالات کتابهای دانشگاهی مطابق با اهداف مجلهٔ رشد فیزیک نیست.

همدان- دانش‌آموز عزیز، آقای اسعد احمدی- مشهد- دانش‌آموز عزیز، آقای علیرضا جباری- با تشکر از حسن توجه شما، ایرادهایی که مطرح کرده بودید اصلاح خواهد شد.

الشتر- دانش‌آموز عزیز، آقای مرتضی کوشکی- خواهشمند است دربارهٔ نظرات علمی خود با مراکز دانشگاهی تماس بگیرید.

تهران- دانش‌آموز عزیز، آقای علی رضاخانی- رشته‌های کارشناسی مهندسی هسته‌ای یا فیزیک اتمی در ایران وجود ندارد. شما می‌توانید وارد رشتهٔ فیزیک بشوید و بعد

گرایش فیزیک هسته‌ای را اختیار کنید. در دورهٔ کارشناسی ارشد می‌توانید در زمینهٔ فیزیک هسته‌ای تحصیل کنید. این دوره در حال حاضر در دانشگاه صنعتی شریف، دانشکدهٔ فیزیک و دانشگاه صنعتی امیرکبیر وجود دارد. دانشجویان با درجهٔ کارشناسی فیزیک یا مهندسی می‌توانند در این رشته ادامهٔ تحصیل بدهند.

قم- دانش‌آموز عزیز، آقای حسین سنگ‌تراشان- مواردی که ذکر کرده‌اید مورد توجه قرار خواهد گرفت.

خوی- دانش‌آموز عزیز، آقای محمدرضا مرحمتی- فرمولهایی که ارسال داشته‌اید در برخی از کتابها یافت می‌شود.

گیلان- کارشناس محترم، جناب آقای رسول شمشادی-

۱- کتابهای معلم فیزیک برای سال اول تا چهارم نظام فعلی وجود ندارد

۲- کتابهای دورهٔ تربیت معلم را احتمالاً می‌توان از چاپ و نشر ایران تهیه کرد.

۳- کتابهای زیر می‌توانند مفید واقع شوند:

فنون تدریس تألیف آقای امان ا... صفوی (کتاب تربیت معلم)

ارزشیابی از آموخته‌های دانش‌آموزان تألیف آقای دکتر پاشا شریفی

کاربرد روان‌شناسی در تدریس ترجمهٔ خانم دکتر کدیور

بندر ترکمن- دانش‌آموز عزیز، آقای یوسف آرمیده- حتی نیوتون که قانون گرانش عمومی را کشف کرد هیچگونه اظهار نظری در مورد ماهیت نیروی گرانشی نکرده است. اصولاً ماهیت پدیده‌های فیزیکی از مسائلی است که احتمالاً بشر هرگز قادر به درک کامل آن نخواهد شد و علم اصولاً مربوط به رابطهٔ بین ظاهر امور است. بنابراین شما نیز بهتر است به جای صرف وقت در زمینه‌ای که احتمالاً به جایی نخواهد رسید، اصول بنیادی علم را فراگیرید.

مشهد- دانش‌آموز عزیز، آقای غلامرضا حسامی- نور در میدان گرانش خم می‌شود ولی میزان خمش آن بسیار اندک است و برای اندازه‌گیری آن باید از روشهای بسیار دقیق استفاده کرد. میزان انحراف نور در مجاورت خورشید به واسطهٔ جرم بسیار آن، محسوس است ولی برای اندازه‌گیری تغییر انرژی در میدان زمین همان طور که قبلاً گفته شد باید ازروشهای بسیار دقیق (اثر موسباوئر) استفاده کرد.

تهران- جناب آقای محسن آقایی- علاقمندی شما به آموزش فیزیک مورد تقدیر است امیدواریم که مشکلات مطرح شده در نامه شما برطرف شوند.

گلپایگان- دانش‌آموز عزیز، خانم فرزانهٔ شجاعی- بهترین راه برای پاسخ‌یابی مطرح کردن پرسشهای خود با دبیران محترم است و نیز مطالعهٔ کتابهای فیزیکی کمک درسی از جمله فیزیک پیش دانشگاهی ترجمهٔ دکتر گرمان، ... می‌تواند بسیار مؤثر باشد.

خرم‌آباد- دانش‌آموز عزیز، خانم منصورهٔ صداقتی- تصویر حقیقی، تصویری است که می‌توان آن را هم روی پرده انداخت، و هم مستقیماً مشاهده کرد.

بهبهان- دبیر محترم فیزیک (امضا، محفوظ) برای تعلیم و تعلم درست باید شرایط و اوضاع مناسب فراهم باشد. اگر در امتحانات و سال تحصیلی شرایط اقلیمی مورد نظر قرار گیرد مطلوب‌تر خواهد بود.

تهران- دانش‌آموز عزیز، آقای سعید آذشیر- بهتر است پس از آموختن مقدمات اولیهٔ علوم و تکمیل تحصیلات دانشگاهی اقدام به نظریه‌پردازی فرمایید.

محلات- دانش‌آموز عزیز، آقای علی آشوری- ساختن وسیله‌های قابل توجه بدون داشتن اطلاعات اولیهٔ علمی محال است. سعی کنید مبادی اولیهٔ علمی را فراگیرید.

تهران- آقای امین جمالی- لطفاً مشکلات درسی خود دربارهٔ کتاب فیزیک سال سوم را کتباً ارسال فرمایید.

تهران- دانشجوی گرامی، آقای حمید نصری- امیدواریم پیشنهاد شما در مورد تشکیل آزمایشگاه‌های فیزیک با امکانات استودیوی تلویزیونی و تشریح وسائل روزمرهٔ زندگی مورد توجه قرار گیرد.

فیروزآباد- دانش‌آموز عزیز، خانم اکرم شکراللهی- لطفاً منظور خود را واضح و روشن با توضیحات کافی بیان کنید.

باختران- دانش آموز عزیز- آقای منصور کرمی- شکل پاسخ سوال مذکور ساده است. لطفاً برای رسم آن به دبیر محترم خود مراجعه کنید.

تهران- دانش‌آموز عزیز- آقای سیدک حسینی سراجه- علاقمندی شما به مطالب فیزیک قابل تقدیر است. در تألیف کتابهای جدید فیزیک نظرات شما مورد توجه قرار خواهد گرفت.

کرج- دانش‌آموز عزیز، آقای هومن صفایی- دفتر مجلهٔ رشد فیزیک معمولاً پاسخ نامه‌های خوانندگان را در مجله

چاپ می‌کند. سؤالهای علمی خود را می‌توانید با دبیر محترم خود نیز درمیان بگذارید. علاقمندی شما به علم فیزیک شایان تقدیر است. روش استروبوسکوپی در کتاب فیزیک سال چهارم ریاضی به تفصیل شرح داده شده است.

فومن- دبیر محترم فیزیک، جناب آقای طاهر عباسی- در نظام جدید، سعی شده است که نکات مورد نظر جناب عالی رعایت شود.

زرین‌شهر- دانش‌آموز عزیز، آقای علیرضا صفاییان- علاقمندی شما در تهیهٔ مقاله‌های علمی بسیار قابل تقدیر است. اما باید توجه داشت که تهیهٔ این گونه مقاله‌ها بدون داشتن اطلاعات اولیه پر ثمر نخواهد بود. امیدواریم پس از تحصیلات دانشگاهی در رشتهٔ علمی مورد علاقهٔ خود در این راه بذل همت کنید.

اهواز- دانشجوی گرامی، آقای مهدی ذخیره- لطفاً منظور خود را با توضیح بیشتر برای مجله ارسال دارید. علاقمندی شما به مطالب فیزیک قابل تقدیر است.

آمل- دانش‌آموز عزیز، آقای عبدالعلی آشفته- دقت شما در شماره‌گذاری مسائل کتاب درسی قابل تقدیر است.

مشهد- دانشجوی گرامی، خانم روشنک صادقی‌زاده- ۱- برای دریافت مجلات رشد می‌توانید به نشانی «تهران- جادهٔ آبعلی- خیابان سازمان آب- بیست متری خورشید- دفتر توزیع انتشارات کمک آموزشی- کد پستی ۱۶۵۹۸» مکاتبه کنید. ۲- برای اطلاع از محل و تاریخ و شرایط شرکت در کنفرانس فیزیک می‌توانید به نشانی «تهران- خیابان خالد اسلامبولی، شمارهٔ ۸۵، مرکز نشر دانشگاهی، دبیرخانهٔ موقت انجمن فیزیک»، مکاتبه کنید. ۳- لطفاً مقالات ترجمه شدهٔ خود را به همراه اصل یا فتوکپی متن آنها به «تهران- صندوق پستی ۳۶۳-۱۵۸۵۵- گروه فیزیک» ارسال فرمایید. ضمناً ارسال مقاله به خوانندگان برای ترجمه متأسفانه مقدور نمی‌باشد. ۴- آدرس مجله:

The Physics Teacher:

American Association of physics Teachers, 5112 Berwyn Road, College park, MD 20 740-4100, U.S.A.

ضمناً تهیهٔ مجلهٔ فوق از طریق این گروه مقدور نمی‌باشد.

تهران- خانم اکرم‌السادات پاک‌نیت- لطفاً با نشانی اشتراک مجله تماس بگیرید.

اخبار علمی

چندی پیش از سوی رسانه‌های گروهی خبری انتشار یافت که یک دانش‌آموز ایرانی در مسابقات جهانی اخترشناسی و مقاله‌نویسی در میان ۲۷۰۰۰ نفر برنده شناخته شده است و دانشگاه آریزونا از وی دعوت به همکاری کرده است.

انجمن فیزیک ایران نامهٔ سرگشاده‌ای به دفتر مجله ارسال کرده است که در آن با استدلال روشنی نشان داده است که خبر مذکور حقیقت نداشته و جعلی است.

اصلاح اشتباه

ضمن عرض پوزش خواهشمند است اشتباه‌های مجله شمارهٔ ۳۳ را اصلاح فرمایید.

نشانی	عبارت درست
صفحهٔ ۴۱ ستون اول سطر چهاردهم	$\frac{۳}{۰+۲۷۳} = \frac{۴}{\theta_{۲}+۲۷۳}$
صفحه ۴۳ ستون دوم سطر اول	$F = ۲F\cos\theta = ۲k_{۰}(۲l - l_{۰})\frac{x}{l}$
صفحه ۴۳ ستون دوم سطر دوم	$F = ۲k_{۰}(۲l - l_{۰})\frac{\sqrt{l^{۲}-(l_{۰}/۲)^{۲}}}{l} =$

مسایل دهمین المپیاد بین‌المللی فیزیک سال ۱۹۷۷

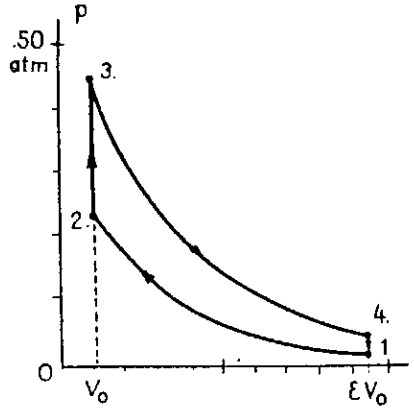
هرادک کرالوف – چکسلواکی

نوشتهٔ پروفسور کونفالوی
ترجمهٔ دکتر منیژه رهبر

مسئله ۱ – نسبت تراکم یک موتور احتراق داخلی چهار هنگامی $\varepsilon = 9/5$ است. موتور، هوا و سوخت گازی را در دمای $27^{\circ}C$ با حجم V_0 و فشار $1atm = 100kPa$ می‌مکد. به‌دنبال این عمل فرآیند تراکم بی‌دررو از نقطهٔ ۱ به نقطهٔ ۲ در شکل ۵۰ صورت می‌گیرد. مخلوط منفجر می‌شود (۲-۳)، فشار دو برابر شده و پیستون به سمت خارج رانده می‌شود (۳-۴)، گاز به‌طور بی‌دررو تا حجم $9/5\ V_0$ منبسط می‌شود. دریچه گاز خروجی باز می‌شود و فشار به مقدار اولیهٔ ۱ جوّ برمی‌گردد (نسبت تراکم، نسبت بزرگترین به کوچکترین حجم سیلندر و γ خارج قسمت گرماهای ویژه است).

الف) فشار و دمای حالات ۱، ۲، ۳ و ۴ را تعیین کنید.

ب) کارآیی گرمایی چرخه رابدست آورید.



شکل ۵۰

حل - برای فرآیندهای بی‌دررو

$$PV^{\gamma} = cte$$

برای بدست آوردن رابطه‌ای برای دما، معادلهٔ حالت را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$PV = RT$$

بنابراین:

$$TV^{\gamma-1} = cte$$

الف)در حالت ۱ $T_1 = 300K$ ، $P_1 = 1atm$

برای حالت ۲ با استفاده از قانون فرآیندهای بی‌دررو

$$T_1\left(\frac{V_0}{\varepsilon}\right)^{\gamma-1} = T_1 V_0^{\gamma-1}$$

$$T_2 = 300 \times 2/461 = 738/3\ K$$

فشار $$P_2 = \frac{9/5 \times 738/3}{300} = 23/38\ atm$$

در حالت ۳:

$$P_3 = 2P_2 = 46/76\ atm \quad \text{و} \quad T_3 = 2T_2 = 1476/6K$$

برای حالت ۴ باید محاسبات را برای فرآیندهای بی‌دررو انجام دهیم. از رابطهٔ

$$T_4(\varepsilon V_0)^{\gamma-1} = T_3 V_0^{\gamma-1}$$

$$T_4 = 1476/6 \times 0/4064 = 600K$$

و فشار

$$P_4 = 2\ atm$$

ب)مخرج کسر در رابطه کارآیی گرمایی، گرمای جذب شده در مراحل ۲-۳ یعنی گرمای حاصل در اثر سوختن سوخت در این مرحله است. گرمای جذب شده برابر با افزایش انرژی درونی گاز است (حجم ثابت است و کاری انجام نمی شود):

$$C_v m\,(T_3 - T_2)$$

انرژی مفیدی که به کار تبدیل شده است تفاوت گرمایی است که در مراحل ۲-۳ جذب و در مراحل ۴-۱ پس داده شده است.

$$C_v m(T_3-T_2)-C_v m(T_4-T_1)=C_v m(T_1+T_3-T_2-T_4)$$

کارآیی برابر است با:

$$\eta=\frac{C_v m(T_1+T_3-T_2-T_4)}{C_v m}=1-\frac{T_4-T_1}{T_3-T_2}$$

$$=1-\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{\frac{T_4}{T_1}-1}{\frac{T_3}{T_2}-2}$$

روابط فرآیندهای بی‌دررو به صورت زیر است

$$T_1V_1^{\gamma-1}=T_2V_2^{\gamma-1} \qquad T_4V_4^{\gamma-1}=T_3V_3^{\gamma-1}$$

باتقسیم اولین معادله بر معادله دوم خواهیم داشت:

$$\frac{T_4}{T_1}\left(\frac{V_4}{V_1}\right)^{\gamma-1}=\frac{T_3}{T_2}\left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

داریم $V_4=V_1$ و $V_3=V_2$ بنابراین

$$\frac{T_4}{T_1}=\frac{T_3}{T_2}$$

کارآیی گرمایی

$$\eta=1-\frac{T_1}{T_2}$$

از روابط قبلی داریم

$$\frac{T_1}{T_2}=\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}=\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{\gamma-1}=\varepsilon^{1-\gamma}$$

بنابراین کارآیی موتور چهار هنگامی به صورت زیر است:

$$\eta=1-\varepsilon^{1-\gamma}$$

کارآیی به نسبت تراکم بستگی دارد. می‌توان جواب سؤال (ب) رابدون انجام محاسبات مربوط به سؤال (الف)بااستفاده از اطلاعات داده شدهٔ ۵۹/۳۴ % = ۰/۵۹۳۴ = η بدست آورد. کارآیی واقعی اندکی بیش از نصف مقدار فوق است. مقدار

زیادی از گرما بدون این‌که نقشی در چرخه داشته باشد از بین می‌رود.

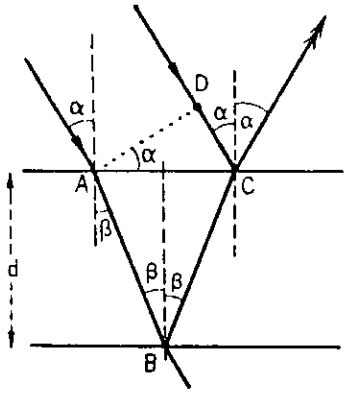
مسئله ۲ ـ نور سفید با زاویهٔ $\alpha = ۳۰^\circ$ بر روی لایه‌ای از صابون می‌تابد. نور بازتابیده عمدتاً به رنگ سبز با طول موج $\lambda = ۰/۵\ \mu m$ است.

الف) حداقل ضخامت لایه چقدر است؟

ب) این لایه در جهت عمودی به چه رنگی دیده می‌شود؟

ضریب شکست مایع $n = ۱/۳۳$ است (رک شکل ۵۱).

حل ـ قسمتی از باریکهٔ نور فرودی در نقطهٔ A باز تابیده می‌شود، قسمت دیگر آن شکسته شده و به نقطهٔ B می‌رسد. در اینجا بخشی از آن مجدداً بازتابیده شده و پس از شکست از نقطه C خارج می شود. قسمتی از پرتو DC نیز درنقطهٔ C باز تابیده می‌شود و هر دو پرتو همزمان توسط ناظری که در دوردست است، مشاهده می‌شوند.



