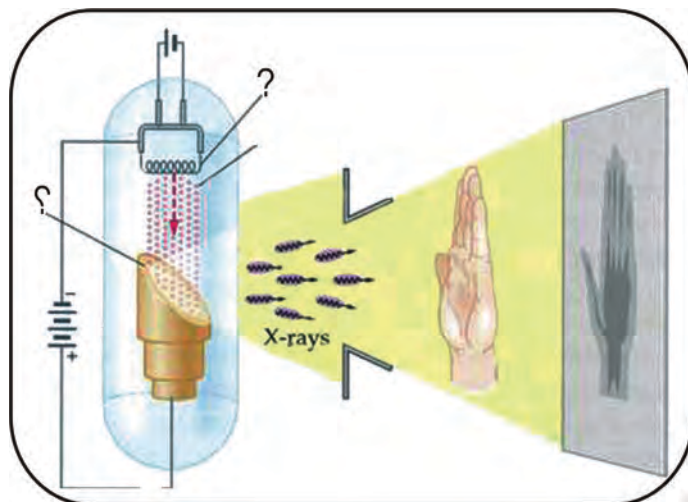


فزیک صفا ۱

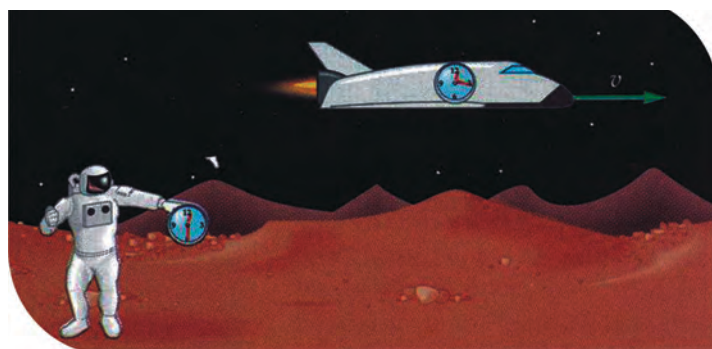


وزارت معارف

معینیت نصاب تعلیمی و تربیه معلم
ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی

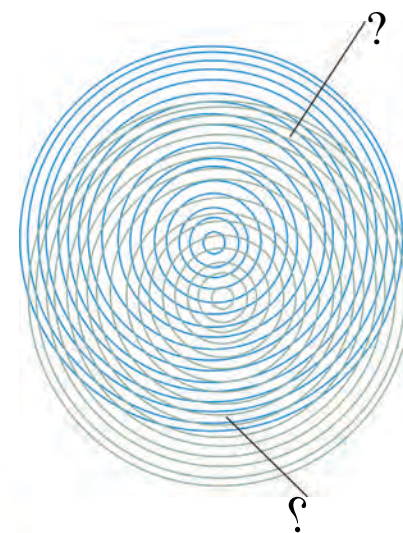
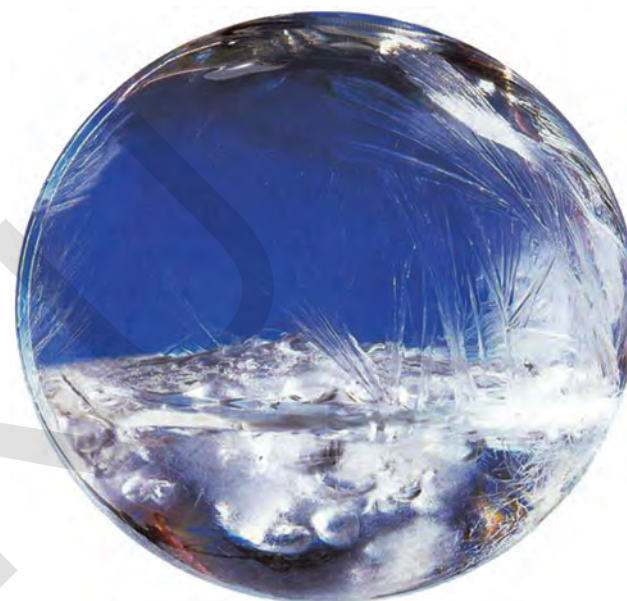


سال چاپ: ۱۳۹۶ ه. ش.

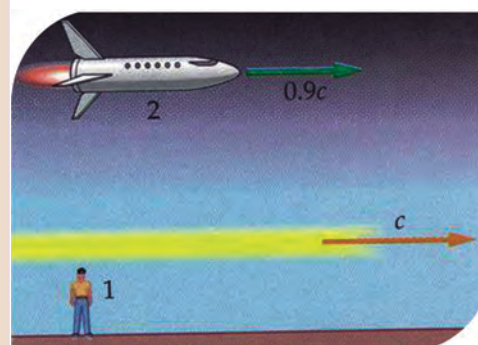


فزیک

صنف دوازدهم



کتاب های درسی متعلق به وزارت معارف بوده خرید و فروش آن
جداً ممنوع است. با متخلفین برخورد قانونی صورت می گیرد.





سرود ملی

دا عزت د هر افغان دی
هر بچی یې قهرمان دی
د بلوڅو د ازبکو
د ترکمنو د تاجکو
پامیریان، نورستانیان
هم ایماق، هم پشه پان
لکه لمر پر شنه آسمان
لکه زړه وي جاویدان
وایو الله اکبر وایو الله اکبر

دا وطن افغانستان دی
کور د سولې کور د تورې
دا وطن د ټولو کور دی
د پښتون او هزاره وو
ورسره عرب، گوجر دي
براهوي دي، قزلباش دي
دا هیواد به تل ځلیري
په سینه کې د آسیا به
نوم د حق مودی رهبر

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



وزارت معارف

معینیت انکشاف نصاب تعلیمی و تربیہ معلم
ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی

فزیک

physics

صنف دوازدہم

سال چاپ: ۱۳۹۶ هـ.ش.

الف

مولفان

- پوهاند دوكتور محمد قاسم جمدر، متخصص در پروژه نصاب تعليمي
- سرمؤلف گل احمد ساغري، عضو علمي رياست عمومي انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي و عضو تيم پروژه نصاب تعليمي
- سرمؤلف رابعه منصور، عضو علمي رياست عمومي انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي
- معاون سرمؤلف ظاهره ستانكزي، عضو علمي رياست عمومي انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي
- مؤلف ماهره ناصري، عضو علمي رياست عمومي انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي
- معاون مؤلف عبدالودود فيضي، عضو علمي رياست عمومي انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي

ايديت علمي

- سرمؤلف گل احمد ساغري، عضو علمي دپارتمنت فزيك و عضو تيم پروژه نصاب تعليمي رياست انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي

ايديت زباني

- معاون مؤلف عين الدين اسدي، عضو علمي رياست عمومي انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي
- مؤلف سيد محمود پايمناري، عضو علمي رياست عمومي انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي

کميته ديني، سياسي و فرهنگي

محمد آصف کوچي

حبيب الله راحل، مشاور وزارت معارف در امور رياست انكشاف نصاب تعليمي

کميته نظارت

- دكتور اسد الله محقق، معين انكشاف نصاب تعليمي و تربيه معلم
- محقق دكتور شير علي ظريفي، رئيس پروژه انكشاف نصاب تعليمي
- سرمؤلف عبدالظاهر گلستاني، رئيس عمومي انكشاف نصاب تعليمي و تأليف كتب درسي

طرح و ديزاين: خالد هوتك

تنظيم امور چاپ: محمد كبير حقميل رئيس نشرات و اطلاعات وزارت معارف

بسم الله الرحمن الرحيم

پیام وزیر معارف

سپاس بی کران آفریدگاری را که انسان را در احسن تقویم آفرید و او را قدرت بیان بخشید و به زیور علم و اندیشه آراست و درود بی پایان بر پیامبر مکرم اسلام حضرت محمد مصطفی - صلی الله علیه وسلم - که معلم بزرگ انسانیت است و پیام آور رحمت و هدایت و روشنایی.