شکل ۵۱

باریکه‌ای که به صفحهٔ AD می‌رسد همفاز است. باید اختلاف فاز بین پرتویی که مستقیما از سطح اول می‌آید را با پرتو سطح دوم محاسبه کنیم. این مقدار به اختلاف راه یعنی ضخامت لایه، وجود تداخل سازنده یا مخرب بین پرتوها و این که چه طول موجهایی از نور سفید درنور مشاهده شده وجود دارند، بستگی دارد.

مسیر A به C پرتو بازتابیده از سطح دوم:

$$AB+BC=\frac{۲d}{\cos\beta}$$

طول موج در محیط $\frac{\lambda_۰}{n}$ است، بنابراین تعداد موجها در فاصلهٔ AB + BC از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$\frac{\frac{۲d}{\cos\beta}}{\frac{\lambda_۰}{n}}=\frac{۲dn}{\lambda_۰\cos\beta}$$

مسیر D به C پرتوی باز تابیده از سطح اول برابر است با

$$DC=AC\sin\alpha=۲d\,tg\,\beta\cdot\sin\alpha=\frac{۲d\sin\alpha}{\cos\beta}$$

تعداد موجهای با طول موج $\lambda_۰$ در این فاصله برابر است با

$$\frac{۲d\,tg\,\beta\sin\alpha}{\lambda_۰}$$

می‌دانیم که نور در بازتاب از محیط با ضریب شکست بزرگتر، ۱۸۰° تغییر فاز می‌دهد، بنابراین تعداد موج‌های موجود در فاصله DC برابر است با:

$$\frac{۲d\sin\beta\sin\alpha}{\lambda_۰\cos\beta}+\frac{۱}{۲}$$

تقویت هنگامی صورت می‌گیرد که اختلاف تعداد موجها عدد صحیح k باشد.

$$k=\frac{۲dn}{\lambda_۰\cos\beta}-\frac{۲d\sin\beta\sin\alpha}{\lambda_۰\cos\beta}-\frac{۱}{۲}$$

$$=\frac{۲dn}{\lambda_۰\cos\beta}[\,۱-\sin^۲\beta\,]\ -\frac{۱}{۲}=\frac{۲dn\cos\beta}{\lambda_۰}-\frac{۱}{۲}$$

$$=\frac{۲d}{\lambda_۰}\sqrt{n^۲-\sin^۲\alpha}-\frac{۱}{۲}$$

بعد از چند تبدیل شرط تقویت به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{۴d}{\lambda_۰}\sqrt{n^۲-\sin^۲\alpha}=۲k+۱$$

این شرط به شکل هندسی و ضریب شکستی بستگی دارد که برای آن بیشترین تقویت حاصل می‌شود. نورتکرنگ خالص بدست نمی‌آوریم. طول موج‌های مجاور نیز با شدتی کمتر ظاهر می‌شود. برای kهای بزرگتر رنگ کمتراشباع شده است. صفحه یا لایهٔ خیلی ضخیم رنگی دیده نمی‌شود، بلکه خاکستری رنگ به نظر خواهد رسید. در مسئله رنگ سبز روشن ذکر شده است که محتاج نازکترین لایه می‌باشد. بنابراین باید k=۰ قرار داده و نازکترین لایه را بکار بریم.

$$d=\frac{\lambda_{\circ}}{\sqrt{۴n^{۲}-\sin^{۲}\alpha}}=۰/۱۰\mu m$$

ب)برای تابش عمودی، اگر k=۰، طول موجی که بیشترین تقویت را نشان می‌دهد برابر است با

$$\lambda_b=۴d\sqrt{n^{۲}-\sin^{۲}\circ}=۴dn$$

بااستفاده از مقدار قبلی d داریم:

$$\lambda_b=\lambda_{\circ}\cdot\frac{n}{\sqrt{n^{۲}-\sin^{۲}\alpha}}=\frac{\lambda_{\circ}}{\cos\beta}$$

λ_b را می‌توان با استفاده از $\lambda_{\circ}$ برای لایه‌ای با هر ضخامت به‌همان طریق محاسبه کرد. در این مورد

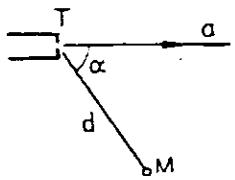
$$\lambda_b=۱/۰۷۹\lambda_{\circ}=۰/۵۴۰\mu m$$

که متناظر با رنگ سبز اندکی زرد فام است

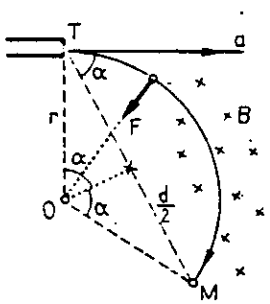
مسئله۳- یک تفنگ الکترونی الکترونهایی را گسیل می‌دارد که در اختلاف پتانسیل U=۱۰۰۰ ولت در راستای a در شکل ۵۲ شتاب گرفته‌اند. می‌خواهیم این الکترونها در جهت ∝ و در فاصله ۵ سانتیمتری از تفنگ به هدف M برخورد کند. القاء B میدان مغناطیسی یکنواختی راکه باید بکار برده شود، بدست آورید در صورتی که

الف) میدان عمود بر صفحه متشکل از خط a و نقطه M باشد.

ب) میدان با TM موازی باشد.



شکل ۵۲



شکل ۵۳

حل.

الف) باتوجه به ملاحظات هندسی نتیجه می‌گیریم که مسیر الکترون دایره‌ای است (رک شکل ۵۳):

$$r=\frac{d}{۲\sin\alpha}$$

قانون بقای انرژی برای بار Q که از اختلاف پتانسیل U با سرعت v می‌گذرد به صورت زیر است:

$$\frac{mv^{۲}}{۲}=UQ$$

درنتیجه

$$v=\sqrt{\frac{۲UQ}{m}}$$

نیروی لورنتس وارد بر بار Q برابر است با:

$$F=QBv$$

این نیرو با نیروی جانب مرکز $\frac{mv^2}{r}$ برابر است:

$$\frac{mv^2}{r} = QBv$$

بنابراین القاء مغناطیسی لازم برابر است با:

$$B = \frac{mv}{rQ}$$

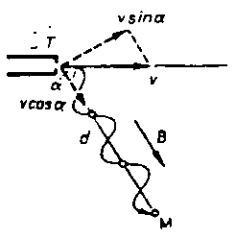
با استفاده از مقادیر فوق برای شعاع و سرعت خواهیم داشت

$$B = \frac{2\sin\alpha}{d}\cdot\sqrt{\frac{2Um}{Q}}$$

در این مسئله $(Q = 1/6\times10^{-19}C \quad m = 9/11\times10^{-31}kg)$
اورستد $B = 0/0037 \quad Vs/m^2 = 37$ تسلا $= 0/0037$

ب) نیروی وارد توسط میدان مغناطیسی بر سرعت عمود است. بنابراین یک میدان مغناطیسی ثابت ویکنواخت فقط جهت سرعت الکترون را تغییر می‌دهد ولی مقدار آن تغییر نمی‌کند.

سرعت الکترونهای گسیل شده از تفنگ الکترونی را به دو مؤلفهٔ مستقیم الخط $v\cos\alpha$ در جهت میدان B و $v\sin\alpha$ در جهت عمود بر میدان تجزیه می‌کنیم. $v\cos\alpha$ در جهت میدان است بنابراین میدان مغناطیسی بر آن تأثیری ندارد (شکل ۵۴).
الکترون پس از زمان $\frac{d}{v\cos\alpha}$ به هدف M می‌رسد.



شکل ۵۴

الکترون در اثر میدان مغناطیسی B و مؤلفه سرعت عمودی $v\sin\alpha$ درمسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. از رابطه

$$\frac{mv^2\sin^2\alpha}{r} = BQ\,v\sin\alpha$$

شعاع دایره بدست می‌آید

$$r = \frac{mv\sin\alpha}{QB}$$

الکترون همچنین دارای مولفه سرعت $v\cos\alpha$ در جهت هدف M است. نتیجه حرکت مارپیچی در جهت B می‌باشد. الکترون پس از k دوردر طی زمان $\frac{d}{v\cos\alpha}$ به هدف M برخورد می‌کند که k عدد صحیح است. محیط دایره برابراست با

$$2\pi r = \frac{2\pi mv\sin\alpha}{QB}$$

از آنجاکه سرعت حرکت گرد این دایره $v\sin\alpha$ است، زمان یک دور:

$$\frac{2\pi mv\sin\alpha}{QBv\sin\alpha} = \frac{2\pi m}{QB}$$

حاصلضرب مقدار فوق در k برابر $\frac{d}{v\cos\alpha}$ است.

$$\frac{d}{v\cos\alpha} = \frac{2\pi m}{QB}\cdot k$$

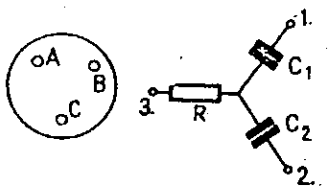
بنابراین القاء مغناطیسی لازم برابر است با

$$B = k\cdot\frac{2m\cos\alpha}{dQ}\cdot v = k\cdot\frac{2\pi\cos\alpha}{d}\cdot\sqrt{\frac{2Um}{Q}}$$

برای $k=1$ الکترون پس از طی یک دوربه هدف می‌رسد، برای $k=2$ پس از طی دو دور و همین‌طور تا آخر. جهت القاء مادامی که زاویه α تغییر نکند حائز اهمیت نیست. با استفاده از اطلاعات فوق خواهیم داشت

اورستد $B = k\times0/0067 Vs/m^2 = k\times67$ تسلا $= k\times0/0067$

مسئله تجربی - یک «جعبه سیاه» با سه پایانهٔ A و B و C مطابق شکل داده شده است. در داخل این جعبه دو خازن C_1 و C_2 و یک مقاومت R با اتصال ستاره‌ای قرار دارند. مقادیر مقاومت و خازنها را پیدا کنید. (رک شکل ۵۵)



شکل ۵۵

وسایل زیر در اختیار شما قرار دارد:
یک منبع تغذیه AC فرکانسهای بین ۰/۱kHz و ۱۰kHz، یک ولتمتر AC و یک آمپرمتر AC. به کمک این وسایل می‌توان ولتاژ AC منبع و جریان AC دوسر جعبه را اندازه گرفت، امپدانس را تعیین و رابطه امپدانس با فرکانس بین پایانه‌ها را بدست آورد.

حل - ابتدا باید پایانه‌هایی را که متصل به مقاومت هستند پیدا کنیم.
در دو سر پایانه‌های دیگر ظرفیت خالص برآیند را داریم که برای آن امپدانس با فرکانس نسبت معکوس دارد. بنابراین، امپدانس را دوبه‌دو بین پایانه‌ها برای ۰/۱kHz و ۱۰kHz اندازه می‌گیریم و زوجی را که برای آن نسبت معکوس را ملاحظه می‌کنیم متناظر با پایانه‌های ۱ و ۲ در شکل است. روشهای دیگری برای تحقیق بیشتر امکان پذیراند.
الف)بین پایانهٔ ۱ و ۲ امپدانس ظرفیتهای C_1 و C_2 که به طور سری متصل شده‌اند در فرکانس معین برابر است با:

$$Z=\frac{1}{\omega C_1}+\frac{1}{\omega C_2} \qquad (1)$$

سپس امپدانس برایند امپدانس‌های مقاومت و خازنهای C_1 و C_2 را بین ۱-۳ و ۲-۳ در همان فرکانس اندازه می‌گیریم:

$$Z_1^2=R^2+\left(\frac{1}{\omega C_1}\right)^2 \qquad (2)$$

$$Z_2^2=R^2+\left(\frac{1}{\omega C_2}\right)^2 \qquad (3)$$

باحل دستگاه معادلات خواهیم داشت:

$$\frac{1}{C_1}=\frac{\omega}{2Z}\left(Z^2+Z_1^2-Z_2^2\right)$$

$$\frac{1}{C_2}=\frac{\omega}{2Z}\left(Z^2-Z_1^2+Z_2^2\right)$$

با استفاده از C_1 و C_2 می‌توان R را به آسانی از رابطه‌های ۲ یا ۳ محاسبه کرد.
ب) با اتصال پایانه‌های ۱و۲ ظرفیت معادل مجموع C_1 و C_2 است. ما امپدانسها را در دو فرکانس متفاوت بین پایانهٔ ۳ و پایانه‌های متصل شدهٔ ۱-۲ اندازه می‌گیریم

$$Z_A^2=R^2+\frac{1}{\omega_A^2(C_1+C_2)^2}$$

$$Z_B^2=R^2+\frac{1}{\omega_B^2(C_1+C_2)^2}$$

باحذف C_1+C_2 خواهیم داشت

$$R^2=\frac{\omega_A^2Z_A^2-\omega_B^2Z_B^2}{\omega_A^2-\omega_B^2}$$

ظرفیتها را می‌توان از رابطه‌های (۲) یا (۳) محاسبه کرد.
اگر فرکانس کوچک باشد R در مقایسه با $\frac{1}{\omega C_1}$ و یا $\frac{1}{\omega C_2}$ صرفنظرکردنی است. در نتیجه می‌توانیم ظرفیت‌ها را مستقیماً با استفاده از امپدانس‌ها محاسبه کنیم. از طرف دیگر، با اندازه‌گیری در فرکانسهای زیاد می‌توان از مقاومت خازنها صرفنظر کرد و مقاومت R را بدست آورد.

سیستمهای ساده با جرم متغیر: قانون دوم نیوتن[1]

نوشتهٔ جی. ماتولیاك و جی. ماتوس[2]
ترجمهٔ رضا حسین‌نژاد[3]

بررسی سیستمهای باجرم متغیر (ازجمله شلیك مسلسلی که روی واگنی قراردارد یا پیشرانش موشك[4]) دراغلب متون فیزیك عمومی ازدوطریق صورت می‌گیرد، یکی ازطریق قضیهٔ ضربه‌ـاندازه حرکت و دیگری از طریق قانون بقای اندازه حرکت‌خطی. موشکی را به‌جرم لحظه‌ای M که‌جرم ΔM در فاصلهٔ زمانی Δt ازآن خارج می‌شود درنظر بگیرید، بااستفاده از رهیافت ضربه‌ـاندازه حرکت سرعت لحظه‌ای‌موشك،$v(t)$، را به‌دست می‌آوریم:

(۱) اندازه حرکت اولیه ـ اندازه حرکت ثانویه $= F_{ext}\Delta t$

که در آن F_{ext} نیروی متوسط خارجی وارد برموشك درفاصلهٔ زمانی Δt است.

اگرنیروی خارجی وارد برموشك فقط نیروی‌گرانشی «ثابت» باشد، آن‌گاه معادلهٔ (۱) به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$-Mg\Delta t = [(M+\Delta M)(v+\Delta v)+\Delta m(v-v_r)]-[Mv] \qquad (۲)$$

اندازه‌حرکت گازهای‌خروجی اندازه‌حرکت موشك

که درآن $\Delta m = -\Delta M$ مقدار سوختی است‌که درمدت Δt ازموشك خارج می‌شود، و v_r سرعت سوخت نسبت به‌موشك است. باساده‌کردن وصرف‌نظرکردن از $\Delta M\Delta v$ ، معادلهٔ (۲) درحد $\Delta t \to 0$ به‌صورت زیردرمی‌آید:

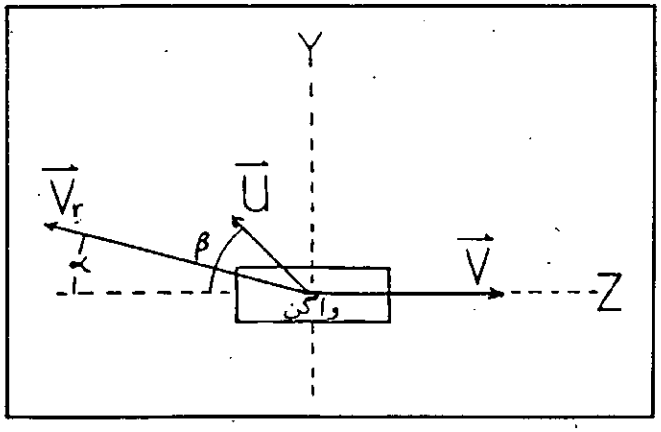
$$M\frac{dv}{dt} = -v_r(\frac{dM}{dt}) - Mg \qquad (۳)$$

اگر v_r و g ثابت فرض‌شوند، با انتگرال‌گیری ازمعادلهٔ (۳)، سرعت $v(t)$ به‌دست می‌آید.

رهیافت دیگری که‌عمومیت کمتری دارد،ولی «واضح‌تر» است، استفادهٔ مستقیم از قانون دوم نیوتن (به شکل $\sum\vec{F}_{سیستم} = \frac{d\vec{P}}{dt}$) است. عمل مشتق‌گیری از اندازه حرکت خطی سیستم نسبت به زمان نیاز به‌هیچ تقریبی ندارد و نتائج درستی ازآن به‌دست می‌آید مشروط بر آنکه:

۱) تماس سرعتها را در چارچوب مرجع لخت اندازه‌گیری کنیم.

۲) سیستم بنا به‌تعریف شامل جرم خروجی وجرم‌ورودی‌است، یعنی‌آنکه جرم سیستم باید ثابت‌باشد.



شکل۱ـ واگن (یاموشك) در راستای z حرکت می‌کند و سرعت جرم خروجی نسبت به‌آن v_r است.

می‌خواهیم فرمول موردنظر، یعنی معادلهٔ درست نیرو برای یك سیستم با جرم متغیرمشابه بامعادله (۳)، را به‌دست آوریم، برای این‌منظور واگنی‌را درنظر بگیرید که درحال‌حمل یك شخص، مقداری سوخت، ویك مسلسل که محکم به واگن متصل شده‌است (شکل۱). برخلاف حرکت الزاماً یك بعدی موشك در مسئله فوق، درحرکت دوبعدی سیستم واگن‌ـمسلسل، می‌توان دربارهٔ ماهیت برداری نیروهای خارجی و سرعتهای

نسبی تحقیق کـرد. دستگاه مختصات را چنان انتخاب می‌کنیم که ریلها ودرنتیجه حرکت واگن درراستای محورz باشد. جرم وسرعت لحظه‌ای ایـن‌مجموعه به‌ترتیب M و $\vec{v}$ هستند باشلیك مسلسل، گلوله‌هایی به‌جرم m خارج می‌شود که سرعت آنها نسبت به‌ناظرساکن درزمین $\vec{u}$ است. در اینجا لزومی نداردکه $\vec{u}$ درخلاف جهت $\vec{v}$ باشد.

ایـن سیستم شامل واگن، شخص، مسلسل، و گلـوله‌های شلیك شده‌است. با به‌کار بردن قانون‌دوم نیوتن برای این‌سیستم داریم:

$$\sum \vec{F}_{\text{سیستم}} = \frac{d}{dt}(M\vec{v} + m\vec{u}) \qquad (۴)$$

دراینجا، $\sum \vec{F}_{\text{سیستم}}$ برآیند همهٔ نیروهای خارجی (چه‌پایستار و چـه ناپایستار) وارد برسیستم است. هـر نیروی داخلی بین گلوله‌های شلیك شده ومسلسل (واز این‌رو‌واگن) اندازه‌حرکت خطی کل‌سیستم‌راتغییر نمی‌دهد. جملهٔ $\sum \vec{F}_{\text{سیستم}}$ می‌تواندبه‌جمع دوجمله تجزیه شود:

$$\sum \vec{F}_{\text{سیستم}} = \vec{F}_M + \vec{F}_m \qquad (۵)$$

که درآن $\vec{F}_M$ برآیند نیروهای خارجـی وارد برواگن و $\vec{F}_m$ برآیند نیروهای خارجی وارد برگلوله‌های شلیك شده است.

معادلهٔ (۴) را می‌توان به‌شکل زیر نوشت:

$$\vec{F}_M + \vec{F}_m = M\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v}\frac{dM}{dt} + m\frac{d\vec{u}}{dt} + \vec{u}\frac{dm}{dt} \qquad (۶)$$

ازآنجاکه جرم «سیستم» یعنی $M_\circ = M + m$ ثـابت است، $\frac{dm}{dt} = -\frac{dM}{dt}$ ، معادله (۶) به‌صورت زیردرمی‌آید:

$$\vec{F}_M + \vec{F}_m = M\frac{d\vec{v}}{dt} - (\vec{u} - \vec{v})\frac{dM}{dt} + m\frac{d\vec{u}}{dt} \qquad (۷)$$

کمیتهای $\vec{u}$ و $\vec{v}$ سرعتهایی‌هستندکه درچارچوب لخت نسبت به‌یك ناظرساکن درزمین اندازه‌گیری می‌شوند،بنابراین $\vec{v}_r \equiv (\vec{u} - \vec{v})$ «سرعت نسبی» گلوله‌هـای شلیك شده نسبت به‌واگـن است. شتاب‌گلوله‌هـای شلیك شده نسبت به‌زمین با $\frac{d\vec{u}}{dt}$ نشان داده می‌شود. معادلهٔ (۷) شامل قانون دوم‌نیوتن‌برای گلولـه‌های شلیك شده $(\vec{F}_m = m\frac{d\vec{u}}{dt})$ ومعادلهٔ‌نیرو برای‌جرم متغیرM است.

$$M\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_M + \vec{v}_r\frac{dM}{dt} \qquad (۸)$$

معادلهٔ (۸) هدف این استنتاج بود و بـدون استفاده از تقریب یا حذف برخی جملات، به‌دست آمد. ایـن رهیافت «واضح‌تر» ذهن برخـی از دانش آمـوزان را کمتر مغشوش می‌کند.

یکی‌ازما (جی. ماتولیاك) هردو رهیافت فوق‌را بـرای دانش‌آمـوزان به کار بـرده است. چنانکه پیش‌بینی می‌شد، پاسخ دانش‌آموزان مختلف بـود ؛ در یـك دورهٔ هفت سالـه (تعداد دانش‌آموزان = ۴۵۵) تقریباً ۷۰ درصد آنها رهیافت مستقیمی را کـه در این مقاله ارائه شده است ترجیح دادند، درحالی‌که ۳۰ درصد آنها احساس کردندکه رهیافت ضربه‌ـ اندازه حرکت، قابل فهم‌تر است.

اگرچه معادلهٔ(۸) را برای سیستم واگن‌ـمسلسل به‌دست آوردیم، لیکن معادله‌ای «همگانی»برای هرسیستم ساده باجرم متغیر است و فایدهٔ آن را می‌توان با کاربردهای مختلفی نشان داد.

زیرنویسها :

۱ـ Simple Variable Mass Systems: Newton's Second Law

۲ـ J. Matolyak and G. Matous.

۳ـ دانشجوی سال سوم رشته الکترونیك دانشگاه صنعتی شریف

۴ – rocket propulsion

مرجع:

THE PHYSICS TEACHER, MAY 1990, P. 328–329.

سؤالات امتحانات نهایی

دانش‌آموزان و داوطلبان آزاد

کلاسهای چهارم متوسطه سراسر کشور در شهریور ۱۳۷۱

رشتهٔ ریاضی فیزیک

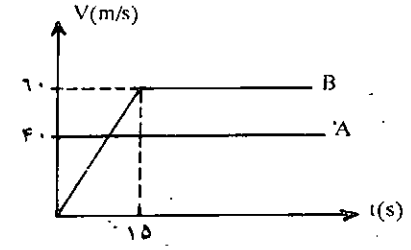
درس مکانیک

۱ - دو تئوری مهم فیزیک کلاسیک را نام ببرید. ۰/۵

۲ - شکل مقابل نمودار سرعت - زمان دو متحرک A و B را نشان میدهد که در یک امتداد و در یک لحظه از یک نقطه می‌گذرند تعیین کنید:

الف - پس از چه مدت سرعت دو متحرک برابر می‌شود؟

ب - پس از چه مدت دو متحرک دوباره بهم میرسند؟ ۱/۵



۳ - در حرکت مستقیم‌الخط باتوجه به بردارهای سرعت و شتاب در چه صورت حرکت یک جسم تندشونده و در چه صورت کندشونده است؟ ۰/۵

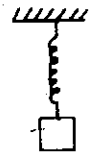
۴ - دیمانسیون (رابطه ابعادی) سرعت زاویه‌ای و توان را بنویسید. ۰/۵

۵ - وزنه‌ای به فنری آویزان و درحال تعادل است به پرسشهای زیر پاسخ دهید:

الف - عکس‌العمل نیروی وزن وزنه برکجا اثر می‌کند؟

ب - آیا میتوان گفت که برآیند نیروهای وزن وزنه و عکس‌العمل آن صفر است؟ چرا؟

ج - نیروهایی که در تعادل وزنه مؤثرند را نام ببرید. ۱



۶ - سرعت حد و قانون استوکس را تعریف نمائید. ۱

۷ - شخصی از پنجره قطاری که با سرعت ثابت در حرکت است سنگی را رها می‌کند. مسیر حرکت سنگ از دید آن شخص واز دید ناظر ساکنی که کنار ریل ایستاده چگونه است؟ ۰/۵

۸ - محاسبه شتاب جانب مرکز در حرکت دایره‌ای یکنواخت (شرح - شکل - محاسبه) ۱/۵

۹ - اولاً - انرژی پتانسیل یک جسم را نسبت به مبدأ پتانسیل تعریف نموده

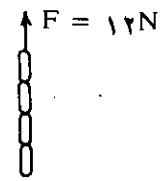
ثانیاً - انرژی پتانسیل فنر را محاسبه نمائید. ۱/۵

۱۰ - از یک مبدأ دو گلوله با اختلاف زمانی ۲ ثانیه در راستای قائم با سرعت اولیه ۴۰m/s بطرف بالا پرتاب میگردند. تعیین کنید چه زمانی پس از پرتاب گلوله اول دو گلوله از کنار هم می‌گذرند و ارتفاع آنها در این لحظه از مبدأ پرتاب چقدر است؟ $g = 10 m/s^2$ ۱/۵

۱۱ - زنجیری شامل ۵ حلقه که جرم هر حلقه آن ۲۰۰ گرم است تحت تأثیر نیروی ۱۲ نیوتنی در امتداد قائم بطرف بالا کشیده می‌شود. شتاب حرکت زنجیر و نیروهایی که حلقهٔ وسط بر

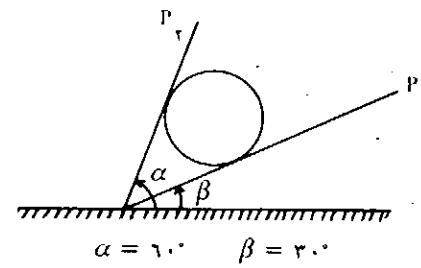
حلقه‌های مجاور خود وارد می‌نماید را بدست آورید.

$g = ۱۰ m/s^۲$ ۲



۱۲ ـ گلوله‌ای با رعت اولیه $V_۰$ تحت زاویه α نسبت به افق به طرف بالا پرتاب شده پس از ۳ ثانیه از نقطه واقع بر صفحه مختصات عبور می‌نماید مقادیر $V_۰$ و α را بدست آورید. $g = ۱۰ m/s^۲$ ۱/۵

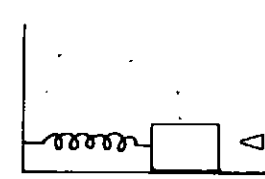
۱۳ ـ در شکل مقابل کره‌ای همگن به وزن ۲۰۰ نیوتن درون ناوه‌ای که سطوح آن بدون اصطکاک هستند قرار دارد. نیرویی که کره بر سطح $P_۱$ وارد می‌نماید را محاسبه نموده دیاگرام نیروهای وارد بر کره را رسم نمائید. $g = ۱۰ m/s^۲$ ۱/۵



$\alpha = ۶۰^\circ$ $\beta = ۳۰^\circ$

۱۴ ـ گلوله‌ای به جرم ۲۰۰ گرم را به نخی به طول یک متر بسته در صفحه قائم با فرض سرعت زاویه‌ای ثابت بر مسیری دایره‌ای می‌چرخانیم اگر نیروی کشش نخ در لحظه عبور از وضع افقی ۲ نیوتن باشد سرعت خطی گلوله و نیروی کشش نخ در پایین‌ترین نقطه مسیر را حساب کنید. $g = ۱۰ m/s^۲$ ۱/۵

۱۵ ـ مطابق شکل روبرو قطعه چوبی به جرم ۹۸۰ گرم به فنری با ثابت $۴۰۰ N/m$ متصل است. گلوله‌ای به جرم ۲۰ گرم با سرعت ۴۰۰ متر بر ثانیه از فاصله نزدیک به آن شلیک شده و در آن جای می‌گیرد. اگر سطح افق بدون اصطکاک باشد تغییر طول فنر چقدر است؟ ۱/۵



۱۶ ـ استوانه‌ای توپر به جرم ۸ کیلوگرم و به شعاع ۵۰ سانتی‌متر با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه حول محور افقی ثابتی می‌چرخد. انرژی جنبشی استوانه چند ژول است. چه نیروی مماسی لازم است تا در مدت ۱۰ ثانیه چرخ (استوانه) بایستد. لختی دورانی استوانه $\frac{۱}{۲}mR^۲$ می‌باشد. $\pi^۲ = ۱۰$ ۲

درس فیزیک

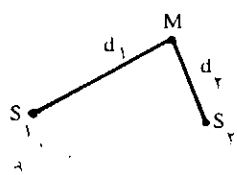
۱ ـ وزنه‌ای به جرم m به فنری با جرم ناچیز بسته شده در حال نوسان است. زمان تناوب آنرا محاسبه نمائید. ۱

۲ ـ موج پلاریزه و پدیدهٔ دوپلر را تعریف نموده رابطه پدیده دوپلر را بنویسید. ۱

۳ ـ دومنبع $S_۱$ و $S_۲$ که معادله ارتعاشی آنها بصورت:

$y = a\sin\omega t$

است. ارتعاشاتی هم‌راستا در محیطی کشسان ایجاد می‌نمایند. این ارتعاشات در نقطه M بهم میرسند. دامنه موج برآیند را در نقطه فوق بدست آورده با استدلال ریاضی تعیین کنید در چه صورت مقدار دامنه موج برآیند ماکزیمم خواهد بود. ۱/۵



۴ ـ اولاً ـ اختلاف فاز بین اختلاف پتانسیل و شدت جریان را در حالتی که مدار جریان متناوب شامل فقط خازن است محاسبه نمائید. ثانیاً ـ اگر معادله شدت جریان این مدار بصورت $I = I_m\sin\omega t$ باشد نمودارهای تغییرات ولتاژ و شدت جریان مدار را در یک پریود رسم نمائید. ۱/۵

۵ ـ طیف جذبی خطی یک عنصر چگونه ایجاد می‌شود؟ هوا و مه هرکدام برای چه نوعی از امواج الکترومغناطیک شفاف است؟ ۱

۶ ـ پلاریزاسیون نور در اثر جذب انتخابی را تعریف نموده تفاوت آنرا با پلاریزاسیون نور بر اثر شکست مضاعف بنویسید. ۱

۷ - با ذکر علّت اثر سلف و خازن را بر جریانهای با تواتر زیاد به اختصار توضیح دهید. ۱

۸ - نیمه‌رساناهای نوع N و نوع P را با اختصار تعریف نمائید. ۱

۹ - فعل و انفعالات هسته‌ای روبرو را کامل نمائید.

$$^{24}_{11}Na \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + \ldots$$

$$^{222}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + \ldots \quad ۰/۵$$

۱۰ - پس از گذشت ۵ نیمه‌عمر ۱۲۰۰ گرم از یک مادهٔ رادیواکتیو باقی می‌ماند. تعیین کنید پس از چند نیمه‌عمر ۳۰۰ گرم از همان ماده باقی خواهد بود. ۱

۱۱ - معادله نیروی وارد بر نوسان‌کننده‌ای به جرم ۲۰ گرم بصورت $F = -۲۰۰y$ (در SI) و سرعت آن در مرکز نوسان ۱۰ m/s می‌باشد. اگر در مبدأ زمان متحرک در بُعد ماکزیمم و حرکت آن در جهت مثبت باشد معادلهٔ بُعد متحرک را نوشته شتاب آنرا پس از گذشت ربع پرید بدست آورید. ۲

۱۲ - به کمک رسم هندسی فرنل دامنه و فاز اولیهٔ زاویه موج برآیند حاصل از ترکیب سه حرکت ارتعاشی هم‌راستای زیر را نمایش داده اندازه آنها را بدست آورید. ۱

$y_1 = ۶\sin\omega t$

$y_2 = ۴\sin(\omega t + \frac{\pi}{۲})$ بُعدها در CGS

$y_3 = ۲\sin(\omega t + \pi)$

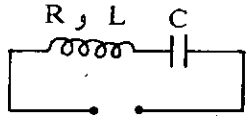
۱۳ - هرگاه دامنه ارتعاش یک منبع صوتی ۵ برابر و فاصله شنونده از منبع نصف گردد شدت نسبی احساس صوتی که شنونده دریافت می‌کند نسبت به محل اول چند دسی‌بل است؟ ۱

۱۴ - یک لوله صوتی بسته به طول ۸۰ سانتی‌متر در مجاورت یک تار به طول یک متر و به جرم ۲ گرم قرار دارد. وقتی لوله صوت دوّم خود را ایجاد می‌نماید تار به ارتعاش درآمده در طول آن ۴ گره تشکیل می‌شود.

اولاً - نیروی کشش تار را حساب کنید - سرعت صوت در هوای درون لوله ۳۲۰ m/s است.
ثانیاً - طول تار راکاهش داده آنرا به ارتعاش درمی‌آوریم. اگر صوت اصلی تار در اینحالت با صوت اصلی لوله ۵ ضربان در ثانیه ایجاد نماید طول جدید تار چقدر است. ۲

۱۵ - در آزمایش یانگ طول موج نور بکار رفته ۰/۶ میکرون، فاصله پرده نوارها از دو شکاف ۲/۴ متر و فاصله دو شکاف ۱/۸ میلی‌متر است. اولاً فاصله پنجمین نوار تاریک از نوار روشن مرکزی چقدر است؟ ثانیاً - اختلاف زمانی دو موج نوری که از دو شکاف در یک لحظه انتشار یافته و در محل نوار روشن پنجم بهم میرسند چقدر است. سرعت انتشار نور ۳×۱۰^۸ m/s می‌باشد.