تعلیم و تربیت نقطه آغاز هر تحول و سنگ بنای توسعه در هر جامعه است. هدف اصلی تعلیم و تربیت به فعلیت رساندن نیروهای بالقوه انسان و شکوفا کردن استعدادهای درونی وی است.

کتاب درسی یکی از ارکان مهم در فرایند تعلیم و تربیت محسوب می شود که هم گام با تحولات و پیشرفت های علمی نوین و مطابق با نیازمندی های جامعه تهیه و تألیف می گردد و باید دارای ظرفیت و ظرفیتی باشد که بتواند آموزه های دینی و اخلاقی را توأم با فرآورده های علوم جدید با روش های نوین به شاگردان منتقل کند.

کتابی که اکنون در اختیار شما قرار دارد، بر اساس همین ویژه گی ها تهیه و تألیف شده است. سعی وزارت معارف همواره براین بوده که نصاب تعلیمی و کتب درسی معارف کشور، متکی بر مبانی تعلیم و تربیت اسلامی و حفظ هویت ملی، مطابق با معیارهای علمی و روش های تربیتی نوین بوده، استعدادهای دانش آموزان را در همه زمینه های اخلاقی و علمی شکوفا گرداند و قدرت تفکر، ابتکار و حس جستجوگری را در آنها تقویت بخشد. ترویج فرهنگ گفتگو و رواداری، تقویت حس وطن دوستی، مهربانی، گذشت و همبستگی از خواست های دیگر وزارت معارف است که باید در کتب درسی متبلور باشد.

کتاب های درسی بدون داشتن معلم خوب و مسلکی نمی تواند اهداف مورد نظر را برآورده سازد. معلم یکی از ارکان مهم تعلیم و تربیت و مجری برنامه های آموزشی و تربیتی است. از معلمان و آموزگاران خوب، متعهد و دلسوز کشورم که ستیزه با سیاهی و نادانی را پیشه خود ساخته اند، صمیمانه آرزو مندم که با تطبیق دقیق و مخلصانه نصاب تعلیمی، کودکان و جوانان میهن را به سوی فتح قله های رفیع دانش، اخلاق و معنویت رهنمون گردند.

کامیابی نظام آموزشی کشور بدون همکاری جدی مردم غیر ممکن است. ازین رو از همه اقشار و افراد ملت شریف افغانستان، به خصوص از خانواده ها و اولیای محترم شاگردان خواهشمندم که از هیچ گونه همکاری در جهت تحقق اهداف معارف دریغ نوزند. همچنان از همه نویسندگان، دانشمندان، متخصصان تعلیم و تربیت و اولیای محترم شاگردان تقاضا می شود که با ارائه نظریات و پیشنهادات سالم و نقد های سازنده خود وزارت معارف را در بهبود هر چه بیشتر کتاب های درسی همکاری نمایند.

لازم می دانم از تمام مؤلفان دانشمند و کارمندان اداری و فنی وزارت معارف که در تهیه، تألیف، طبع و

توزیع این کتاب زحمت کشیده اند و از همه نهادهای ملی و بین المللی که در زمینه چاپ و توزیع کتب درسی همکاری نموده اند، قدر دانی و تشکر نمایم.

در اخیر از خداوند منان استدعا دارم که به لطف بی پایان خود، ما را در تحقق آرمان های مقدس معارف یاری رساند. إنه سمیع قریب مجیب.

دکتور اسدالله حنیف بلخی

وزیر معارف

ج

پیشگفتار

عصر ما عصر انکشافات و تحولات سریع ساینس و تکنالوژی است و طبق تخمین دانشمندان، در سالیان بعد حجم اطلاعات علمی حتا در هر چند ماه دو برابر خواهد شد. واضح است که همگام با این تحولات، شیوه‌های زنده گی ما و نیازهای نسل جوان فردای ما، از جمله شیوه‌های آموزش علوم (فزیک) نیز در تغییر خواهد بود. در این شیوه‌ها تأکید بر آن است که شاگردان به آسانی و به سرعت بیاموزند و بتوانند مهارت‌های لازم را در مراحل آموزش و حل مسأله‌ها به کار برند.

در این کتاب سعی به عمل آمده است که محتویات درسی بر اساس روش آموزش فعال تألیف گردد. سه هدف دانشی، مهارتی و ذهنیتی در متن هر درس در محراق توجه مؤلفین قرار داشته و افزون بر آن، حجم عناوین و محتویات کتاب بر مبنای پالیسی‌های تعلیمی و تربیتی دولت، پلان تعلیمی زمانی و مفردات طرح شده با معیارهای عمومی محتوایی و نگارشی قبول شده برای کتب درسی دوره ثانوی افغانستان، تنظیم و تدوین گردیده است. تلاش شده که مطالب به گونه ساده و روان مطرح شود و با ادامه فعالیت‌ها و ذکر مثال‌ها و سؤال‌ها، فهم آن برای شاگردان آسان‌تر گردد.

از معلمان گرانقدر انتظار می‌رود که با تجارب و توانایی‌های غنی‌یی که دارند، در طراح فعالیت‌های ابتکاری‌یی که می‌تواند در آموزش بیشتر شاگردان ممد واقع گردد و همچنان در ابراز پیشنهادهای سازنده برای بهبود کیفی کتاب، از هیچ‌گونه تلاش و همکاری دریغ نکنند. اطمینان می‌دهیم که ان شاءالله از نظرهای ارزشمند و اصلاحی آنها برای رفع نواقص و اشتباهات احتمالی استفاده و به گرمی استقبال خواهد شد.

در پایان، از استادان محترمی که در نقد و اصلاح این کتاب زحمت کشیده‌اند سپاس‌گذاریم و از مسؤولان و کارکنان محترم بخش کمپیوتر که در کار تایپ، دیزاین و صفحه‌آرایی کتاب، همکاری مزید نموده اند ممنون و متشکریم.

دیپارتمنت فزیک

ریاست عمومی انکشاف نصاب تعلیمی و تألیف کتب درسی

فهرست



صفحه

فصل اوله اهتزازات و حرکت ساده‌هارمونیکي ۱

اهتزاز مکمل و رقاصه ساده ۵

فریکونسي در حرکت ساده‌هارمونیکي چیست؟ ۷

معادله حرکت ساده‌هارمونیکي ۱۱

رابطه حرکت دایروی و حرکت ساده‌هارمونیکي ۱۵

فصل دومه امواج و حرکت آنها ۱۹

امواج میخانیکي ۲۰

خصوصیت امواج ۲۳

انعکاس موج میخانیکي ۲۶

انکسار یا شکست موج میخانیکي ۲۷

تداخل ۲۸

امواج صوتی ۳۳

سرعت صوت ۳۶

شدت صوت ۳۹

امواج الکترومقناطیسی ۴۱

تعیین نمودن موقعیت شکل تداخلی نوارها ۴۴

تفرق (Diffraction) ۴۶

قطبی شدن نور ۴۸

فهرست



صفحه

فصل سوم: خواص میخانیکی ماده ۵۵

حالات ماده ۵۶

کثافت (Density) ۵۹

ارتجاعیت (Elasticity) ۶۱

فشار (Stress) ۶۲

طول و فشار ۶۵

فصل چهارم: خواص حرارتی مواد ۷۳

انتقال حرارت توسط هدایت ۷۵

معرفی درجه‌های حرارت ۷۸

انبساط حرارتی ۸۳

گرادینت درجه حرارت ۸۹

انتقال حرارت به واسطه جریان (کانوکشن) ۹۳

انتقال حرارت به وسیله تشعشع (Radiation) ۹۵

مقادیری که بر روی جذب حرارت تأثیر می‌گذارد ۹۷

جسم سیاه مطلق ۹۸

قانون تشعشع ۹۹

قانون وین (Weins Law) ۱۰۰

قانون ستیفان-بولتزمن ۱۰۱

فهرست

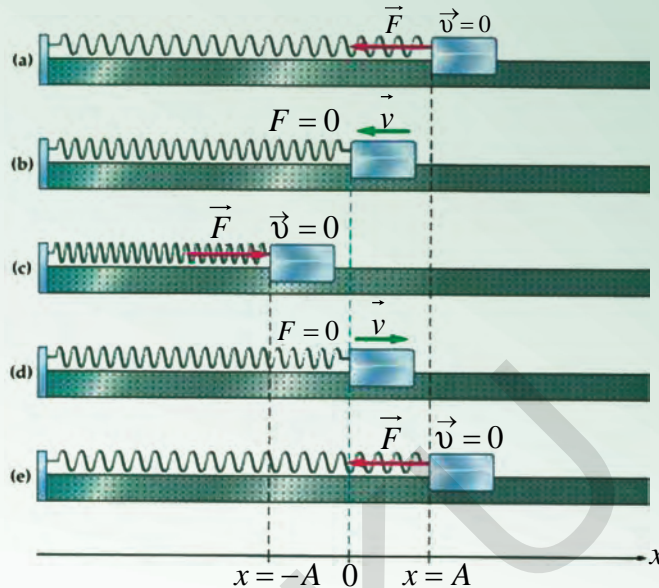


صفحه

۱۰۵.....	فصل پنجم: فزیک اتمی
۱۰۹.....	تابش جسم سیاه
۱۱۲.....	طیف اتمی (Atomic Spectrum)
۱۱۴.....	طیف جذبی (Absorption Spectrum)
۱۱۵.....	مدل اتمی تامسون
۱۱۶.....	مدل اتمی رادرفورد
۱۱۶.....	نظریهٔ ماکس پلانک
۱۱۷.....	اثر فوتوالکتریک
۱۲۰.....	مدل اتمی بور
۱۲۳.....	شعاع ایکس (X)
۱۲۴.....	فرضیهٔ تیوری کوانتم
۱۲۹.....	طبیعت دو گانهٔ نور
۱۳۱.....	سرعت امواج دی بروگلی
۱۳۲.....	اصول عدم قطعیت هایزنبرگ
۱۳۹.....	فصل ششم: فزیک هسته
۱۴۰.....	اندازه و ساختار هسته
۱۴۳.....	ایزوتوپ یعنی چه؟
۱۴۴.....	پایداری هسته‌ها
۱۴۸.....	سطوح انرژی یا ترازهای انرژی هسته
۱۵۰.....	رادیواکتیو طبیعی
۱۵۲.....	متلاشی شدن همراه با خروج اشعهٔ الفا (α)
۱۵۳.....	متلاشی شدن همراه با خروج اشعهٔ بیتا (β)
۱۵۴.....	متلاشی شدن اشعهٔ گاما (γ)
۱۵۶.....	نیم عمر مادهٔ رادیواکتیو
۱۵۹.....	رادیواکتیو مصنوعی
۱۶۱.....	انشقاق هسته‌یی
۱۶۳.....	غنی سازی یورانیوم
۱۶۴.....	تعامل زنجیری
۱۶۹.....	همجوشی یا گداز هسته‌یی
۱۷۲.....	ریکتور هسته‌یی
۱۷۵.....	بمب‌های هسته‌یی
۱۷۷.....	کاربرد ریکتور هسته‌یی

اهتزازات و حرکت ساده‌هارمونیکی

حرکت ساده‌هارمونیکی (Simple Harmonic Motion)



اهتزازات اطراف ما را فرا گرفته اند؛ حرکت طفل روی یک گازک، حرکت درختان با وزش نسیم و شنا کردن کشتی در بحر و به هر طرفی که ببینید، اجسامی را خواهید دید که به طور منظم در حرکت اند و با تیله کردن آنها از حالت تعادل، به عقب و به جلو نوسان می‌کنند. شما حرکت انتقالی را به تفصیل مطالعه نمودید و در صنف نهم، کمی درباره‌ی اهتزاز آموختید. در این فصل، شما درباره‌ی ارتعاشات و اهتزازات بیشتر خواهید آموخت و تصویر مکمل چنین حرکتی را در ذهن‌تان ترسیم خواهید کرد. یک ارتعاش چیست؟ یک حرکت ساده‌هارمونیکی چیست؟ چگونه می‌توانیم آن را با زبان ریاضی توضیح دهیم؟ چه چیز سبب اهتزازات می‌شود؟ اهمیت اهتزازات در زنده‌گی ما و در صنعت چیست؟ حرکت قمر مصنوعی چه نوع حرکت است؟ و امثال آن، از جمله سؤال‌هایی اند که شما در ختم این فصل به آنها جواب خواهید داد و همچنان توانایی آن را حاصل خواهید کرد که به نتایج متوقعه رسیده و مهارت‌های مربوطه‌ی ذیل را انجام دهید:

- 1 - تعریف کردن اصطلاحات: اهتزاز مکمل، حرکت ساده‌هارمونیکی، دامنه (امپلیتюд)، تواتر (فریکونسی) و زمان مکمل اهتزاز (پیریود).
- 2 - توضیح فرق بین: حرکت انتقالی، حرکت اهتزازی و حرکت پیریودیک (تناوبی).
- 3 - استخراج رابطه بین فریکونسی و پیریود.
- 4 - ارتباط دادن اهتزاز و قوه‌ی برگرداننده.
- 5 - نمایش معادلات حرکت ساده‌هارمونیکی و حرکت دایروی یکنواخت.
- 6 - آرایه‌ی حرکت ساده‌هارمونیکی توسط گراف.

1-1: اهتزاز چیست؟

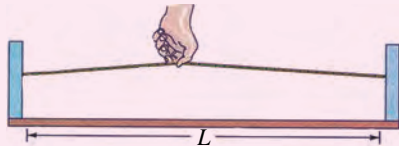
شما حرکت انتقالی (حرکت در یک بعد روی خط مستقیم و حرکت دوبعدی که در آن جسم موقعیت خود را به طور متمادی تغییر می‌دهد) را مطالعه کردید. همچنان روابط بین موقعیت، سرعت و شتاب را با زمان دریافت نمودید و حرکت دایروی را نیز آموختید. اکنون ما نوع سوم حرکت ذرات در طبیعت را که نوع بسیار معمول حرکت است و به نام حرکت اهتزاز یاد می‌شود؛ مطالعه می‌کنیم.

اهتزاز چیست؟

برای اینکه اهتزاز را تعریف کرده بتوانید، فعالیت ذیل را انجام دهید:



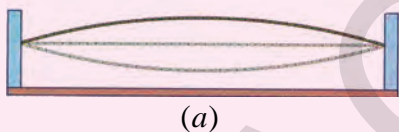
فعالیت



مواد ضروری: تار، خطکش (30cm–50cm) تست

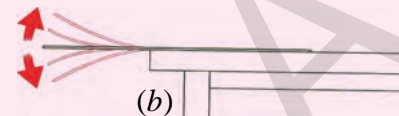
تیوب، گیر و آب.

طرز العمل:



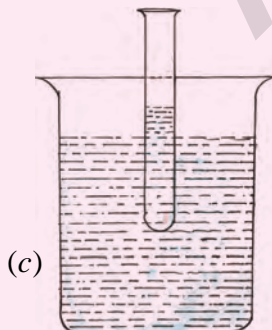
(a)

1. تار را به دو نقطه ثابت بسته کنید و بعد از نقطه وسط به آن ضرب بزنید، شکل (1-1a): آنچه را مشاهده می‌کنید یادداشت کنید.



(b)

2. خطکش را در انجام کناره میز توسط گیر محکم نموده انجام دیگر آن را بالا کش نموده و آن را رها کنید. شکل (1-1b)



(c)

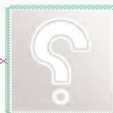
3. کمی آب در تست تیوب انداخته و آن را داخل یک ظرف آب کنید (1-1c) تیوب را کمی بالا برده و بعد رهاش سازید. نحوه حرکت آن را شرح دهید.