۱۶ - اولاً - در مدار شکل مقابل اختلاف پتانسیل دو سر مدار نسبت به شدت جریان $\frac{\pi}{۳}$ تأخیر فاز و اختلاف پتانسیل دو سر سیم‌پیچ نسبت به شدت جریان $\frac{\pi}{۶}$ تقدم فاز دارد نشان دهید رابطه



$۱ = ۴LC\omega^۲$ برقرار است.
ثانیاً - اگر سیم‌پیچ فوق را از مدار جدا نموده یک بار به جریان مستقیم و بار دیگر به جریان متناوبی که ولتاژ مؤثر آن برابر اختلاف پتانسیل جریان مستقیم است وصل نمائیم نشان دهید نسبت توان مصرف شده در حالت اول به حالت دوّم برابر است با: $\frac{Z^۲}{R^۲}$

رشتهٔ علوم تجربی

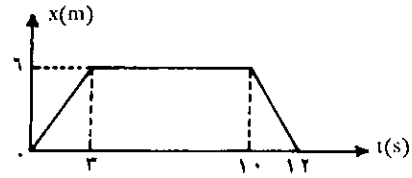
درس فیزیک

وقت امتحان ۲ ساعت

۱ - مفاهیم زیر را بنویسید شتاب لحظه‌ای - ضربه - قانون دوّم نیوتن - شدّت میدان گرانش - شدّت جریان مؤثر ۲/۵

۲ - نمودار مکان - زمان متحرکی مطابق شکل روبرو است،

الف ـ سرعت متحرک در هر مرحله از حرکت رابدست آورید.
ب ـ نمودار سرعت ـ زمان آنرا رسم کنید. ۱



۳ ـ شدّت صوت را تعریف کرده واحد آن در SI و دیمانسیون آنرا بنویسید.

۴ ـ قانون کیرشهف دربارهٔ جذب و نشر نور و طیف جذبی خطی را فقط تعریف کنید. ۱

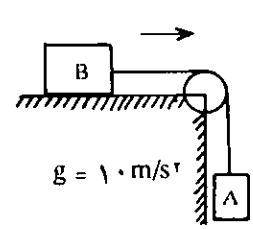
۵ ـ ظرفیت خازن را تعریف کرده و اتصال موازی خازنها به طریقه موازی بنویسید (شرح ـ شکل ـ اثبات فرمول) ۱/۵

۶ ـ نقاط همفاز در یک محیط درحال ارتعاش را تعریف کرده ثانیاً فاصلهٔ دو نقطه از محیط چقدر باشد تا همفاز گردند؟ ۱

۷ ـ گلوله‌ای به جرم m از نقطهٔ A به ارتفاع y از سطح زمین با سرعت اولیه v_0 در امتداد قائم و بطرف پائین پرتاب می‌کنیم. اگر مقاومت هوا ناچیز باشد انرژی مکانیکی گلوله را در نقطه پرتاب نقطه (A) و در لحظهٔ برخورد به زمین (نقطه B) محاسبه و با هم مقایسه کنید.

۸ ـ شار مغناطیسی را تعریف کرده عوامل مؤثر بر آنرا بنویسید.

۹ ـ در شکل مقابل $M_A = 4kg$ و $M_B = 6kg$ و سطح افقی دارای اصطکاک است اگر وزنه‌ها را از حال سکون رها کنیم نیروی کشش نخ ۳۰N میشود پیدا کنید الف ـ شتاب حرکت ب ـ ضریب اصطکاک سطح افقی ج ـ تغییر انرژی جنبشی وزنه‌ها پس از ۰/۸ ثانیه از شروع حرکت. ۲

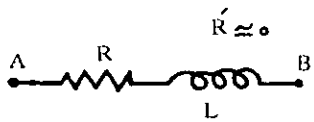


۱۰ ـ در یک مسابقه اتومبیل‌رانی اتومبیلی به جرم ۸۰۰ کیلوگرم به پیچ جاده‌ای به شعاع ۱۲۰ متر که زاویه شیب آن ۳۷° است می‌رسد پیدا کنید حداکثر سرعت اتومبیل چقدر باشد تا در این پیچ واژگون نشود در این حالت نیروی جانب مرکز و عکس‌العمل جاده را پیدا کنید. $\sin 37^\circ = 0/6$
$tg37^\circ = 0/75$ $g = 10$ ۱/۵

۱۱ ـ وزنه کوچکی به جرم ۲۰ گرم روی پاره‌خطی به طول ۱۰ سانتیمتر دارای حرکت نوسانی ساده به پریود ۰/۴ ثانیه می‌باشد. اگر متحرک در مبدأ زمان دارای بُعدی برابر، ۲/۵ سانتیمتر باشد پیدا کنید الف ـ معادلهٔ حرکت ب ـ نیروئی که به وزنه در بُعد $y = -2cm$ وارد شود $\pi = 3$ فرض شود. ۱/۵

۱۲ ـ تار مرتعشی به طول ۶۰ سانتی‌متر و به جرم ۳ گرم را با چه نیروئی بکشیم تا در طول تار ۴ گره ایجاد و فرکانس آن ۳۰۰ هرتز گردد ثانیاً طول لوله بسته‌ای را پیدا کنید تا هماهنگ سوّم آن با صوت حاصل از تار فوق همصدا باشد $V = 360m/s$
۱/۵

۱۳ ـ در شکل مقابل اگر دوسر مدار را به اختلاف پتانسیل پیوسته ۱۲۰V وصل کنیم شدت جریان در مدار ۵A میشود و اگر به دوسر همین مدار اختلاف پتانسیل متناوبی که مقدار مؤثر آن ۱۲۰V و فرکانس آن ۶۰ هرتز است اتصال دهیم شدّت جریان ۴A میشود پیدا کنید مقاومت اهمی R و مقاومت ظاهری مدار ـ ضریب خودالقائی L ـ توان مصرفی در مدار جریان متناوب را. ۲



۱۴ ـ دمای منبع نوری چقدر باشد تا طول موج مربوط به انرژی تابش ماکزیمم آن ۵۶۰۰A گردد طول موج این نور در محیط شفافی به ضریب شکست ۱/۴ بدست آورید.
$c = 2/8 \times 10^8 m.k$ ۱

سؤالهای امتحانهای نهائی

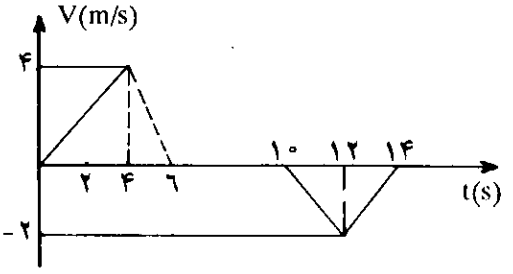
دانش‌آموزان و داوطلبان آزاد کلاسهای چهارم متوسطه سراسر کشور در دی‌ماه ۱۳۷۱

رشتهٔ ریاضی فیزیک

درس مکانیک

۱ـ مکانیک کلاسیک در توجیه چه پدیده‌هایی معتبر است. ۰/۵

۲ـ نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که بر مسیری مستقیم حرکت می‌کند به شکل روبروست نمودارهای شتاب ـ و مکان ـ زمان متحرک را رسم نمائید. ۱/۲۵



۳ـ شخصی به جرم m درون آسانسور روی وزن سنجی ایستاده است با محاسبه تعیین کنید در حالتیکه آسانسور به طرف بالا دارای حرکت تند شونده ـ یکنواخت و کند شونده می‌باشد در هر حالت وزن سنج وزن شخص را نسبت به وزن واقعی او کمتر یا بیشتر نشان می‌دهد؟ ۱/۵

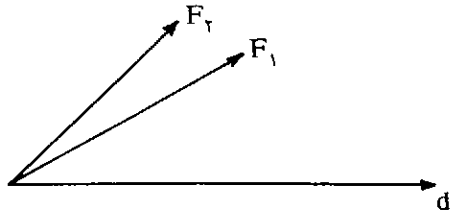
۴ـ اولاً گلوله‌ای با سرعت V به دیواری برخورد نموده و در همان راستا با همان سرعت برمی‌گردد تغییر سرعت آن چقدر است ثانیاً ـ نسبت اندازه مجموع دو بردار مساوی که زاویه بین آنها ۳۷ درجه است به اندازهٔ تفاضل آن دو بردار چقدر است؟ $\cos 37^\circ = 0/8$ ۱/۵

۵ـ چهار مورد از عوامل مؤثر بر اصطکاک سیالات در مقابل حرکت یک جسم درون آنها را نام ببرید. وقتی هواپیما با سرعت ثابت در امتداد افقی پرواز می‌نماید همنه‌های نیروی مقاومت هوا با چه نیروهایی در تعادل قرار می‌گیرند؟ ۱/۵

۶ـ محاسبه شیب عرضی در پیچ جاده (شرح ـ شکل ـ محاسبه) ۱/۲۵

۷ـ با محاسبه تعیین کنید در چه ارتفاعی از سطح زمین (بر حسب شعاع کره زمین) شدت میدان گرانش $\frac{1}{4}$ شدت میدان گرانش در سطح زمین است. ۰/۷۵

۸ـ دو نیروی F_1 و F_2 طبق شکل به جسمی وارد شده و آنرا به اندازهٔ d جابجا می‌نماید. نشان دهید کار برآیند نیروهای مذکور برابر است با جمع جبری کار هر یک از نیروهاست. ۱

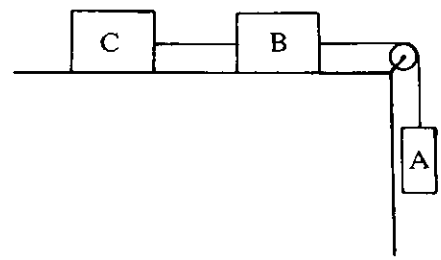


۹ـ چتربازی از هواپیما بیرون پریده ۸۰ متر سقوط آزاد می‌کند پس از آن چترش باز شده و حرکتش با فرض شتاب ثابت $2\frac{m}{s^2}$ کند می‌گردد تا به سرعت حد $4\frac{m}{s}$ می‌رسد. اگر مدت حرکت چترباز از لحظه پریدن از هواپیما تا لحظه رسیدن به زمین ۳۰ ثانیه باشد، ارتفاع

هواپیما در لحظه خروج چترباز از زمین چقدر بوده است؟ سرعت اولیه چترباز صفر فرض می‌شود ۲/۲۵

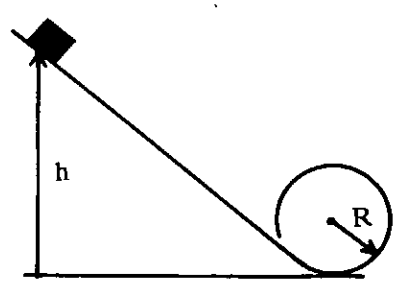
$g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$

۱۰ - در شکل مقابل $m_B = ۳kg$ و $m_C = ۲kg$ و ضریب اصطکاک سطح افقیِ با وزنه‌ها ۰/۲ می‌باشد اگر اختلاف کشش نخ‌ها ۱۸ نیوتن باشد جرم وزنه A چقدر است. $g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$ ۱/۵

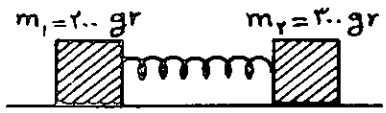


۱۱ - از یک بلندی به ارتفاع ۲۰ متر گلوله‌ای با سرعت اولیه $۲۵ \frac{m}{s}$ تحت زاویه ۳۷° نسبت به راستای افق بطرف بالا پرتاب شده و در برگشت به زمین برخورد می‌نماید. زمان کل حرکت گلوله، فاصله محل برخورد گلوله به زمین تا پای قائم نقطه پرتاب و شیب بردار سرعت آن را در لحظه برخورد به زمین بدست آورید. ۲

۱۲ - در شکل روبرو وزنه پس از رسیدن به انتهای سطح شیبدار می‌تواند درون کره‌ای به شعاع R دوران نماید. ارتفاع h (برحسب R) چقدر باشد تا نیرویی که از طرف کره در بالاترین نقطه مسیر بر وزنه وارد می‌شود برابر وزن آن باشد - از تمام اصطکاک‌ها طرفنظر می‌شود. ۱/۵

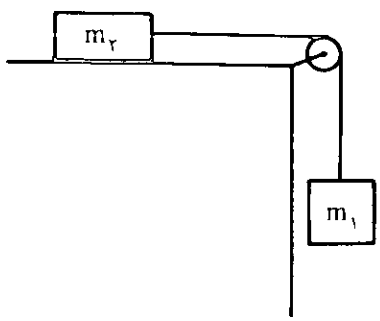


۱۳ - مطابق شکل روبرو فنری به وسیله دو وزنه $m_۱$ و $m_۲$ به اندازه ۱۰ سانتی‌متر فشرده شده است. فنر را رها می‌کنیم اگر در لحظه‌ای که فنر طول طبیعی خود را باز می‌یابد سرعت $m_۱$ برابر $۶ \frac{m}{s}$ باشد سرعت وزنه $m_۲$ و ثابت فنر چقدر است؟ سطح افقی بدون اصطکاک و جرم فنر ناچیز فرض می‌شود ۱/۵



۱۴ - در شکل مقابل $m_۱ = ۱ kg$, $m_۲ = ۳/۹ kg$ و $m = ۲۰۰gr$ جرم قرقره می‌باشد. سطح افقی بدون اصطکاک فرض می‌شود. شتاب خطی و کشش‌های نخ را در هر قسمت به دست آورید. لختی دورانی قرقره $\frac{۱}{۲} mR^۲$ می‌باشد. ۲

$g = ۱۰ \frac{m}{s^۲}$

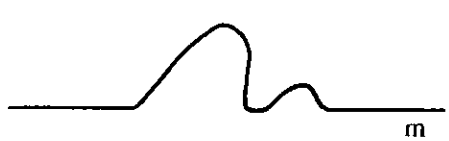


درس فیزیک

۱ - با توجه به رابطهٔ اختلاف فاز $\frac{۲\pi x}{\lambda}$، حساب کنید نقاطی که با منبع تولید موج هم فاز و یا در فاز مخالف هستند در چه اندازه‌ای ازمنبع واقع هستند؟ ۱

۲ - نسبت انرژی جنبش به انرژی پتانسیل یک نوسان کننده در لحظه‌ای که در نصف دامنه نوسان است چقدر می‌باشد؟ ۱

۳ - مطابق شکل روبرو موجی از چپ به راست در یک



محیط انتشار می‌یابد. شکل موجی را رسم نمائید که اگر از راست به چپ انتشار یافته و در نقطه M با موج فوق به هم برسند در مدت عبور دو موج نقطه M ساکن بماند. ۰/۵

۴- شدت صوت را در یک نقطه تعریف نموده و بنویسید به چه عواملی و چگونه بستگی دارد؟ ۱/۲۵

۵- محاسبهٔ نیروی محرکهٔ القایی حاصل از یک دنیا موی مولد جریان متناوب ۱

۶- دو منبع کوهرنت (همسان) را تعریف نموده توضیح دهید طیف جذبی خطی چگونه ایجاد می‌شود؟ ۱

۷- علّت آبی رنگ بودن آسمان را توجیه نمائید. ۱

۸- با استدلال کافی علّت اثر القایی شدید جریان‌های با تواتر زیاد را توضیح دهید. ۱

۹- به اختصار اثر نور و گرما را بر نیمه رساناها با ذکر علّت توضیح دهید. ۱

۱۰- فرضیه دوّم بور را در مورد ساختمان اتم بدون ذکر روابط توضیح دهید - تلاشی بتایی را بنویسید. ۱/۵

۱۱- در یک مکان دو آونگ ساده A و B را با هم به نوسان در می‌آوریم پریُد آونگ A برابر ۱/۸ ثانیه و در مدت ۳۶ ثانیه - به گلوله آونگ B چه نیرویی (بر حسب وزن آن) و در کدام جهت وارد شود تا زمان تناوب آن نصف شود؟ $\pi^2 = g$ ۱/۷۵

۱۲- دو موج هم راستا با معادلات $y_1 = 4 \sin(\omega t - \frac{\pi}{4})$ و $y_2 = a_2 \cos \omega t$ در یک نقطه بهم می‌رسند اگر معادلهٔ بُعد برآیند بصورت $y = 4\sin(\omega t + \theta)$ باشد مقادیر a_2 و θ را بدست آورید (رسم یا محاسبه). ۱/۲۵

۱۳- قطاری با سرعت $20 \frac{m}{s}$ بر ریلی مستقیم در حرکت است به دنبال آن اتومبیلی در همان جهت و با سرعت $10 \frac{m}{s}$ حرکت می‌نماید. قطار سوت خود را که تواتر آن ۷۲۰ هرتز است به صدا درمی‌آورد تواتر صوتی که راننده اتومبیل دریافت می‌کند چقدر است - سرعت صوت در هوا $340 \frac{m}{s}$ می‌باشد. ۱

۱۴- تار مرتعش که جرم هر متر آن ۴ گرم و طول آن ۵۰ سانتی‌متر است با نیروی ۲۵۰ نیوتن کشیده شده و صوت اصلی خود را ایجاد می‌نماید. صوت حاصل با صوت اصلی لولهٔ صوتی بسته‌ای به طول ۳۰ سانتی‌متر هم صدا می‌باشد اولاً سرعت انتشار صوت در هوای درون لوله چقدر است. ثانیاً طول تار را چند سانتی‌متر کاهش دهیم تا صوت حاصل از آن با صوت اصلی لوله ۵ ضربان در ثانیه انجام دهد. ۱/۷۵

۱۵- از مداری شامل یک سیم‌پیچ به مقاوت R و ضریب خودالقایی L و یک خازن با مقاومت ظرفیتی ۶۰ اهم که بطور متوالی به هم بسته شده‌اند جریان متناوبی به شدت مؤثر ۲ آمپر عبور می‌نماید و در مبداء زمان شدت جریان صفر است اولاً - اگر معاله اختلاف پتانسیل دو معادله اختلاف پتانسیل دوسر مدار را بنویسید. ۲/۵

۱۶- در آزمایش یانگ فاصله دو شکاف ۳ میلی‌متر و فاصله پردهٔ نوارها از دو شکاف ۱/۲ متر و طول موج نور بکار رفته ۶۰۰۰ آنگستروم است. اولاً فاصله پنجمین نوار روشن از نوار مرکزی چقدر است؟ ثانیاً - در مقابل یکی از شکاف‌ها تیغه متوازی السطوحی به ضخامت ۳ میکرون قرار می‌دهیم. نوار مرکزی به محل سومین نوار تاریک انتقال می‌یابد ضریب شکسته تیغه چقدر است؟ ۱/۵

رشتهٔ علوم تجربی

درس فیزیک

۱- موارد زیر را تعریف کنید. حرکت یکنواخت بر خط راست - نیوتن - وِبر - جریان متناوب. ۲

۲ - حرکت ماهواره‌ها بدور زمین (محاسبه سرعت پریود) - چرا حرکت یکنواخت بر مسیر دایره‌ای متناسب وجود دارد؟ ۲

۳ - چگونه می‌توان ظرفیت خازنی را افزایش داد؟ - اگر خازن پر شده‌ای را از مولد جدا و صفحات آن را از هم دور کنیم چه تغییری در انرژی آن حاصل می‌شود؟ ۱/۵

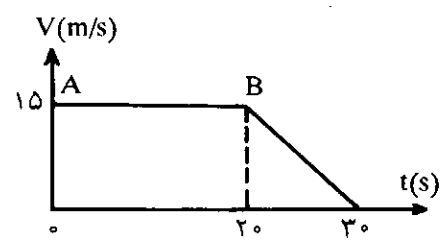
۴ - عوامل مؤثر بر سرعت صوت در گازها را بنویسید. ۱

۵ - آونگ ساده (شرح - شکل - محسبه پریود). ۱/۵

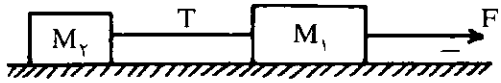
۶ - نشان دهید بین کمیتهای انرژی جنبشی و اندازه حرکت یک جسم رابطه $E_c = \frac{1}{2}\frac{p^2}{m}$ بر قرار است. ۰/۵

۷ - قانون کیرشهف را بنویسید - به چه علّت در طیف نور خورشید خطوط سیاه وجود دارند؟ - فرق بین تفرّق و تداخل نور در چیست؟ ۱/۵

۸ - نمودار سرعت زمان متحرکی برروی خط راست مطابق شکل روبرو است.
اولاً: نوع حرکت در شاخه‌های AB و BC چگونه است؟
ثانیاً: تغییر مکان متحرک و سرعت متوسط آن را در مدّت ۳۰ ثانیه حرکت پیدا کنید.
ثالثاً: نمودار شتاب - زمان آن را در این مدّت رسم کنید. ۱/۵



۹ - در شکل روبرو $M_1 = 6kgr$ و $M_2 = 4kgr$ بوسیله نخی بهم وصل شده‌اند. اگر این دو وزنه بانیروی F بر روی سطح افقی بدون اصطکاکی کشیده شوند نیروی نخ ۸ نیوتن می‌شود. پیدا کنید الف - شتاب حرکت ب - نیروی F ج - تغییرات اندازه حرکت دو وزنه در مدّت ۳ ثانیه ($V_0 = 0$) ۱/۵



۱۰ - وزنه‌ای به جرم ۱۰ کیلوگرم از بالای سطح شیبداری به ارتفاع ۵ متر بدون سرعت اولیه به پائین می‌لغزد و با سرعت $8\frac{m}{s}$ به پائین سطح شیبدار می‌رسد پیدا کنید کار اصطکاک و گرمای حاصل از آن را بر حسب کالری $g = 10\frac{N}{Kgr}$ و $J = 4\frac{j}{cal}$ ۱/۵

۱۱ - معادله ارتعاشی نقطه M به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از منبع ارتعاش O به صورت $y_M = 5\sin(20\pi t - \frac{\pi}{2})$ (C.G.S) می‌باشد. پریود حرکت و طول موج آن را حساب کنید. ۱

۱۲ - هوای درون لوله صوتی بسته‌ای را طوری به ارتعاش در می‌آوریم که هم آهنگ پنجم خود را بیان می‌کند اگر فاصله دوگره متوالی در این حالت ۲۰cm باشد پیدا کنید طول موج و طول لوله و تواتر صوت حاصل را $V = 340\frac{m}{s}$ شکل امواج در لوله را نیز بکشید. ۱/۵

۱۳ - اولاً در سیم‌پیچی که شامل ۴۰۰ حلقه است در مدّت ۰/۸ ثانیه تغییر شاری برابر با 10^{-3} Wb ایجاد شده است نیروی محرکه القائی متوسط را بدست آورید. ثانیاً اگر مقاومت حقیقی این سیم‌پیچ 40^{Ω} باشد و بر دوسر آن اختلاف پتانسیل متناوبی به معادله $V = 100\sqrt{2}\sin 300t$ وصل کنیم شدت جریان مؤثر در مدار ۲۸ می‌شود ضریب خودالقائی سیم‌پیچ و توان مصرفی آن را پیدا کنید. ۲/۵

۱۴ - انرژی فوتون نور تکرنگی برابر با 3×10^{-19} (j) می‌باشد طول موج وابسته به این نور را بدست آورید $h = 6/6 \times 10^{-34}$ (J.s) و سرعت نور $C = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ ۰/۵

دی‌ماه ۱۳۷۱

درس مکانیک

رشتهٔ ریاضی فیزیک

ج ۱ - توضیح ۰/۵ نمره

ج ۲ - نمودار شتاب - زمان ۰/۵ نمره مکان - زمان ۰/۷۵
جمع ۱/۲۵

ج ۳ - هر قسمت ۰/۵ نمره جمع ۱/۵

ج ۴ - $\Delta V = V - (-V) = 2V$ ۰/۵ نمره

$$\frac{R^2}{C^2} = \frac{a^2 + a^2 + 2a^2 \cos\alpha}{a^2 + a - 2a^2 \cos\alpha} \quad ۰/۲۵ = \frac{1 + \cos\alpha}{1 - \cos\alpha} = \frac{1 + ۰/۸}{1 - ۰/۸} \quad ۰/۲۵ = ۹$$

$$\frac{R}{C} = ۳ \quad ۰/۲۵$$

جمع ۱/۵

ج ۵ - ذکر هر عامل ۰/۲۵ - همنه افقی با نیروی جلوبر ۰/۲۵
همنه قائم با وزن ۰/۲۵ جمع ۱/۷۵

ج ۶ - شکل ۰/۲۵ شرح ۰/۵ محاسبه ۰/۵ جمع ۱/۲۵

ج ۷ -

$$\frac{\frac{1}{4}g}{g} = \frac{R_e^2}{(R_e+h)^2} \quad ۰/۲۵ \qquad \frac{g_h}{g} = \frac{R_e^2}{(R_e+h)^2} \quad ۰/۲۵$$

$h = R_e$ ۰/۲۵ جمع ۰/۷۵

ج ۸ - $W_F = F_d.d$ ۰/۲۵

$F_d = \overline{F}_{1d} + \overline{F}_{2d}$ ۰/۲۵

$W = (\overline{F}_{1d} + \overline{F}_{2d})\, d$ ۰/۲۵

$W_F = \overline{F}_{1d}.d + \overline{F}_{2d}.d = \overline{W}_{F1} + \overline{W}_{F2}$ ۰/۲۵
جمع ۱

ج ۹ - $y_1 = \frac{1}{2}gt_1^2 \rightarrow ۸۰ = ۵t_1^2 \rightarrow t_1 = ۴s$ ۰/۵

$V_1 = gt_1 \Rightarrow V_1 = ۱۰ \times ۴ = ۴۰ \frac{m}{s}$ ۰/۵

$t_2 = \frac{V_e - V_1}{a} = \frac{۴ - ۴۰}{-۲} = ۱۸s$ ۰/۲۵

$y_2 = \frac{V_e + V_1}{2} t_2 = \frac{۴ + ۴۰}{2} \times ۱۸ = ۳۹۶\ m$ ۰/۵

$t_3 = ۱۲s \quad y_3 = V_e.t_3 = ۴۸m$ ۰/۲۵

$y = ۸۰ + ۳۹۶ + ۴۸ = ۵۲۴m$ ۰/۲۵

جمع ۲/۲۵

ج ۱۰ - $T_2 - T_1 - \mu m_B g = m_B.a$ ۰/۲۵

$۱۸ - ۰/۲ \times ۳۰ = ۳a \rightarrow$ ۰/۲۵

$a = ۴ \frac{m}{s_2}$ ۰/۲۵

$m_A.g - \mu (m_B + m_C) g = (m_B + m_C + m_A) a$ ۰/۲۵

$۱۰m_A - ۰/۲ \times ۵۰ = (۵ + m_A) \times ۴$ ۰/۲۵

$m_A = ۵kg$ ۰/۲۵

جمع ۱/۵

ج ۱۱ - $y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 \sin\alpha.t$ ۰/۲۵

$-۲۰ = -۵t^2 + ۲۵ \times ۶۶$ ۰/۲۵ $\Rightarrow t = ۴s$ ۰/۲۵

$x = V_0 \cos\alpha.t$ ۰/۲۵ $\rightarrow x = ۲۵ \times ۰/۸ \times ۴ = ۸۰m$ ۰/۲۵

۰/۲۵

$$tg\beta = \frac{-gt + V_0 \sin\alpha}{V_0 \cos\alpha} = \frac{-۱۰ \times ۴ + ۲۵ \times ۰/۶}{۲۵ \times ۰/۸} = -\frac{۵}{۴}$$

۰/۵

جمع ۲

ج ۱۲ - $E_1 = E_2$

$mgh = \frac{1}{2} mV^2 + mg \times ۲R$ ۰/۵

$\rightarrow m\frac{V^2}{R} = N + mg \quad m\frac{V^2}{R} = ۲mg$ ۰/۵

$V^2 = ۲Rg$

$mgh = \frac{1}{2} m \times ۲Rg + ۲mgR$ ۰/۲۵ $\Rightarrow h = ۳R$ ۰/۲۵

جمع ۱/۵

ج ۱۳- $m_1 V_1 - m_2 V_2 = 0$ ۰/۲۵

$۰/۲ \times ۶ = ۰/۳ V_2 \rightarrow V_2 = ۴ \frac{m}{s}$ ۰/۲۵

$\frac{۱}{۲} Kx^۲ = \frac{۱}{۲} m_1 V_1^۲ + \frac{۱}{۲} m_2 V_2^۲$ ۰/۵

$\frac{۱}{۲} K \times ۰^{-۲} = \frac{۱}{۲} \times ۰/۲ \times ۳۶ + \frac{۱}{۲} \times ۰/۳ \times ۱۶$ ۰/۲۵

$K = ۲۰۰ \frac{N}{m}$ ۱ ۰/۲۵

جمع ۱/۵

ج ۱۴- $m_1 g - T_1 = m_1 a$ ۰/۲۵ و $T_2 = m_1 a$ ۰/۲۵

$T_1 . r - T_2 . r = I . \alpha$ ۰/۲۵

$T_1 . r - T_2 . r = \frac{۱}{۲} mr^۲ . \frac{a}{r}$ ۰/۲۵

$(m_1 g - m_1 a) - m_2 a = \frac{۱}{۲} ma$ ۰/۲۵

$۱۰ - a - ۳/۹ a = \frac{۱}{۲} \times ۰/۲ a$

$a = ۲ \frac{m}{s_2}$ ۰/۲۵

$T_1 = m_1 g - m_1 a = ۱۰ - ۲ = ۸ N$ ۰/۲۵

$T_2 = m_2 a = ۳/۹ \times ۲ = ۷/۸ N$ ۰/۲۵

جمع ۲ نمره

درس فیزیک

ج ۱- هر قسمت ۰/۵ نمره جمع ۱ نمره

ج ۲-

$$\frac{E_c}{E_p} = \frac{\frac{۱}{۲} mv^۲}{\frac{۱}{۲} Ky^۲} = \frac{\frac{۱}{۲} m\omega^۲ (r^۲ - y^۲)}{\frac{۱}{۲} Ky^۲} = \frac{r^۲ - \frac{r^۲}{۴}}{\frac{r^۲}{۴}} = ۳$$

۰/۲۵ ۰/۲۵ ۰/۲۵ ۰/۲۵

جمع ۱

ج ۳- رسم شکل ۰/۵

ج ۴- تعریف ۰/۵ نمره، ذکر هر مورد ۰/۲۵ جمع ۱/۲۵

ج ۵- $\varphi = BA \cos \omega t$ ۰/۲۵

$E = - \frac{\mu d\varphi}{dt}$ ۰/۲۵

$E = BA \omega \sin t$ ۰/۲۵ $E = E_m \sin . \omega t$ ۰/۲۵

جمع ۱

ج ۶- هر قسمت ۰/۵ نمره جمع ۱ نمره

ج ۷- توضیح با ذکر علت ۱ نمره

ج ۸- توضیح ۰/۵ نمره استناد به اینکه نیروی محرکه متناسب با فرکانس است و استفاده از روابط ۰/۵ نمره جمع ۱ نمره

ج ۹- توضیح ۰/۵ نمره ذکر علّت ۰/۵ نمره جمع ۱ نمره

ج ۱۰- هر قسمت ۰/۵ نمره جمع ۱ نمره

ج ۱۱- $t = \frac{NT_A T_B}{T_B = T_A} \rightarrow ۳۶ = \frac{۲ \times ۱/۸ T_B}{T_B - ۱/۸}$ ۰/۵

$T_B = ۲s$

$T_B = ۲\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow ۲ = ۲\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow L = ۱ m$ ۰/۵

چون پریود کاهش یافته جهت نیرو به طرف پایین است ۰/۲۵

$\frac{T}{\frac{۱}{۲} T} = \sqrt{\frac{g+a}{g}} \rightarrow a = ۳g \quad F = ۳mg$ ۰/۵

جمع ۱/۷۵

ج ۱۲- $A \sin \theta = a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin \theta_2$ ۰/۲۵

$A \cos \theta = a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos \theta_2$

$\sin \theta = ۴(-\frac{\sqrt{۳}}{۲}) + a_2$ ۰/۲۵

$۴ \cos \theta = ۴ \frac{۱}{۲}$ ۰/۲۵

$\theta = \frac{\pi}{۳}$ ۰/۲۵ $a_2 = ۴\sqrt{۳} cm$ ۰/۲۵

جمع ۱/۲۵

ج ۱۳- $\frac{f_s}{V - V_s} = \frac{f_.}{V - V_.}$ ۰/۲۵ ۰/۲۵ →

$\frac{۷۲۰}{۳۴۰+۲۰} = \frac{f_s}{۳۴۰+۱۰}$ ۰/۲۵

$f_s = ۷۰۰Hz$ ۰/۲۵

جمع ۱ نمره

ج ۱۴- $f = \frac{K}{۲L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{۱}{۲\times ۰/۵}\sqrt{\frac{۲۵۰}{۰/۰۰۴}} = ۲۵۰\,Hz$ ۰/۵

$f' = (۲K-۱)\frac{V'}{۴L'} \rightarrow$

$V' = ۲۵۰ \times ۴ \times ۰/۳ = ۳۰۰\,\frac{m}{s}$ ۰/۵

$f_۲ - f_۱ = n \rightarrow f_۲ = ۲۵۵$ ۰/۲۵

$\frac{f_۲}{f_۱} = \frac{L_۱}{L_۲}$ ۰/۲۵

$\frac{۲۵۵}{۲۵۰} = \frac{۵۰}{L_۲}$

$L_۲ = ۴۹\,cm$ ۰/۲۵

$\Delta L = ۱cm$

جمع ۱/۷۵

ج ۱۵- $V_L = \frac{۱۲۰}{\sqrt{۲}} = ۶۰\sqrt{۲}$ ۰/۲۵

$Z_L = \frac{V_L}{I_e} = \frac{۶۰\sqrt{۲}}{۲} = ۳۰\sqrt{۲}\Omega$

$Cos\varphi_L = \frac{R}{Z_L}$ ۰/۲۵

$R = ۳۰\sqrt{۲} \times \frac{\sqrt{۲}}{۲} = ۳۰$ ۰/۲۵

$tg\,\varphi_L = \frac{V_L}{R}$ ۰/۲۵

$X_L = R = ۳۰\Omega$ ۰/۲۵

$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{۳۰}{۳۰۰} = ۰/۱$ ۰/۲۵

$tg\,\varphi = \frac{X_L - X_c}{R} = \frac{-۳۰}{۳۰} = -۱$

$\varphi = -\frac{\pi}{۴}$ ۰/۲۵

$Cos\varphi = \frac{R}{Z} \rightarrow Z = \frac{۳۰}{\frac{\sqrt{۲}}{۲}} = ۳۰\sqrt{۲}$ ۰/۲۵

$V_m = ZI_m = ۳۰\sqrt{۲} \times ۲\sqrt{۲} = ۱۲۰\,V$

$V = Sin(۳۰۰\,t - \frac{\pi}{۴})$ ۰/۲۵

جمع ۲/۵

ج ۱۶- $\lambda = \frac{X.d}{KD}$ ۰/۲۵

$\rightarrow X = \frac{۵ \times ۱۲۰۰ \times ۶ \times ۱۰^{-۲}}{۳}$ ۰/۲۵

$X = ۱/۲m$ ۰/۲۵

$e(n-۱) = (۲K-۱)\frac{\lambda}{۲}$ ۰/۲۵ $\rightarrow$

$۳ \times ۱۰^{۴}(n-۱) = ۵ \times ۳۰۰۰$ ۰/۲۵

$n = \frac{۳}{۲}$ ۰/۲۵

جمع ۱/۵

رشتهٔ علوم تجربی

درس فیزیک

سؤال I

موارد زیر را تعریف کنید.