شکل (1-1)

اکنون به سؤالات ذیل جواب بدهید:

- 1 - آیا شما حرکت انتقالی را در فعالیت مشاهده توانستید؟ چگونه؟
- 2 - کدام چیز مشترک در بین حرکت‌هایی که مشاهده کردید، وجود داشت؟
یقیناً شما ملاحظه کردید که هر یک از سه جسم، به حول یک نقطه معین به طرف پایین و بالا حرکت می‌کردند. به این نوع حرکت‌های تکراری و دوامدار که همه ما با آن آشنا هستیم و در زندگی روزمره با آن سروکار داریم، حرکت ارتعاشی و یا اهتزاز می‌گویند که چنین می‌تواند تعریف شود: **هرگاه یک جسم به اطراف نقطه تعادلش به‌طور تکراری و دوامدار حرکت کند، به این نوع حرکت، حرکت اهتزاز می‌گفته می‌شود.**

اگر انتظار بکشیم، خواهیم دید که اهتزازها به تدریج خاموش می‌شوند و جسم به موقعیت اولی (نقطه تعادلش) برمی‌گردد. از آنجا که این نوع حرکت پدیده‌یی است که ساحت بسیار وسیع دارد، از مفاهیم اساسی فزیک به شمار می‌رود. ما انتظار داریم که بدانیم سیستم‌های اهتزاز زیادی قطع نظر از طبیعت آنها، با همین اصول و روش اهتزاز می‌کنند. تحلیل عمیق و همه‌جانبه از یک سیستم، ما را به نتایجی خواهد رسانید که به آسانی بتوانیم آن را برای هم، سیستم‌ها تطبیق نماییم.



سؤال

حرکت‌های ذیل را صنف‌بندی کنید:
حرکت یک طفل در خانه، حرکت تایر یک موتور، حرکت یک توپ تنیس در یک مسابقه، حرکت سر، حرکت بادپکه سقف خانه، حرکت مهتاب، حرکت آب باز در حوض آب و حرکت دروازه.

2-1: تعریف حرکت ساده‌هارمونیکی

حرکت گاز خوردن یک طفل را به دقت نظاره کنید، خواهید دید که حرکت گاز در زمان‌های منظم و به طور خود به خود تکرار می‌شود. هر حرکتی که خود به خود و به طور منظم تکرار گردد، به نام حرکت پیریودیک (تناوبی) و یا هارمونیکی یاد می‌شود و هر حرکت پیریودیک که بتواند توسط گراف، تابع ساده ساین و یا کوساین را نمایش دهد، به نام حرکت ساده‌هارمونیکی یاد می‌شود. برای شناسایی و تشخیص حرکت ساده‌هارمونیکی فعالیت ذیل را انجام دهید:

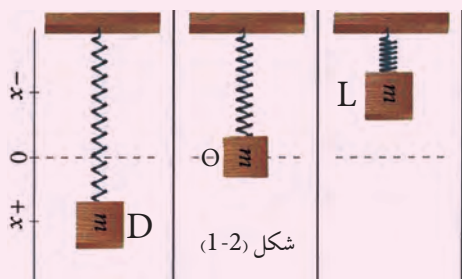


فعالیت

مواد ضروری: فنر، کتله، متکا برای تعلیق

طرز العمل:

1. فنر را از نقطه اتکا بیاویزید.
2. یک کتله را به انجام فنر آویخته، مشاهداتان را یادداشت کنید. به شکل (1-2) نظر کنید.



3. کتله (m) را با لایبرید تا اینکه فنر به طول اصلی اش برگردد و بعداً رهاش کنید. تشریحاتان را درباره حرکت کتله مذکور بنویسید.

حالا با توجه به فعالیت فوق، به سؤالات ذیل جواب دهید:

- 1 - چرا طول فنر ازدیاد می‌یابد وقتی که کتله را به آن می‌آویزیم؟
 - 2 - سیستم دارای کدام نوع و یا انواع انرژی است در صورتی که اهتزاز وجود دارد؟ تغییرات انرژی را توضیح بدهید.
- وقتی که کتله را به فنر آویزان می‌کنید، فنر توسط وزن به پایین کش می‌شود؛ اما زمانی که فنر درازتر می‌شود، یک قوه ظاهر می‌گردد که عبارت از قوه فنر است و توسط قانون هوک چنین ارایه می‌شود: $F_s = -k \cdot x$ در این رابطه، k ثابت فنر و x تزايد طول فنر است. وقتی که اندازه این قوه مساوی به (mg) اما موجه به طرف بالا گردد، کتله در حالت توازن خود قرار می‌گیرد، مطابق شکل وقتی که کتله را تا موقعیت L بالا ببرید، قوه فنر به طرف صفر می‌رود و وقتی که آن را رها کنید، به سمت پایین شتاب می‌گیرد و سرعت آن به تدریج زیاد شده می‌رود تا اینکه اعظمی می‌شود. زمان که کتله به طرف پایین حرکت می‌کند، قوه فنر ($F_s = -Kx$) بزرگ‌تر از (mg) بوده و قوه منتهجه به طرف بالا عمل می‌کند. بنابر این حرکت به سمت بالا شتابی می‌باشد، به این معنی که سرعت به کاهش آغاز می‌کند تا اینکه کتله به موقعیت D می‌رسد و $V = 0$ می‌شود.

یقیناً انرژی حرکتی در موقعیت D کاملاً به انرژی ذخیره‌ی تبدیل می‌گردد. در موقعیت D ، قوه فنر (اعظمی) بوده، سبب می‌شود که به طرف بالا شتاب بگیرد و دوباره سرعت آن تا موقعیت O افزایش یابد. در این موقعیت قوه منتجه ناپدید و V بلندترین قیمت را برای خود می‌گیرد و کتله به اساس عطالتش تا رسیدن به نقطه آغاز حرکت ادامه می‌یابد. این حرکت خود به خود به طور دوام‌دار در زمان‌های مساوی تکرار می‌گردد و از این سبب است که به آن حرکت ساده‌هارمونیک یا تکراری می‌گویند. اکنون بیایید تعریف دیگری را برای حرکت ساده‌هارمونیک پیدا کنیم. اگر حرکت اهتزازي کتله در فعالیت گذشته دوباره انجام دهیم و بالای شتاب متمرکز شویم، خواهیم یافت که شتاب، همیشه موجه به طرف یک نقطه بوده و قیمت آن متناسب به فاصله بی‌جا شده از همان نقطه می‌باشد. پس می‌توانیم بگوییم: هر جسم که شتابی با این ویژه‌گی داشته باشد، حرکت ساده‌هارمونیک دارد.



سؤال

به کدام یک از حرکت‌های ذیل، حرکت ساده‌هارمونیک گفته می‌توانیم؟ حرکت قمر مصنوعی به دور زمین، حرکت یک رقاصه، حرکت تار محکم شده به انجام‌های ثابت، حرکت خطکش در فعالیت (1-1)، حرکت لول خوردن یک توپ.

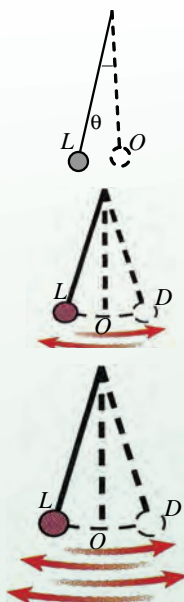
3-1: اهتزاز مکمل و رقاصه ساده

چطور می‌توانیم اهتزازها را حساب نماییم؟

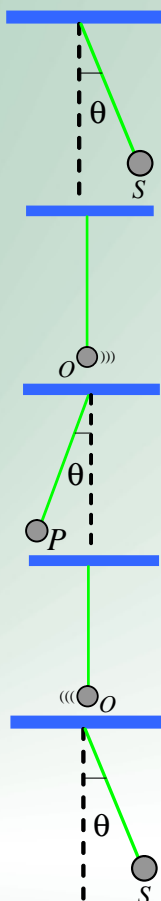
برمی‌گردیم به فعالیت قبلی و می‌بینیم چطور اهتزازها را در کتله مهمتزر حساب کرده می‌توانیم؟

اگر کتله از موقعیت L به حرکت آغاز نموده و به موقعیت‌های O و D رفته و دوباره به L برگردد، حرکت در این مسیر طی شده را یک اهتزاز مکمل می‌گوییم، و هرگاه مشاهدات خود را از موقعیت کتله در موقعیت O آغاز کنیم، در آن صورت حرکت از O به L و D و بازگشت به O را یک اهتزاز مکمل می‌گوییم. شکل (3-1) دیده شود.