حرکت یکنواخت - نیوتن - وبر - جریان متناوب

۰/۵ ۰/۵ ۰/۵ ۰/۵ ۲ نمره

سؤال II

حرکت ماهواره به دور زمین ۱/۵

چرا حرکت یکنواخت بر مسیر دایره شتاب وجود دارد ۰/۵

۲ نمره

سؤال III

چگونه می‌توان ظرفیت خازن را تغییر داد ۰/۷۵

اگر خازن پرشده را ۰/۷۵ ۱/۵ نمره

سؤال IV

عوامل موثر در سرعت صوت درگازها، هر عامل مؤثر ۰/۲۵

سؤال V

آونگ ساده شرح و شکل و محاسبه پریود

۰/۵ ۰/۲۵ ۰/۷۵ ۱/۵ نمره

سؤال VI

نشان دهید $E_c = \frac{۱}{۲}\frac{p^۲}{m}$

۰/۵ نمره

سؤال VII

قانون کیرشهف - به چه علّت در طیف - فرق تفرق و تداخل

۰/۵ ۰/۵ ۰/۵

۱/۵ نمره

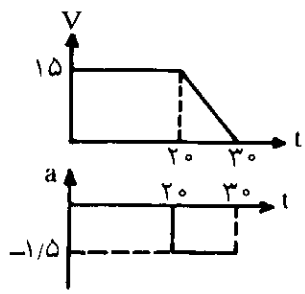
مسئله VIII

اولاً

در شاخهٔ AB یکنواخت ۰/۲۵

در شاخهٔ BC کند شونده ۰/۲۵

شکل ۰/۲۵



ثانیاً

۰/۲۵ $\Delta X = \frac{۳۰ + ۲۰}{۲} \times ۱۵ = ۳۷۵m$

۰/۲۵ $\overline{V} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۳۷۵}{۳۰} = ۱۲/۵ \frac{m}{s}$

$a = \frac{۰ - ۱۵}{۱۰} = -۱/۵ \frac{m}{s^۲}$

۱/۵ نمره

مسئله IX

$T = M_۲ a \Rightarrow ۸ = ۴a \Rightarrow a = ۲ \frac{m}{s^۲}$

۰/۲۵ ۰/۲۵

$F = (M_۱ + M_۲) a \Rightarrow F = (۶ + ۲) ۲ = ۲۰^N$

۰/۲۵ ۰/۲۵

$\Delta P = F.t \Rightarrow \Delta P = ۲۰ \times ۳ = ۶۰ Kg \frac{m}{s}$

۰/۲۵ ۰/۲۵

۱/۵ نمره

مسئله X

۰/۲۵ $E_{۱M} = mgh = ۱۰ \times ۱۰ \times ۵ = ۵۰۰ (j)$

۰/۲۵ $E_{۲M} = \frac{۱}{۲} mv^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۱۰ \times ۸^۲ = ۳۲۰ (j)$

۰/۲۵ $W_۲ = E_{۲M} - E_{۱M} = ۳۲۰ - ۵۰۰ = -۱۸۰ (j)$

۰/۲۵ $W = j Q \Rightarrow Q = \frac{۱۸۰}{۴} = ۴۵cal$

۱/۵ نمره

مسئله XI

$\omega = \frac{۲\pi}{T} \Rightarrow ۲۰\pi = \frac{۲\pi}{T} \Rightarrow T = ۰/۱ (s)$

۰/۲۵ ۰/۲۵

$\varphi = \frac{۲\pi x}{\lambda} \Rightarrow \frac{\pi}{۲} = \frac{۲n \times ۰/۵}{\lambda} \Rightarrow \lambda = ۲m$

۰/۲۵ ۰/۲۵

۱نمره

مسئله XII

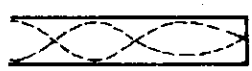
۰/۲۵ $\frac{\lambda}{۲} = ۲۰ \Rightarrow \lambda = ۴۰cm = ۰/۴m$

۰/۲۵ $L = (۲K - ۱)\frac{\lambda}{۴} \Rightarrow L = \frac{۵ \times ۰/۴}{۴} = ۰/۵m$

۰/۲۵

$f_K = (۲K - ۱) \frac{V}{۴} \Rightarrow f_K = \frac{۵ \times ۳۴۰}{۴ \times ۰/۵} = ۸۵۰ Hz$

۰/۲۵



۰/۲۵

۱/۵ نمره

مسئله XIII

۰/۲۵ $E = -N \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \Rightarrow E = ۴۰۰ \times \frac{۱۰^{-۳}}{۰/۸} =$ ولت ۰/۵

۰/۲۵

۰/۲۵ $V_e = T_e Z \Rightarrow Z = \frac{۱۰۰}{۲} = ۵۰\Omega$ ۰/۲۵

$Z^۲ = R^۲ + X_L^۲ \Rightarrow ۵۰^۲ = ۴۰^۲ + X_L^۲ \Rightarrow X_L = ۳۰ \Omega$

۰/۲۵

$X_L = L\omega \Rightarrow ۳۰ = L \times ۳۰۰ \Rightarrow L = ۰/۱H$

۰/۲۵ ۰/۲۵

$P = RT_e^۲ \Rightarrow P = ۴۰ \times ۲^۲ \Rightarrow P = ۱۶۰ W$

۰/۲۵ ۰/۲۵

۲/۵ نمره

مسئله XIV

۰/۲۵ $E = h \times \frac{c}{\lambda}$

$۳ \times ۱۰^{-۱۹} = ۶/۶ \times ۱۰^{-۳۴} \times \frac{۳ \times ۱۰^۸}{\lambda}$

۰/۲۵ $\lambda = ۶/۶ \times ۱۰^{-۷} (m)$

۰/۵ نمره

حادثه راکتور اتمی در چرنوبیل شوروی [1] از نگاه دیگر

قسمت اول

نوشتهٔ برنارد ال. کوهن [2]
ترجمهٔ دکتر مجتبی جعفرپور [3]

چکیده: سلسلهٔ رویدادها و نتایج حادثهٔ رآکتور اتمی که در خرداد ۱۳۶۵ / آوریل ۱۹۸۶ در چرنوبیل شوروی اتفاق افتاد، در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالب زمینه‌ای در فیزیک رآکتور اتمی و انفجار هسته‌ای که برای فهمیدن این رویدادها لازم است به تفصیل تشریح می‌شود و اختلاف بین رآکتورهای آمریکایی و رآکتورهای نوع چرنوبیل بیان می‌شود.

۱ ــ پیشگفتار

تشریح حادثه‌ای که در خرداد ۱۳۶۵ / آوریل ۱۹۸۶، در نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل شوروی روی داد، نیاز به درک مفاهیم بسیاری در فیزیک رآکتور و تکنولوژی سلاح‌های هسته‌ای دارد که معمولاً در دوره‌های فیزیک تدریس نمی‌شوند. بنابراین گفتگو در مورد این حادثه، فرصت مغتنمی را پدید می‌آورد تا این مفاهیم را در یک مضمون جالب بیاموزیم. در این مقاله چنین بحثی را دنبال خواهیم کرد.

۲ ــ رآکتورهای حرارتی و رآکتورهای سریع

اساس رآکتورهای هسته‌ای، یک واکنش زنجیره‌ای خود نگهدار است که در طی آن نوترونهای ایجاد کنندهٔ واکنشهای هسته‌ای تولید می‌شوند. کمیت مورد توجّه در اینجا η است و به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$\eta = \frac{\text{نوترونهای تولید شده در یک واکنش}}{\text{نوترونهای مصرف شده در یک واکنش}}$$

چون این واکنشها تنها منبع نوترونها هستند، لازمهٔ اینکه فرآیند، خود نگهدار باشد، اینست که برای مقدار میانگین η که با $\overline{\eta}$ نشان می‌دهیم داشته باشیم:

$$\overline{\eta} \geqslant 1/0$$

وقتی که یک نوترون با یک هستهٔ U^{235} (که از این پس U ــ ۲۳۵ می‌نویسیم) برخورد می‌کند معمولاً یک واکنش شکافتی را ایجاد می‌کند که در آن تا ۶ نوترون گسیل می‌شود؛ به طور میانگین $\eta(U - ۲۳۵) = 2/0$ است. وقتی یک نوترون با یک هستهٔ U^{238} (که از این پس U ــ ۲۳۸ می‌نویسیم) برخورد می‌کند، واکنش تقریباً همیشه $(\gamma$ و $n)$ است، که در آن نوترونی گسیل نمی‌شود. بنابراین $\eta(U - ۲۳۸) = 0$ است. لذا شرط (۱) یعنی $\overline{\eta} \geqslant 1/0$ که برای یک واکنش زنجیره‌ای لازم است، ایجاب می‌کند که حداقل نیمی از تمام نوترونها با U ــ ۲۳۵ واکنش انجام دهند.

انرژی نوترونهایی که در واکنشهای شکافت به دست می‌آیند. به طور میانگین 1MeV است. نوترونهای دارای این انرژی را «سریع» می‌نامند. سطح مقطع مؤثر برای نوترونهای سریع تقریباً برابر πR^2 است که در آن، R شعاع هسته است و به آرامی با جرم هسته تغییر می‌کند. بنابراین سطح مقطع مؤثر نوترونهای سریع برای U ــ ۲۳۵ و U ــ ۲۳۸ تقریباً برابر است، و برای اینکه به تعدادی که نوترون با U ــ ۲۳۵ برخورد می‌کند به همان تعداد با U ــ ۲۳۸ برخورد کند، یعنی شرط یک واکنش زنجیره‌ای، را داشته باشیم این است که حداقل به همان اندازه که U ــ ۲۳۸ در سوخت هسته‌ای وجود دارد U ــ ۲۳۵ هم وجود داشته باشد.

چون اورانیوم طبیعی شامل ۹۹/۳ درصد U ــ ۲۳۸ و فقط ۰/۷ درصد U ــ ۲۳۵ است، به نظر می‌رسد که سوخت مناسبی برای چنین واکنش‌زنجیره‌ای نباشد. امّاتمهیدی برای حل این مشکل در دست نیست. برای نوترونهایی که انرژی حرارتی (یعنی انرژی مولکولهای محیط اطراف، که برابر 0/025eV در دمای ۳۰۰K است) دارند، سطح مقطعها برابر با $\sigma(U - ۲۳۵) = 590b$، (1b برابر 10^{-24} سانتیمترمربع است) و $\sigma(U - ۲۳۸) = 2/7b$ هستند (دلایل هسته‌ای خوبی برای این اختلافات زیاد وجود دارد). بنابراین برای نوترونهای دارای انرژی حرارتی، نسبت آنهایی که با U ــ ۲۳۵ واکنش می‌کنند به آنهایی که با U - ۲۳۸ واکنش می‌کنند، برابر است با ۱/۵=(۲/۷ × ۹۹/۳) / (۵۹۰ × ۰/۷)، کسری که با U - ۲۳۵ واکنش می‌کنند برابر

۰/۶۰=(۱/۰ + ۱/۵)/(۱/۵) و

۱/۲۰ = (۲/۰ × ۰/۶۰) = $\overline{\eta}$ است این موضوع به شرطی در رابطهٔ (۱) صدق می‌کند که تمام نوترونها با اورانیوم بر هم کنش کنند و حتی اگر ۱۷٪ = (۱/۲۰ / ۰/۲۰) نوترونها با مواد دیگر واکنش کنند (که برای آنها ۰ = η است) و یا از کناره‌ها فرار کنند، واکنش زنجیره‌ای می‌تواند وجود داشته باشد.

بنابراین، تمهید اینست که انرژی نوترونها راقبل از برهم‌کنش، از ۱MeV به ۰/۰۲۵eV که یک ضریب $۱۰^{-۸}$ است، برسانیم. این کار با افزایش یک «کندکننده»، ماده‌ای که نوترونها می‌توانند بدون اینکه گرفتار شوند، با ملکولهای آن برخوردهای پراکندگی داشته باشند، انجام می‌گیرد. در یک برخورد الاستیک، هسته‌ای به جرم A (برحسب واحدهای جرم اتمی) که نوترون با آن برخورد کرده است، به طور میانگین با انرژی (A + ۱) / ۱ برابر انرژی نوترون برخورد کنند، پس می‌زند و انرژی نوترون، به همین اندازه کاهش می‌یابد. آشکار است که یک کند کنندهٔ مؤثر باید A آن کوچک باشد. شرط لازم دیگر برای یک کندکننده اینست که سطح مقطع مؤثر آن، σ_c، برای جذب نوترونها [معمولاً در واکنشهای (γ و n) کوچک باشند. از لحاظ شرط اوّل ^{۱}H (هیدروژن معمولی H) بهترین است، امّا یک σ_c بزرگ نامناسب دارد. هستهٔ سبک‌تر بعدی، ^{۲}H (دوتریوم، D) است و σ_c برای آن خیلی کوچک است. مورد دیگر ^{۱۲}C (کربن معمولی، C) است که A آن بزرگ و نامناسب است، اما σ_c برای آن بسیار کوچک است.

گازها مناسب نیستند، زیرا به تعداد کافی اتم در واحد حجم ندارند. اما σ_c برای اکسیژن بسیار کوچک است و اجازه می‌دهد که هیدروژن، به صورت آب مورد استفاده قرار گیرد بنابراین سه ماده برای کندکننده‌ها داریم که عبارتند از $H_۲O$ (آب سبک) $D_۲O$ (آب سنگین) و C (گرافیت). در سال ۱۳۲۰ / ۱۹۴۱، این پرسش مطرح بود که آیا می‌شود این کندکننده‌ها را با اورانیوم طبیعی به کار برد تا یک واکنش زنجیره‌ای خود نگهدار تولید شود.

با آب سنگین خیلی آسان است، امّا تولید $D_۲O$ نیاز به جداسازی ایزوتوپهای هیدروژن دارد. در خلال جنگ دوم جهانی، آلمان با برپا ساختن یک کارخانه بزرگ جداسازی ایزوتوپهای هیدروژن در نروژ، که مقادیر زیاد انرژی الکتریکی لازم به آسانی فراهم بود، این روش را به کار می‌برد. امّا انگلیسها، این کارخانه را در یک حمله کوماندویی تماشایی نابود کردند، که بعدها در یک فیلم سینمایی به روشنی به تصویر کشیده شد. این انتهای برنامهٔ اسلحهٔ اتمی آلمان بود. رآکتورهای تولید نیروی کانادا، اینک اورانیوم طبیعی را همراه با آب سنگین به عنوان کندکننده مورد استفاده قرار می‌دهند.

اگر گرافیت فوق‌العاده خالص باشد می‌توان با استفاده از آن به عنوان کند کننده یک واکنش هسته‌ای خود نگهدار با اورانیوم طبیعی به دست آورد. حتی مقادیر بسیار ناچیز مواد ناخالصی با σ_c متوسط، به اندازه کافی نوترون جذب می‌کنند که ۱/۰>$\overline{\eta}$ ایجاد کنند و فرآیند را متوقف سازند. گرافیت با خلوص کافی، برای اولین بار در جنگ جهانی دوم بدست آمد و این موضوع به فرمی و همکارانش امکان داد تا در دانشگاه شیکاگو اولین واکنش هسته‌ای زنجیره‌ای را در سال ۱۳۲۱ / ۱۹۴۲ ایجاد کنند. تمام رآکتورهایی که در خلال جنگ دوم جهانی ساخته شدند، اورانیوم طبیعی را با کند کننده گرافیت مورداستفاده قرار می‌دادند.

معلوم می‌شود که آب معمولی، $H_۲O$ را نمی‌توان همراه با اورانیوم طبیعی، برای به دست آوردن یک واکنش زنجیره‌ای خود نگهدار به کار برد. هیدروژن بیش از اندازه نوترون جذب می‌کند. در حقیقت، این جای خوشبختی است، زیرا در غیر اینصورت، ساختن رآکتورها آسان می‌بود و هیتلر هم در جنگ جهانی دوّم، اسلحه اتمی می‌داشت. برای اینکه با کند کننده $H_۲O$ یک رآکتور بسازیم، اورانیوم را باید حداقل تا ۲/۵ درصد در ۲۳۵ ــ U غنی سازیم. رآکتورهای اتمی تجاری در آمریکا، این تکنولوژی را که رآکتورهای با آب سبک (LWR) نامیده می‌شود، با غنای در حدود ۳٪ به کار می‌برند. اما برای غنای کمتر از ۲/۵٪، $H_۲O$ یک سمّ است یعنی تأثیر اساسی آن اینست که نوترونها را جذب کند و اجرای یک واکنش زنجیره‌ای خود نگهدار را مشکل‌تر سازد.

۳ ــ مقایسه بین رآکتورهای با آب سبک آمریکایی و رآکتور چرنوبیل

در رآکتورهای با آب سبک آمریکایی، آب کندکننده است و بنابراین برای ادامهٔ واکنش زنجیره‌ای و آزاد شدن انرژی آن حیاتی است. اگر آب به شکلی ناپدید شود [حادثه فقدان آب خنک‌کننده (LOCA)] واکنش زنجیره‌ای بلافاصله متوقف می‌شود. اگر به هر دلیلی دما بالا رود، آب رقیق‌تر می‌شود و یا می‌جوشد، که موجب کاهش مقدار کندکننده می‌شود، که واکنش زنجیره‌ای را کند می‌کند، که انرژی خروجی را کاهش می‌دهد، که دما را پایین می‌آورد. بنابراین یک (LWR) (رآکتور با آب سبک)، در مقابل افزایش دما پایدار است. افزایشی در دما موجب می‌شود که دما کاهش یابد. مثال شاخصی از این پایداری، رآکتورهای تحقیقاتی است که برای تولید تپهای میلی ثانیه‌ای نوترون به کار می‌روند.

یک میلهٔ کنترل، به معنی واقعی کلمه به وسیله هوای فشرده به خارج پرتاب می‌شود و رآکتور را به حالت فوق بحرانی می‌رساند و بنابراین شار بزرگی از نوترون را ایجاد خواهد کرد. اما این موضوع در ظرف چندمیلی ثانیه دما را تا آن اندازه بالا می‌برد که واکنش زنجیره‌ای می‌ایستد و تولید نوترون را متوقف می‌سازد.

ممکن است پرسیده شود که با تمام این پایداری چگونه حادثه‌هایی مانند رویداد «تری مایل آیلند» می‌تواند در رآکتورهای آمریکا اتفاق افتد. آن حادثه ناشی از واکنش زنجیره‌ای افسار گسیخته نبود. در واقع، واکنش زنجیره‌ای، چندثانیه پس از اولین اشکال متوقف شد. مسأله در آنجا و اساساً در تمام حادثه‌های پیش‌بینی شده در LWRها اینست که تولید گرما، به وسیله رادیواکتیویتهٔ باقی مانده به میزان چند درصد توان تولید شده به وسیلهٔ واکنش زنجیره‌ای، ادامه می‌یابد. در صورتی که خنک کردن متوقف شود این گرما کافی است که قلب رآکتور را ذوب کند، امّا این فرآیند، به وقت بیشتری نیاز دارد و عموماً موجب انفجارهای شدید نمی‌شود.

رآکتورهای نوع چرنوبیل با گرافیت کند می‌شود و اما برای تولید بخار که برای تولید الکتریسیته لازم است، سوخت اورانیوم با جریان آب که می‌جوشد و بخار می‌شود، احاطه شده است. حضور این آب ایجاب می‌کند که اورانیوم تا ۲ درصد و در $U-235$ غنی شود، امّا در این غنای کم، آب باز هم مانند سمّ عمل می‌کند و تمایل دارد که واکنش زنجیره‌ای را کند سازد. و بدین معنی که اگر به نحوی آب از دست برود، واکنش زنجیره‌ای شتاب می‌گیرد، وضعیتی که بالقوّه خطرناک است. اگر به دلیلی دمّا افزایش یابد. جوشیدن بیشتر و بنابراین آب کمتر می‌شود، که به معنی سمّ کمتر است، که موجب شتاب گرفتن واکنش زنجیره‌ای است. که انرژی بیشتری را آزاد می‌کند، که موجب افزایش بیشتر دما می‌شود. در یک کلام، رآکتور در مقابل افزایش دما ناپایدار است.

چرا باید کسی رآکتوری را بسازد که در مقابل افزایش دما ناپایدار باشد و در صورت از دست‌رفتن آب، تمایل به «افسار گسیختگی» داشته باشد؟ طراحان روسی استدلالشان این بود که این مسائل را می‌توان به آسانی با استفاده از دستگاه‌های فعال، که میله‌های کنترل را وارد می‌سازند حل کرد. خط مشی طراحی رآکتور در آمریکا این نیست که رآکتور برای ایمنی، به دستگاه‌های فعال وابسته باشد، زیرا دستگاه‌های فعال می‌توانند از کار بیافتند. خیلی بهتر است که به قوانین فیزیک، که نمی‌توانند از کار بیافتند، بستگی داشته باشد. روسها این سیاست را نمی‌پذیرند امّا مهم‌تر از آن رآکتورهای نوع چرنوبیل، در عین‌حال که الکتریسیته تولید می‌کنند، برای تولید پلوتونیوم (Pu) از درجه مورداستفاده در بمب، طراحی شده‌اند. برای اینکه دربیابیم که این موضوع چگونه بر طراحی رآکتور تأثیر می‌گذارد، لازم است که اساس بمبهای هسته‌ای را دریابیم.

۴ ــ بمبهای هسته‌ای

لازمه توان انفجاری این نیست که مقادیر زیاد انرژی آزاد شود ــ از سوزاندن یک گرم زغال، بیش از سوزاندن یک گرم TNT، انرژی آزاد می‌شود. بلکه، اینست که انرژی در زمانی خیلی کوتاه آزاد شود. در یک بمب هسته‌ای، در هر صورت این موضوع الزامی است، زیرا یک «جرم بحرانی» برای ادامهٔ واکنش زنجیره‌ای لازم است. بدین‌معنی که وقتی دستگاه متلاشی می‌شود، پس از اینکه پاره‌های آن به فاصله چند سانتیمتر از یکدیگر برسند، تولید انرژی متوقف می‌شود. سرعت گلوله‌های تفنگ تا ۹×۱۰^{۴} سانتی‌متر بر ثانیه می‌رسد، بنابراین شاید پاره‌های بمب با سرعت ۳×۱۰^{۵} سانتیمتر بر ثانیه از هم دور شوند. این موضوع می‌رساند که بعد از ۱۰ میکرو ثانیه آزادشدن انرژی متوقف می‌شود.

در رآکتورهای حرارتی که ما به تشریح آنها پرداخته‌ایم، وقایع خیلی آهسته‌تر اتفاق می‌افتند. سرعت یک نوترون حرارتی درحدود ۲×۱۰^{۵} سانتیمتر بر ثانیه است ولی باید یک فاصله شاید ۲۰ سانتیمتری را طی کند تا دوباره به درون سوخت برگردد و در آنجا یک واکنش شکافتی را تولید کند، که زمان لازم برای این کار برابر $\frac{۲\times۱۰^{۵}}{cm}$ ثانیه و یا $۱۰^{-۴}$ ثانیه و یا ۱۰۰۰ میکروثانیه است. این مدت (به اضافهٔ درحدود $۱۰^{-۵}$ ثانیه که برای حرارتی شدن نوترون لازم است)، زمان یک «نسل» نوترونها در یک راکتور حرارتی است، یعنی از زمانی که نوترون در یک واکنش شکافتی «متولد» می‌شود تا زمانی که یک واکنش شکافتی را ایجاد می‌کند تا نسل بعدی نوترونها را ایجاد نماید. این موضوع، مانند نسل ۳۰ سالهٔ مردم است، با این تفاوت که درمورد اخیر، پدران و مادران پس از تولد فرزندان، مانند نوترونها نمی‌میرند. آشکار است که زمان نسل ۱۰۰ میکروثانیه برای یک رآکتور حرارتی، با زمان ۱۰ میکروثانیه که برای آزاد شدن انرژی در یک بمب هسته‌ای فراهم است، هماهنگی ندارد.

بنابراین یک بمب هسته‌ای باید یک رآکتور «سریع» که در آن نوترونها کند نمی‌شوند باشد. نوترون با سرعتی درحدود $۱۰^{۹}$ سانتیمتر بر ثانیه از یک واکنش شکافتی خارج می‌شود. سطح مقطع آن برای برهم کنش در اورانیوم ($\pi R^{۲} \simeq$) که تقریباً برابر $۲\times۱۰^{-۲۴}cm^{۲}$ است که شامل تعداد زیر می‌شود:

(چگالی) $\frac{g}{cm^3}$ ۱۵ × $\frac{\text{مول/ اتم } ۶ \times ۱۰^{۲۳}}{\text{مول/ گرم } ۲۳۵}$

$= ۴ \times ۱۰^{۲۲}$ اتم/cm^3

بنابراین میانگین فاصله‌ای که نوترون قبل از برهم کنش طی می‌کند برابر است با

$[۲ \times ۱۰^{-۲۴} cm^2/\text{اتم} \times ۴ \times ۱۰^{۲۲} \text{اتم}/cm^3]^{-۱}$

$= ۱۰cm$

که زمان

$(\frac{۱۰cm}{۱۰^{۹} cm/s}) = ۱۰^{-۸} s$

یا $۱۰^{-۲}$ μs نیاز دارد. این، زمان یک نسل برای نوترونهای سریع است.

چون سطح مقطع برخورد یک نوترون سریع با U - ۲۳۵ و U - ۲۳۸ یکسان است. لزوم اینکه حداقل نیمی از نوترونها با U -۲۳۵ برخورد کند، بدین معنی است که اورانیوم باید تا ۵۰ درصد در U - ۲۳۵ غنی شود. این کار شاید رآکتور را فقط بحرانی سازد، اما یک بمب باید فوق بحرانی باشد. در بمبهای آمریکا غنای بیش از ۹۰ درصد به کار می‌رود. بدین معنی که ۹۰ درصد از نوترونها، به هسته‌های U - ۲۳۵ برخورد می‌کنند که برای آنها $\bar{\eta} = ۲$ است که $\bar{\eta} = ۱/۸$ حاصل می‌شود. با درنظر گرفتن این واقعیت که بعضی نوترونها از کناره‌ها فرار می‌کنند، شاید مقدار واقعی $\bar{\eta}$ در بمب ۱/۵ باشد. این موضوع می‌رساند که در هر نسل، تعداد نوترونها با ضریب ۱/۵ افزایش می‌یابد. سپس تعداد نسلهای لازم برای آزاد شدن انرژی موردنظر را تخمین می‌زنیم. براساس هم ارزیهای انرژی، هر پوند از ماده که متحمل شکافت شود به اندازه انفجار ۹۰۰۰ تن متریک (۹ کیلوتن) تی ان تی (T.N.T)، انرژی آزاد می‌کند. بنابراین یک بمب یک مگاتنی ۱۰۰۰ کیلوتنی)، نیاز به شکافت درحدود ۱۰۰ پوند، یا درحدود $۱۰^{۲۶}$ اتم U - ۲۳۵ دارد. اگر x نمایندهٔ تعداد نسلهای لازم نوترون باشد،

$(۱/۵)^x = ۱۰^{۲۶}$

که با حل آن مقدار $x = ۱۵۰$ به دست می‌آید. با زمان نسل $۱۰^{-۲}$ μs مدت لازم برای این فرآیند $۱/۵ \mu s = ۱۵۰ \times ۱۰^{-۲}$ است، که به خوبی در گسترهٔ ۱۰ میکروثانیهٔ لازم برای متلاشی شدن ماده قرار دارد.

بنابراین، مادّه‌ای که در آن ۹۰ درصد از هسته‌ها شکافتنی باشد، سوختی مناسب برای یک بمب هسته‌ایست. یک مثال، اورانیوم کاملاً غنی شده است. پیشنهادی دیگر که امتیازاتی ویژه دارد (مثلاً مقدار بزرگ η) پلوتونیوم ۲۳۹ (Pu ـ ۲۳۹) است.

۵ ـ تولید پلوتونیوم

پلوتونیوم در طبیعت یافت نمی‌شود، امّا می‌توان آنرا از طریق جذب نوترون در U ـ ۲۳۸ که تولید U ـ ۲۳۹ می‌کند و سپس با دو واپاشی بتای نسبتاً سریع به Pu ـ ۲۳۹ تبدیل می‌شود، تولید کرد. بنابراین پلوتونیوم صرفاً با قراردادن U ـ ۲۳۸ در یک رآکتور هسته‌ای تولید می‌شود. امّا مقدار زیادی U ـ ۲۳۸ اساساً در هر رآکتوری وجود دارد؛ برای مثال، سوخت رآکتورهای LWR آمریکایی ۳ درصد U ـ ۲۳۵ و ۹۷ درصد U ـ ۲۳۸ است و درنتیجه مقدار زیادی Pu ـ ۲۳۹ ایجاد می‌شود. همین موضوع است که اجازه می‌دهد تا سوخت برای یک سال و یا بیشتر در رآکتور باقی بماند، وقتی U ـ ۲۳۵ مصرف می‌شود، به عنوان یک سوخت با Pu ـ ۲۳۹ که تازه ایجاد شده است جانشین می‌شود، تاحدّی که دوسوم انرژی آزاد شده، حاصل از شکافت Pu ـ ۲۳۹ باشد.

اگر هدف از تهیهٔ Pu ـ ۲۳۹ به منظور استفاده در بمب باشد، اورانیوم از رآکتور خارج شده، حل می‌شود و با فرآیند شیمیایی، پلوتونیوم آن جدا می‌شود.

در یک رآکتور، با تولید مقدار معینی انرژی، مقدار پلوتونیوم ایجاد شده، با نسبت U ـ ۲۳۸/U ـ ۲۳۵ و یا با عکس نسبت غنای اورانیوم متناسب است. چون رآکتوری که با H_2O کند می‌شود، غنای نسبتاً زیادی لازم دارد، برای این منظور مناسب نیست. از این رو رآکتورهای تولید پلوتونیوم به وسیله گرافیت (در هانفورد، ایالت واشنگتن) و یا به وسیله آب سنگین (در کارخانه ساوانا ریور، ایالت کارولینای جنوبی) کند می‌شوند. به همین دلیل است که رآکتور چونوبیل با گرافیت کند می‌شود.

پلوتونیوم تولید شده برای یک بمب، اساساً پلوتونیوم خالص است، امّا ماده شکافتی خالص نیست، زیرا مقداری پلوتونیوم ۲۴۰ (Pu ـ ۲۴۰) در آن موجود است. یک اتم Pu ـ ۲۳۹ پس از تشکیل، ممکن است با یک نوترون برخورد کند که معمولاً منجر به شکافت می‌شود، امّا گاهی به واکنش (γ و n) می‌انجامد و Pu ـ ۲۴۰ را تولید می‌کند.

این حقیقت که Pu ـ ۲۴۰ ماده شکافت‌پذیر، تنها مشکل این وضعیت نیست. و مهم‌تر این واقعیت است که در Pu ـ ۲۴۰، احتمال نسبتاً زیادی برای واپاشی رادیواکتیو با شکافت خود به خود دارد. و شکافت مزبور با تابش نوترون همراه است. به طور خلاصه Pu ـ ۲۴۰ خودبه‌خود نوترون تابش می‌کند. موضع اخیر احتمال «انفجار نارس» بمب را فراهم می‌سازد.

برای فهمیدن این موضوع سوار کردن یک بمب را درنظر بگیرید. البته در آغاز باید تحت بحرانی باشد، اما برای ایجاد واکنش هسته‌ای سریعاً رو به افزایش باید کاملاً فوق بحرانی باشد. برای رفتن از حالت تحت بحرانی به حالت کاملاً بحرانی، ماده را حداقل باید درحدود ۲ سانتیمتر جابه‌جا کرد. این

جابه‌جایی را احتمالاً نمی‌توان با سرعتی بیش از پنج برابر سرعت یک گلوله تفنگ، یا ۵×۱۰^{۵} سانتیمتر بر ثانیه، انجام داد. بنابراین، زمان لازم برای این جابه‌جایی درحدود ۴×۱۰^{-۶} ($۲/۵ \times ۱۰^{۵}$=) ثانیه یا ۴ میکروثانیه است. اگر نوترونی در خلال این ۴ میکروثانیه در صحنه حاضر شود، واکنش زنجیره‌ای خیلی زودرس شروع می‌شود. این عمل نیروهای قدرتمندی را ایجاد می‌کند که تمایل دارد مادّه را متلاشی سازد و بنابراین از سوار کردن کامل جلوگیری خواهد کرد و ازاین‌رو، آزادسازی همه جانبهٔ انرژی بمب، به تکامل نخواهد رسید. این رویداد «انفجار زودرس» نامیده می‌شود.

احتمال اینکه در خلال فرآیند انباشتن، یک نوترون از طریق شکافت خود به خود ظاهر شود، چه اندازه است؟ در آغاز مقدار Pu ـ ۲۳۹ در یک رآکتور، به طور خطی با زمان بیشتر می‌شود. چون آهنگ تولید Pu ـ ۲۴۰ متناسب با مقدار Pu ـ ۲۳۹ است و بنابراین به طور خطی با زمان افزایش می‌یابد، لذا مقدار Pu ـ ۲۴۰، متناسب با مربع زمان افزایش می‌یابد. بدین ترتیب، نسبت Pu ـ ۲۴۰ /Pu ـ ۲۳۹ به طور خطی با زمان بیشتر می‌شود و بنابراین، تابع زمانی است که اورانیوم در رآکتور باقی مانده است، معلوم می‌شود که اگر پلوتونیوم موجود در یک بمب برای مدت ۳۰ روز در رآکتور باقی مانده باشد به طور میانگین هر ۱۵ میکروثانیه یک نوترون تولید می‌کند، درحالی که اگر مانند یک رآکتور آمریکایی LWR، ۳ سال در رآکتور باقی مانده باشد، در هر ۰/۵ میکروثانیه باید انتظار یک نوترون را داشت. درمورد اخیر، محتملاً چندین نوترون در فاصلهٔ زمانی ۴ میکروثانیه که برای سوار کردن بمب لازم است، وجود خواهد داشت و «انفجار زودرس» حتمی است. این موضوع روشن می‌کند که تروریستها برای ساختن بمب از پلوتونیوم حاصل از سوخت LWR با چه مشکلی روبرو خواهند بود. برای جلوگیری از انفجار زودرس مهم است که اورانیوم، برای کمترین مدت ممکن، معمولاً حدود ۳۰ روز در رآکتور باقی بماند.