اکنون یک کتله نوسان‌کننده را که از انجام یک تار محکم شده و به متکا آویزان گردیده، در نظر می‌گیریم؛ به این کتله آویزان شده رقاصه ساده (Simple Pendulum) می‌گویند.



شکل (3-1)



شکل (1-4)، اگر آن را به یک طرف کش و پس رهاش کنیم، رقاظه به نوسان کردن و یا اهتزاز کردن آغاز می‌نماید. طوری که در شکل به وضاحت دیده می‌شود، می‌توان اهتزاز مکمل در مسیر حرکت را چنین نشان داد:

$$S \rightarrow O \rightarrow P \rightarrow O \rightarrow S$$

اکنون اهتزاز مکمل را چنین تعریف می‌نماییم:

اهتزاز مکمل عبارت از حرکت جسم مهتزاز در بین دو عبور جسم از یک نقطه کیفی مسیر اهتزاز در عین سمت می‌باشد.

شکل (1-4)



سؤال

اهتزاز مکمل را برای رقاظه شکل (1-4)، با در نظر داشت حالت‌های ذیل توضیح بدارید.

a - نقطه آغاز حرکت باشد. (O)

b - نقطه P (هنگام بازگشت رقاظه) آغاز حرکت باشد.

زمان تناوب (پیریود)، تواتر (فریکونسی) و دامنه (امپلیتیود) در حرکت ساده‌ه‌ارمونیکی، همه از مشخصات اهتزاز می‌باشند که در اینجا با توضیح فریکونسی به شرح آنها می‌پردازیم:

4-1: فریکونسی در حرکت ساده‌هارمونیکی چیست؟

اگر به یک حرکت اهتزازی نظاره کنید، با داشتن یک ساعت توقف کننده (stop watch) می‌توانید وقت یک اهتزاز مکمل را در وقتی که نوسان می‌کند، حساب کنید. برای محاسبه وقت، ستاپ واچ را از یک موقعیت معین اهتزاز به حرکت آورده و یافته می‌توانید که در وقفه معین زمان چند اهتزاز مکمل صورت گرفت "فریکونسی عبارت از تعداد اهتزازات مکمل انجام شده توسط جسم مهتز یا نوسان کننده در یک ثانیه می‌باشد".

فریکونسی را در تجربه و به زبان ریاضی چنین افاده می‌کنند:

$$f = \frac{\text{تعداد اهتزازات مکمل}}{\text{زمان که برای انجام آن ضرورت است}} \quad f = (\text{فریکونسی})$$

فریکونسی با واحد $\frac{\text{اهتزاز}}{\text{ثانیه}}$ اندازه می‌شود که به نام هرتس یاد می‌شود و به Hz نمایش داده می‌شود.

$$1H_z = 1S^{-1} \dots\dots\dots (1)$$

یکی از خواص دیگر حرکت ساده‌هارمونیکی عبارت از پیریود (T) می‌باشد. T زمانیست که یک اهتزاز مکمل را در بر می‌گیرد. یا به عبارت دیگر، پیریود عبارت از وقتی است که در آن یک اهتزاز مکمل صورت می‌گردد، که آن را به T نمایش می‌دهند.

پیریود یا زمان تناوب را به ثانیه اندازه می‌کنند.

یقیناً که T معکوس فریکونسی (f) بوده و می‌توان نوشت:

$$T = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2)$$

توجه کنید

اهتزاز محدود به اجسام مادی نبوده؛ بلکه ارتعاشات میخانیکی از قبیل: تارهای گیتار، پستونهای ماشینهای موتور، پرده دایره‌ها، پرده‌های تلیفون، زنگ، سیستم‌های اسپیکر و کرسنل‌های کوارتز و همچنان نور، امواج رادیو و اشعه (X) همه حرکتهای اهتزازي اند.

همچنان سیستم‌های اهتزازي به اساس فاصله‌های بی‌جاشده‌شان از موقعیت تعادل تفاوت دارند. اطفال زمانی که گاز می‌خورند اگر این فاصله بی‌جا شده بزرگ‌تر شود مهیج می‌شوند، در حالی که این فاصله بی‌جا شده در نقطه وسطی پرده یک دایره مهتز خیلی کوچک می‌باشد.

دامنه و یا امپلیتюд عبارت از فاصله اعظمی بی‌جا شده جسم مهتز است که از موقعیت تعادل آن اندازه می‌شود.

آیا بین امپلیتюд و انرژی سیستم اهتزاز رابطه‌ی وجود دارد؟ شرح دهید.

1 - یک نقطه به روی پرده یک بادپکه در یک دقیقه 3000 دور می‌خورد. حساب کنید:

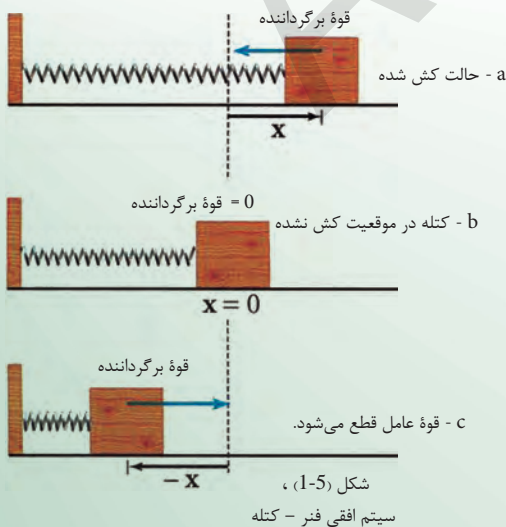
a- پیریود را b- فریکونسی را

2 - یک تجربه را دیزاین کنید که ثابت کند پیریود رقاوه، محض ارتباط به طول آن دارد نه به کتله کلوه آویزان شده و دامنه رقاوه.

1-5: قوه تجدیدی یا برگرداننده (Restoring Force)

چطور می‌توانیم حرکت ساده‌ه‌ارمونیکی را به وجود بیاوریم؟ و فکتور یا عامل مشترک بین تمام سیستم‌های اهتزاز چیست؟

مثال: حرکت ساده‌ه‌ارمونیکی عبارت از اهتزاز یک کتله (m) به فنری که کتله آن قابل صرف نظر است، مطابق شکل اتصال داشته و روی سطحی که اصطکاک بسیار ناچیز دارد، می‌لغزد (به شکل 1-5)، می‌گوییم که کتله در موقعیت کش نشده (شکل 1-5, b) موقعیت تعادل و یا سکون خود را دارد.