در یک LWR آمریکایی برای تعویض سوخت باید رآکتور را حداقل به مدت ۳۰ روز خاموش کنند. بنابراین آشکارست که تعویض سوخت هر ۲۰ روز یک بار عملی نیست. این موضوع، قید دیگری را بر طرح رآکتور نوع چرنوبیل تحمیل می‌کند ــ تعویض سوخت باید بدون خاموش کردن رآکتور انجام گیرد. این کار نیاز به فضای کاری قابل ملاحظه‌ای در بالای رآکتور دارد، که قرار دادن آن در یک محفظه را، به نحوی که در LWRهای امریکایی به کار می‌رود، غیرممکن می‌سازد.

محفظه‌های آمریکایی، از بتون کاملاً مسلح، به قطر ۳ پا، که با نوارهای فولادی مسلح شده است، ساخته می‌شوند. آنها به شکلی طرح شده‌اند که رآکتور را از خطرات خارجی، مانند هر چیزی که گردباد بتواند به سمت آن پرتاب کند (مانند یک ماشین، یک درخت یا یک خانه) تقریباً هر هواپیمایی که با آن برخورد کند، هر مقدار مادهٔ منفجره‌ای که در کنار آن قرار گیرد و امثال آن، محافظت نماید. امّا چنان طرح شده‌اند که در صورت وقوع یک حادثه، هر مقدار ماده رادیو اکتیو آزاد شده را، درون خود نگه دارند. برای مثال، تمام مطالعاتی که در مورد حادثه تری‌مایل آیلند انجام گرفته، به این نتیجه رسیده است که حتی اگر آن حادثه به ذوب کامل منتهی می‌شد، خطری برای مردم وجود نمی‌داشت، زیرا تمام اکتیویته، اساساً در داخل محفظه باقی می‌ماند. رآکتورهای نوع چرنوبیل، این حفاظت را ندارند. حتی بعد از حادثه چرنوبیل، دانشمندان روسی هنوز بر این عقیده‌اند که افزودن چنین محفظه‌ای امکانپذیر نخواهد بود.

۶ ــ مقایسه رآکتورهای LWR آمریکایی و رآکتورهای چرنوبیل ــ خلاصه تفاوتها

یک LWR، صرفاً شامل اورانیوم با غنای ۳ درصد است که در یک تک ظرف مستحکم رآکتور (نوعاً از جنس فولاد با ضخامت ۸ اینچ) قرار گرفته است. آب به درون اورانیوم جریان می‌یابد و به عنوان کند کننده عمل می‌کند. در اثر واکنش زنجیره‌ای، آب گرم می‌شود و بنابراین به عنوان عامل انتقال گرما عمل می‌کند. در یک نوع LWR به نام «رآکتور آب جوشان» آب به اندازه کافی گرم می‌شود تا به بخار با فشار بالا تبدیل شده و سپس برای به کار انداختن مولد بخار به کار رود. در نوع دیگر LWR به نام «رآکتور با آب تحت فشار» آب به صورت مایع داغ باقی می‌ماند و سپس برای تولید بخار لازم به کار می‌رود. اگر در یک LWR آب تمام شود، به علت نبودن کند کننده، واکنش زنجیره‌ای خود به خود متوقف می‌شود. LWRها در مقابل تغییرات دما پایدارند. بخشی از سوخت، هر سال یا هر دو سال یک بار تعویض می‌شود، که آنرا برای تولید پلوتونیوم از درجهٔ بمب، غیرمناسب می‌سازد. LWRها با یک محفظهٔ کامل، محافظت می‌شوند.

در رآکتور نوع چرنوبیل، کند کننده، ۱۵۰۰ تن گرافیت است که ۱۷۰۰ لولهٔ با دیوارهٔ نازک، که محتوی سوخت است، درون آن قرار گرفته است. آبی که به درون این لوله‌ها پمپ می‌شود می‌جوشد، تا بخار لازم برای به کار انداختن مولد توربینی را تولید کند. از دست رفتن آب، موجب تشدید سریع واکنش زنجیره‌ای می‌شود و دستگاه، در مقابل تغییرات دما ناپایدار است. سوخت را می‌توان به طور مرتّب، بدون خاموش کردن رآکتور تعویض کرد، که آنرا برای تولید پلوتونیوم از درجهٔ

مب، مفید می‌سازد. بخش بالای رآکتور که از نجا سوخت تعویض می‌شود، اساساً محفوظ یست (تنها یک پوشش وجود دارد که می‌تواند قط انفجار یکی از ۱۷۰۰ لوله را تحمل کند.)

یک مورد جزئی دیگر دربارهٔ رآکتور رنوبیل با حادثه‌ای که روی داد، ارتباط دارد، خار تولید شده در لوله‌ها، در جداکنندهٔ بخار جمع می‌شود، که در آنجا قطرات آب آن، با عبور حبابی از درون آب، جدا می‌شود. تمام بی که وارد رآکتور می‌شود، ابتدا از جدا کننده‌های بخار می‌گذرد.

۷ ــ آزمایش

با این زمینهٔ گسترده، ما اینک آماده‌ایم تا مام رویدادهایی را که منجر به حادثهٔ چرنوبیل شده مورد بحث قرار دهیم. این حادثه از زمایشی که برای تکمیل کاربرد انرژی جنبشی ذخیره شده در مولد توربینی ($\frac{1}{2}I\omega^2$)، برای راه‌اندازی پمپها، در صورت ایجاد اشکال در رق خارج از محدودهٔ رآکتور، که در اثر یک حادثه پیش می‌آید و موجب خاموش شدن رآکتور می‌شود، نتیجه شد. بدون دسترسی به وان الکتریکی، پمپها نمی‌توانند خنک‌سازی را ادامه دهند، در نتیجه ذوب در سطح وسیع صورت می‌گیرد. کاربرد انرژی ذخیره شده در ولدهای توربینی در خلال ۳ دقیقه‌ای که برای شروع مولدهای دیزل، به منظور فراهم کردن رق اضطراری لازم است، مفید می‌باشد. سأله خاصی که در این تجربه مورد نظر بود، آزمایش روشی برای نگهداری ولتاژ، در خلال آهسته شدن مولد توربینی بود.

این صرفاً یک آزمایش مهندسی برق بود و سائل هسته‌ای مطالعه نمی‌شد. یک مهندس رق آنرا هدایت می‌کرد و رآکتور به وسیلهٔ اپراتورهای عادی اداره می‌شد و متخصصان رآکتور در آنجا نبودند.

روش سر راست این بود که بخار از مولد توربینی دور شود (به سوی چگالنده) هدایت شود تا توربین بدون نیروی محرک بماند و رآکتور را خاموش کنند، زیرا نبودن چاهی برای انرژی تولیدی آن، می‌تواند در کار رآکتور مشکل ایجاد کند. در حقیقت همانند همه رآکتورها، رآکتور نوع چرنوبیل، یک دستگاه خودکار برای خاموش کردن رآکتور در شرایطی که بار از دست برود دارد، امّا دستگاه یاد شده برای این تجربه از کار انداخته شد، زیرا تصمیم بر این بود که رآکتور را خاموش نکنند. دلیل این موضوع، مسئلهٔ گزنون است که ما اینک مورد بحث قرار می‌دهیم.

۸ ــ مسئلهٔ گزنون

یکی از محصولاتی که گاهی از تقسیم هستهٔ اورانیوم، در واکنش شکافتی حاصل می‌شود، ^{135}I است که در آن واپاشی به صورت زیر انجام می‌شود:

$$^{135}I \xrightarrow[\beta\ -6/7\ h]{} {}^{135}Xe \xrightarrow[\beta\ -9/2\ h]{} {}^{135}Cs$$

سطح مقطع ^{135}Xe برای جذب یک نوترون در واکنش $(\gamma$ و $n)$ بزرگ و برابر $۲/۶ \times ۱۰^{۶}$ بارن است. این مقدار $۱۰^{۱۰}$ برابر بعضی از سطوح مقطعی هستند که در بالا مورد بحث قرار داده‌ایم و تفاوت مهمی است که البته توجیه فیزیک هسته‌ای خوبی نیز دارد. ^{135}Xe به دلیل سطح مقطع خیلی بزرگش، یک سمّ است و آهنگ واکنش زنجیره‌ای را کاهش می‌دهد.

وقتی یک رآکتور در حال کار است، مقدار ^{135}Xe، با تعادل بین تولید آن از طریق واپاشی ^{135}I در واکنشهای شکافتی و نابودی آن از طریق واکنشهای جذب نوترون، معین می‌شود. چون سطح مقطع یک هسته ^{135}Xe برای جذب نوترون بسیار بزرگ است، به ندرت به اندازهٔ کافی دوام می‌آورد تا به ^{135}Cs واپاشیده شود. امّا وقتی که یک رآکتور را خاموش کرده‌اند، جذب نوترون متوقف می‌شود و مقدار ^{135}Xe با ادامهٔ واپاشی ^{135}I به آن، افزایش می‌یابد. این مقدار پس از حدود ۱۰ ساعت بیشینه می‌شود و سپس با کاهش موجودی ^{135}I در اثر واپاشی (از بین رفتن منبع تولید) کم می‌شود و ^{135}Xe به ^{135}Cs تبدیل می‌شود. بنابراین وقتی یک رآکتور خاموش می‌شود، افزایش سم ^{135}Xe، برای ساعتها، شروع به کار رآکتور را اگر غیرممکن نسازد، مشکل می‌کند. به دلایل مشابه، مشکل می‌توان یک رآکتور را، پس از کاهش شدید توان تولیدی، کنترل کرد. مخصوصاً، این موضوع در مورد رآکتورهایی که در مقابل افت و خیزهای دما ناپایدارند، صادق است.

برنامهٔ آزمایش این بود که در صورت لزوم آن را دوباره بدون تأخیر تکرار کنند. به همین جهت تصمیم گرفته شد که در طول آزمایش، رآکتور را خاموش نکنند. این موضوع، مسائل مربوط به از دست رفتن بار را، به دیگر مسائلی که اپراتورهای رآکتور باآن روبرو بودند، افزود.

ادامه دارد

زیرنویسها:

۱ ــ The Nuclear Reactor Accident at Chernobyl, USSR.

۲ ــ Bernard Cohen, University of Pittsburgh, Pennsylvania 15260.

۳ ــ استاد و مدیر گروه فیزیک دانشگاه شهید چمران

مرجع:

American Journal of physics, December 1987, P. 1076 - 1083

دربارهٔ نشریات رشد تخصصی

مجلات رشد آموزش مواد درسی مدارس کشور که به منظور ارتقاء سطح دانش معلمان و ایجاد ارتباط متقابل میان صاحبنظران، معلمان و دانشجویان با برنامه‌ریزان امور درسی از سوی دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کُتب درسی سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش‌وپرورش به‌صورت فصلنامه منتشر می‌شود، در حال حاضر عبارتند از:

۱ - رشد آموزش ریاضی	۳۹	۶ - رشد آموزش زبان	۳۵
۲ - رشد آموزش شیمی	۳۷	۷ - رشد آموزش زمین‌شناسی	۳۱
۳ - رشد آموزش جغرافیا	۳۵	۸ - رشد آموزش فیزیک	۳۳
۴ - رشد آموزش ادب فارسی	۳۵	۹ - رشد آموزش معارف اسلامی	۲۲
۵ - رشد آموزش زیست‌شناسی	۳۱	۱۰ - رشد آموزش علوم‌اجتماعی	۱۷

۱۱ - رشد آموزش راهنمایی ۵

دبیران، دانشجویان دانشگاهها و مراکز تربیت‌معلم و سایر علاقه‌مندان به اشتراک این مجلات می‌توانند مبلغ ۱۴۰۰ ریال حق اشتراک یکساله خود را به حساب جاری شمارهٔ ۲۵۰۰ نزد بانک صادرات شعبه ۳۰۵۷ (جاده مازندران) به نام شرکت افست واریز و فیش آن‌را همراه با فرم تکمیل شده زیر به نشانی تهران، جادهٔ آبعلی - خیابان سازمان آب، بیست‌متری خورشید، مرکز توزیع انتشارات کمک‌آموزشی کد پستی ۱۶۵۹۸ ارسال دارند.

ضمناً؛ معلمان، کارشناسان، مدیران، پژوهشگران، و سایر علاقه‌مندان به امور تعلیم‌وتربیت جهت آگاهی بیشتر از یافته‌های صاحبنظران می‌توانند با پرداخت مبلغ ۲۰۰۰ ریال در هر سال ۴ جلد فصلنامهٔ تعلیم و تربیت دریافت نمایند.

قابل توجه مشترکین و علاقه‌مندان:

۱ ـ مجله رشد آموزش راهنمایی سه شماره در سال منتشر می‌شود.

۲ ـ به اطلاع مشترکین و علاقه‌مندان مجلات رشد تخصصی می‌رساند، چنانچه فرم اشتراک به‌طور کامل تنظیم و همراه حوالهٔ بانکی ارسال نشود، مرکز توزیع از ارسال مجلهٔ مورد درخواست معذور است.

۳ ـ متقاضیانی که احتمالاً به دلیل نقص درخواست به تقاضای آنان پاسخ داده شده است، می‌توانند جهت روشن شدن موضوع با مرکز توزیع مکاتبه و یا با تلفن ۷۷۵۱۱ تماس حاصل فرمایند.

۴ ـ در صورت تغییر نشانی پستی، مراتب را با ذکر شماره اشتراک به مرکز توزیع مجلات اعلام نمایید.

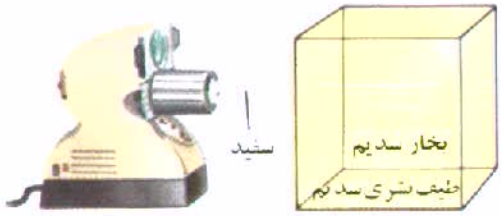
فرم اشتراک

.....

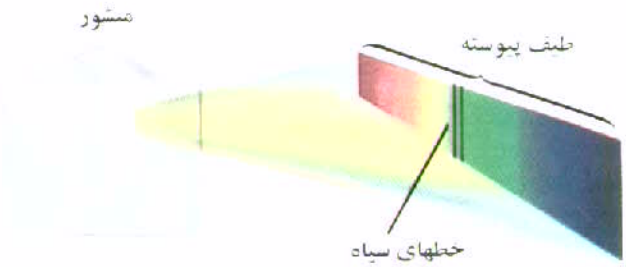
اینجانب ..... با ارسال فیش شماره ..... به مبلغ ..... ریال، متقاضی اشتراک ..... شماره از مجلهٔ رشد آموزش ..... هستم.

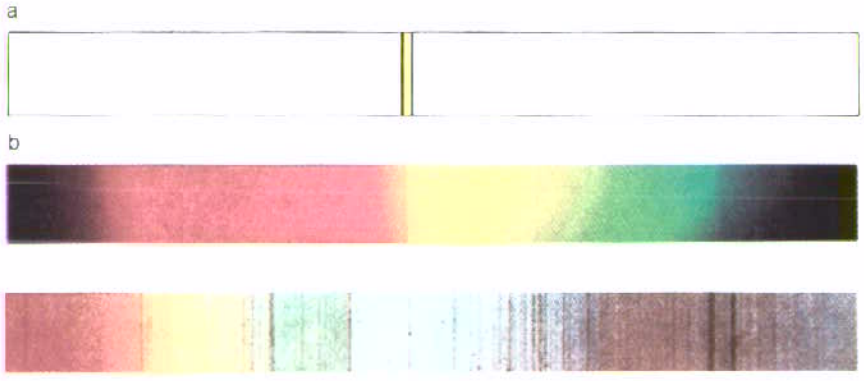
نشانی: شهرستان: ..... خیابان: ..... کوچه: .....

پلاک: ..... کدپستی: ..... تلفن: .....



این دستگاه برای تولید طیف خطی سدیم به کار می‌رود.





رشد آموزش زمین‌شناسی

رشد آموزش زیست‌شناسی

رشد
آموزش زبان

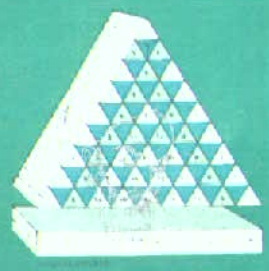
The Journal

رشد آموزش ادب فارسی

رشد

مجلات رشد آموزش مواد درسی به منظور ارتقاء سطح دانش معلمان و آمادگی آنها در تدریس بهتر دانش‌آموزان تهیه می‌شود. این مجلات برای معلمان و دانشجویان و برنامه‌ریزان امور تعلیم و تربیت سودمند است. رشد آموزش ابتدایی، راهنمایی و دبیرستانی در رشته‌های مختلف تهیه می‌شود. این مجلات به صورت فصلنامه منتشر می‌شود.

رشد آموزش ریاضی



رشد آموزش معارف اسلامی

رشد آموزش جغرافیا

رشد آموزش علوم اجتماعی

رشد آموزش فیزیک

رشد آموزش راهنمایی