هرگاه یک قوه عامل (F_a) بالای کتله عمل کند، کتله از موقعیت تعادلش به طرف راست تعادل به اندازه X بی جا می شود. شکل (1-5a). فاصله‌یی که فنر کش می شود، از قانون هوک حاصل شده می تواند.

$$F_a = -k x$$

فاصله بی جا شده (X) به حیث فاصله‌یی که جسم از موقعیت تعادل خود حرکت کرده، تعریف شده است. یقیناً (F_a)، فنر را کش می کند و همچنان از قانون سوم حرکت نیوتن یک قوه مساوی ولی مخالف‌الجهت ارتجاعی (برگرداننده) توسط فنر بالای کتله عمل می کند که در نتیجه، آن را به طرف چپ می کشاند. از آنجا که این قوه تمایل دارد کتله را به موقعیت اصلی اش برگرداند؛ این قوه را قوه برگرداننده نامیده اند که آن را به (F_r) نشان می دهیم:

$$F_r = -F_a = -k x$$

وقتی قوه عامل (F_a) قطع شود، قوه برگرداننده ارتجاعی (F_r) یگانه قوه‌یی می باشد که بالای (m) عمل می کند، و می خواهد کتله را به موقعیت تعادلش برگرداند. شکل (1-5, c). اکنون ما می توانیم از قانون دوم حرکت نیوتن شتاب کتله را دریافت کنیم:

$$m \cdot a = F_r = -k x$$

$$a = -\frac{k}{m} x \dots\dots\dots 3$$

معادله (1-3) معادله شتاب را به ما ارایه می کند که ما آن را قبلاً تعریف نموده بودیم. وقتی که قوه (F_a) بالای کتله عمل نموده و آن را به طرف راست حرکت می دهد، (F_a) یک کار (w) را انجام می دهد، یعنی انرژی را به سیستم انتقال می دهد. این انرژی در سیستم به حیث انرژی ارتجاعی پوتانشیل ذخیره می گردد.

وقتی که قوه F_a قطع گردد، قوه برگرداننده کتله به موقعیت تعادل (F_r)، انرژی پوتانشیل را با انجام دادن کار به انرژی حرکی انتقال می دهد. وقتی که کتله به موقعیت اصلی اش ($X = 0$) برگردانده شود، قوه برگرداننده هم صفر می شود ($F_r = 0$). کتله حرکتش را به طرف چپ بر اساس قانون عطالت ادامه می دهد؛ تا اینکه قوه ($-Kx$) دوباره به وجود آید. اما تا زمان که کتله به فاصله اعظمی بی جا شده (X) برسد، با انجام دادن کار، انرژی حرکی به انرژی پوتانشیل تبدیل شده می رود. بعداً (F_r) دوباره کتله را به موقعیت تعادل می کشاند و مراحل ادامه پیدا می کند. پس قوه برگرداننده قوه‌یی است که متناسب به فاصله بی جا شده مخالف آن عمل می کند؛ زیرا این دو خاصیت قوه برگرداننده، می تواند اهتزاز را به وجود آورد. قوه برگرداننده همیشه مسؤولیت تولید اهتزازات را به عهده دارد.



سؤال

قوة برگرداننده (از لحاظ مقدار) در رقاظه، تست تیوب مهتز در آب و پرده دایره چیست؟ توضیح بدارید.

تمرین

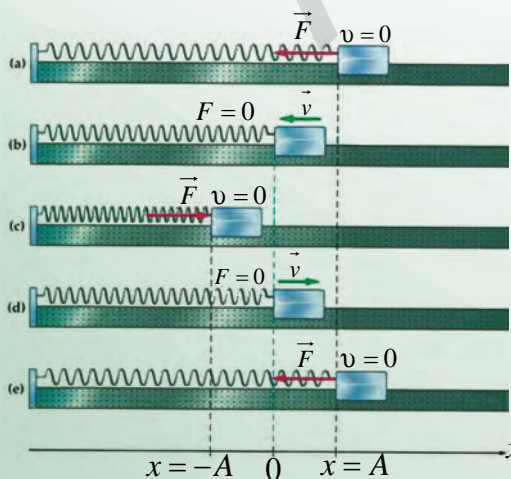
ثابت کنید که $F_r = mg \frac{S}{L}$ است، وقتی که L طول رقاظه و S طول قوس نوسان رقاظه باشد.

6-1: ارایه گرافیکی حرکت ساده هارمونیک

چطور می توانیم حرکت ساده هارمونیک را ترسیم نماییم؟ چطور در یک سیستم کتله - فنر که قبلاً مطالعه نمودیم، فاصله X را در وقفه های مساوی زمان ارایه نموده می توانیم؟ بیایید از نقطه نظر فیزیکی به این حرکت نظر اندازیم: کتله (m) در شکل (a-6-1) به سمت راست به فاصله $X = A$ کش گردیده و بعداً رها می گردد. واضح است که کتله تنها تحت تأثیر قوة برگرداننده حرکت می کند. بنابراین چنانچه قبلاً بحث نمودیم، کتله به نوسان خود ادامه می دهد. اگر ما چندین تصویر فوری حرکت را در وقفه های مساوی زمان بگیریم و موقعیت های کتله را توسط این تصاویر نشانی کنیم، یک سلسله نقاط را به دست می آوریم، چنانچه در شکل (1-6) نشان داده شده است.

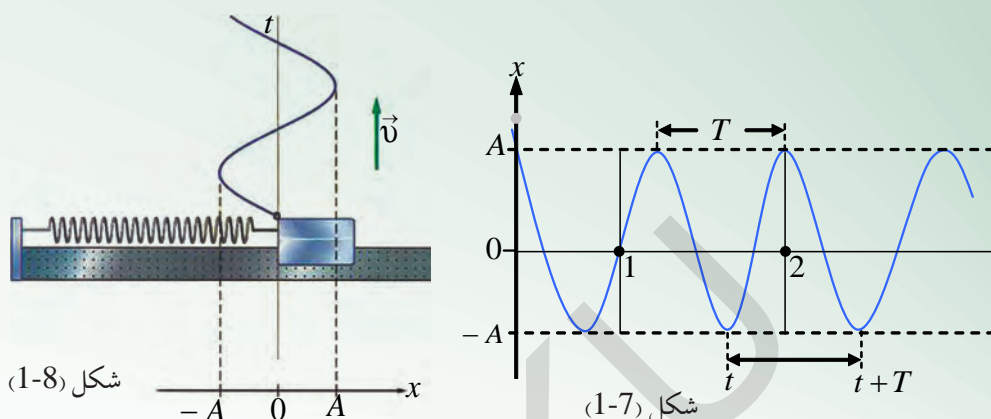
شکل، موقعیت های کتله را وقتی که به اطراف چپ و راست موقعیت اصلی تعادل روی محور X بین حدود $(+A)$ و $(-A)$ اهتزاز می کند، نشان می دهد. وکتورها اندازه سرعت کتله را نشان می دهند. قیمت سرعت اعظمی است

وقتی که در محل اصلی قرار دارد و صفر است وقتی که کتله در موقعیت های $\pm A$ قرار داشته باشد. واضح است که A امپلیتюд اهتزاز است و اگر زمان (t) را وقتی که کتله به موقعیت $+A$ باشد، صفر انتخاب کنیم، در آن صورت کتله در زمان $t = T$ دوباره به موقعیت $+A$ برمی گردد. چون T ، پیریود حرکت است، پس حرکت تکرار می شود.



شکل (1-6)

این بسیار واضح است که متحول فاصله (X) با زمان، یک تابع کوساین است که در شکل (1-7) آن را دیده می‌توانید. ولی اگر متحول سرعت را نظر به زمان چنانچه در شکل (1-6) دیده می‌شود ارایه نماییم، منحنی یی؛ مانند: شکل (1-8) را به دست خواهیم آورد.



شکل (1-8)

منحنی توسط پنسل با کش شدن فیتیه‌یی که تحت کتله مهتزاز قرار دارد، ترسیم شده می‌تواند.

سؤال

- 1- با استفاده از معادله (3-1) ارایه گرافیکی شتاب حرکت ساده‌هارمونیکی را ترسیم نمایید.
- 2- آیا می‌توانیم از تابع ساین برای ارایه حرکت ساده‌هارمونیکی استفاده کنیم؟ شرح دهید.
- 3- اگر کتله به یک کتله بزرگ‌تر تبدیل شود، چه تأثیری بالای فریکونسی اهتزاز سیستم کتله - فنر وارد خواهد کرد؟ دلایلی که جواب شما را تقویت می‌کند، بنویسید.

1-7: معادله حرکت ساده‌هارمونیکی

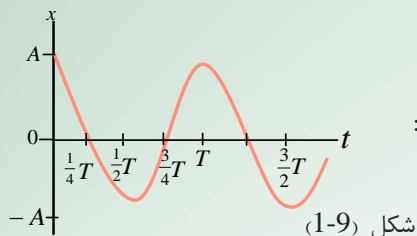
اکنون واضح گردید که معادله‌یی که حرکت ساده‌هارمونیکی را تشریح کرده می‌تواند، باید پیروی آن یک باشد. پس ما می‌توانیم موقعیت ذره مهتزاز در هر لحظه را توسط معادله $X = A \cdot \cos(\omega t + \phi)$ 4 به دست آوریم. معادله فوق یک معادله خیلی مهم است. این معادله رابطه بین دو متحول (موقعیت X و زمان t) را ارایه می‌دارد. با استفاده از این معادله، موقعیت ذره مهتزاز را در هر زمان داده شده تعیین کرده می‌توانیم. از آنجا که A ، ω و ϕ ثابت هستند، پس $(\omega t + \phi)$ فاز حرکت می‌باشد، زیرا قیمت آن طبیعت حرکت را برای ذره تعیین می‌کند. این معادله مقادیر و سمت‌های موقعیت، سرعت و شتاب را که به طور دوامدار در حال تغییر هستند، به ما می‌دهد.

A عبارت از امپلیتюд بوده و قسمت اعظمی فاصله بی جا شده از موقعیت اصلی (تعادل) می باشد که قبلاً درباره آن بحث صورت گرفت.

φ عبارت از فاز ثابت (یا فاز اولیه) بوده و تعلق به حالت های اصلی (آغازی) دارد. در شکل (1-9) در لحظه یی $t = 0$ ، $X = A$ می باشد. با وضع نمودن قیمت t به معادله (1-4)، داریم:

$$A = A \cdot \cos(0 + \varphi)$$

از این معادله به آسانی می توان استنباط کرد که: باید $\cos \varphi = A/A = 1 \Rightarrow \varphi = 0$ باشد.



شکل (1-9)

بنابراین: برای حرکتی که در شکل (1-6) توضیح گردید، تابع حرکت ساده هارمونیک، یعنی: $X = A \cdot \cos \omega t$ به دست می آید.

فرضاً یک شخص مشاهده اش را از نقطه O یا $X = 0$ در یک سیستم کتله - فنر که در شکل (1-9) به مشاهده می رسد آغاز می کند، چنین معنی می دهد که در لحظه یی $(X = 0) \Rightarrow (t = 0)$ بوده که با وضع کردن قیمت ها به معادله (1-4) نوشته کرده می توانیم:

$$0 = A \cdot \cos(0 + \varphi)$$

$$\cos \varphi = 0 \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$$

بنابراین برای شخص مشاهده، تابع عبارت است از:

$$x = A \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

مسلماً هر حرکت ساده هارمونیک قیمت خاص φ خود را که متعلق به قیمت X در زمان $t = 0$ می باشد، دارد.

فریکونسی زاویه‌یی (ω) چیست؟

سیستم کتله - فنر را در نظر بگیرید، ما می‌دانیم که هرگاه یک اهتزاز مکمل در سیستم صورت بگیرد، در این صورت دو حالت می‌تواند وجود داشته باشد:

1 - ذره مهتزاز بعد از یک اهتزاز مکمل به موقعیت اولی‌اش برمی‌گردد، صرف نظر از اینکه از کدام موقعیت به مشاهده آن آغاز نموده ایم. ذره از هر نقطه‌یی که به اهتزاز آغاز کند بعد از یک اهتزاز مکمل، دوباره به همان نقطه برمی‌گردد. [به تعریف اهتزاز مکمل، عنوان (1-3) مراجعه کنید و کوشش کنید آن را به زبان خود تشریح نمایید]. چنین معنی می‌دهد که قیمت امپلیتюд بازهم تغییر نکرده و X همان قیمت موقعیت اولی ($X_i = X_f$) را دارد.

2 - ذره برای یک اهتزاز مکمل خود به زمان مساوی به پیریود (T) ضرورت دارد، که در واقع این تعریف حقیقی پیریود می‌باشد.

بنابراین: $x_f(t+T)$ (امپلیتюд در موقعیت آخری) $= x_i(t)$ (امپلیتюд در موقعیت اولی)

$$A \cos(\omega t + \phi) = A \cos \omega(t+T)$$

برای آسان ساختن آن، فرض می‌کنیم $\phi = 0$ است، پس می‌توان نوشت:

$$\cos(\omega t) = \cos(\omega t + \omega T)$$

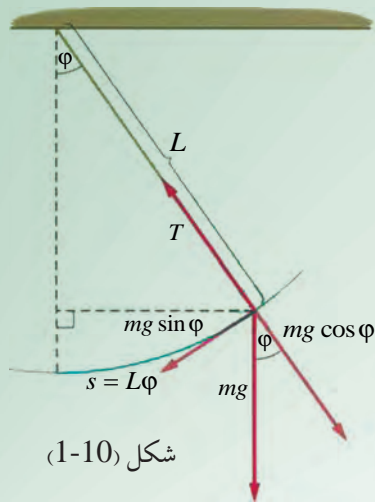
از توابع مثلثاتی می‌دانید که اهتزازها در دوران هر 2π تکرار می‌شوند؛ بنابراین $\omega T = 2\pi$ و یا $\omega = \frac{2\pi}{T}$ است.

ω عبارت از فریکونسی زاویه‌یی حرکت ساده‌هارمونیکی می‌باشد. تجارب نشان می‌دهد که فریکونسی سیستم کتله - فنر توسط رابطه ذیل به دست می‌آید:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

پیریود چیست؟

اکنون می‌خواهیم پیریود یک حرکت ساده‌هارمونیکی را دریافت کنیم. شکل (1-10) یک رقاصه ساده و قوه‌های عامل بالای کتله (گلوله کوچک) را نشان می‌دهد. وزن کتله به دو قوه به استقامت‌های طول تار (L) روی محور شعاعی (قوه اصطکاک قابل صرف نظر است) و محور تانجانت (میل مماس) مطابق شکل (1-10) تجزیه شده است.



شکل (1-10)

قوة کشش تار (T) توسط قوة مركبة $mg \cdot \cos \phi$ خنثا و $mg \sin \phi$ به حثت قوة حرکت دهنده عمل می کند. چون این قوه همیشه به مقابل سمت بی جا شده مواجه می باشد، بنابراین به حثت قوة برگرداننده عمل می کند. پس می توان گفت که حرکت رقاصه، یک حرکت ساده هارمونیکی است و $F_r = -mg \cdot \sin \phi$ (قوة برگرداننده). اگر زاویه ϕ را بسیار کوچک در نظر بگیریم، $\sin \phi \approx \phi$

بوده و چون ϕ به رادیان اندازه می شود، پس قوة برگرداننده مساوی به $-mg\phi$ است. از جانب دیگر ما می دانیم که $\phi = \frac{S}{L}$ به رادیان می باشد. بنابراین: $F_r = -mg \frac{S}{L} = -\left(\frac{mg}{L}\right)S$ اکنون واضح شد که این یک قوة برگرداننده است.

از مقایسه کردن این سیستم با سیستم کتله - فنر که در آن $F_r = -kx$ بود، ما به آسانی دیده می توانیم که $\left(\frac{mg}{L}\right)$ در رقاصه، عدد ثابت بوده و حیثیت k را در سیستم کتله - فنر دارد و از آنجا که در سیستم کتله - فنر:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow k = \omega^2 \cdot m$$

$$\frac{mg}{L} = \omega^2 m \quad \text{پس در رقاصه ساده:}$$

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \text{که در نتیجه:}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \text{چون برای یک اهتزاز مکمل}$$

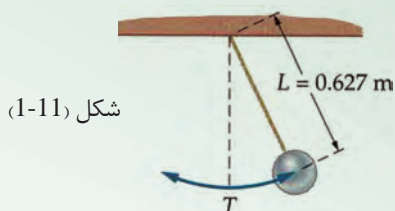
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \text{پس برای زمان یک پیرود نوشته کرده می توانیم:}$$



سؤال

1. پیریود رقاصه ساده را به دست آرید.

2. در شکل (1-11) که یک حرکت ساده‌ه‌ارمونیکی را نشان می‌دهد. دریافت کنید:



a- پیریود اهتزاز را

b- فریکونسی اهتزاز را

3. یک سیستم کتله - فنر در حال اهتزاز است. موقعیت کتله در هر لحظه‌یی کیفی زمانی عبارت از تابع

$$x = 0,04 \cdot \cos\left(\frac{83t}{F_r}\right)$$
 می‌باشد. دریافت کنید:

a- امپلیتюд را

b- پیریود را

c- موقعیت کتله در زمان $t = 0,1s$ را

1-8: رابطه بین حرکت دایره‌یی و حرکت ساده‌ه‌ارمونیکی

پستون در ماشین موترها پایین و بالا حرکت می‌کند، در حالی که تایرها دور می‌خورند. رابطه بین حرکت ساده‌ه‌ارمونیکی و حرکت دایره‌یی چگونه است؟ فعالیت ذیل را انجام دهید:



فعالیت

مواد مورد ضرورت: موتور برای حرکت دورانی، گلوله کوچک، دسک مدور،

گروپ و پرده.

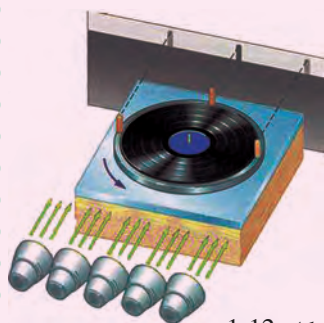
طرز العمل:

1. گلوله را به یک سیخ محکم نموده مطابق شکل (1-12) سیخ را روی دسک محکم کنید.

2. دسک را به موتور نصب کنید.

3. گروپ را روشن نموده، کوشش کنید که سایه گلوله را روی پرده بیندازید.

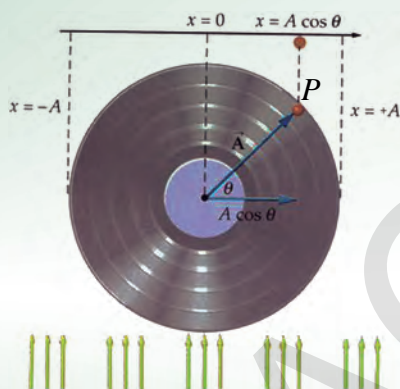
4. موتور را به دوران آورده، شرح دهید که روی پرده چه را مشاهده می‌کنید؟



شاید به آسانی یافته بتوانید که حرکت سایه گلوله در روی پرده، یک حرکت ساده هارمونیک است. وقتی که گلوله می چرخد، موتور مرتسم حرکت آن را روی پرده به ما می دهد. پس می توانیم به نتیجه برسیم که:

حرکت ساده هارمونیک عبارت از مرتسم حرکت یکنواخت دایره ای بالای قطر دایره ای است که حرکت یک بعدی در آن واقع می شود.

بیایید به این نتیجه گیری نگاه عمیق تر بیندازیم: شکل (1-13) یک ذره (m) را در حرکت منظم دایره ای با یک سرعت زاویه ای $\omega = \frac{\phi}{t}$ نشان می دهد



شکل (1-13)

و شعاع مساوی به وکتور A می باشد. در هر لحظه ای زمان (t)، موقعیت زاویه ای ذره (m) عبارت از $(\omega t + \phi)$ می باشد. (ϕ) ، زاویه آغازین یا زاویه فاز (زاویه بین موقعیت و وکتور A و محور X) می باشد. بیایید مرتسم A را به روی محور X ترسیم نماییم. از تصویر به وضاحت دیده می شود که در هر موقعیت اندازه آن $[A \cdot \cos(\omega t + \phi)]$ بوده و ما آن را $x(t)$ می نامیم که $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$ ، و این به طور دقیق همان معادله (4....) است که در گذشته به تفصیل درباره آن بحث نمودیم.

وقتی که ذره (m) به محور Y می رسد، $(\omega t + \phi) = \frac{\pi}{2}$ بوده و مرتسم A صفر می باشد، و این کاملاً مانند حالتی در سیستم کتله - فنر می باشد که در آن کتله دوباره به نقطه اولی اهتزاز بر می گشت.

کوشش کنید که حرکت دایره ای را تصور نموده، مرتسم آن را با حرکت ساده هارمونیک مقایسه نمایید. نتایج خود را بنویسید.

سؤال

حرکت یک نقطه کیفی را روی پرده یک بادپکه چگونه شرح داده می توانید. برای نوشتن تابعی که این حرکت را تشریح نماید به چه چیز ضرورت دارید؟

موضوع برای مباحثه:

دربارهٔ رقاصهٔ ساعت، ساختمان آن، میزان (adjust) شدن آن و اینکه چگونه می‌توانیم رقاصه‌بی با طول ثابت داشته باشیم تا در طول یک سال، هم در زمستان و هم در تابستان نوسان نماید؛ یک تا دو صفحهٔ معلومات جمع‌آوری کنید و آن را در صنف برای همصنفان‌تان بخوانید.

خلاصهٔ فصل اول

- اهتزازها حرکت‌هایی اند که به دو طرف موقعیت تعادل جسم، خود به‌خود تکرار می‌شوند.
- حرکت ساده‌هارمونیکی یک حرکت پیروی‌دیک بوده و به شکل تابع کوساین (COS) ارایه شده می‌تواند.
- قوهٔ برگرداننده، یگانه عامل و یا سببی است که منجر به تولید اهتزاز می‌شود.
- حرکت ساده‌هارمونیکی به زبان ریاضی این طور افاده می‌گردد:

$$X = A \cos(\omega t + \phi)$$

- فریکونسی یا تواتر زاویه‌یی برای سیستم کتله - فنر، $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ و برای رقاصهٔ ساده $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ می‌باشد.

سؤال‌های فصل اول

1. برای هر یک از سؤال‌های ذیل جواب صحیح را انتخاب کنید:

الف: طول یک رقاصهٔ ساده 10m است، پیروی‌د آن عبارت است از:

$$6.38s \quad -b \quad 3.14s \quad -a$$

$$1s \quad -d \quad 10s \quad -c$$

ب) برای دو چند ساختن پیروی‌د یک رقاصهٔ سادهٔ دارای طول L، لازم است تا طول آن را:

-b نصف نماییم

-a دو چند نماییم

-d چهارم حصه نماییم

-c چهار چند نماییم

ج) سرعت در حرکت ساده‌هارمونیکی به قیمت اعظمی خود می‌رسد وقتی که:

-b قیمت اصغری را به‌خود بگیرد.

-a قیمت اعظمی گردد.

-d b و c هر دو صحیح اند.

-c x صفر گردد.

د) یک ذره با امپلیتюд 12cm از یک نقطه که دارای موقعیت و کتوری 12cm است، شروع به اهتزاز می‌کند. ثابت فاز ϕ عبارت است از:

$$a. \frac{\pi}{2} \quad b. \frac{3\pi}{2} \quad c. \pi \quad d. \frac{\pi}{4}$$

2. یک ذره در حالت نوسان بوده و موقعیت آن در هر لحظه‌یی زمان توسط تابع $X(t) = 0.02 \sin(400t + \frac{\pi}{2})$ داده شده است. دریافت کنید:

a- فریکونسی حرکت را b- پیریود حرکت را

c- امپلیتюд حرکت را d- موقعیت ذره را در لحظه‌یی $t = 0.3\text{sec}$

3. یک سیستم کتله - فنر دارای فریکونسی 5Hz است. هرگاه ثابت فنر $K = 250 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ باشد، کتله را حساب کنید.

4. هرگاه در یک سیستم کتله - فنر، $m = 0.5\text{kg}$ بوده و 60 اهتزاز را در 4 ثانیه تکمیل نماید، دریابید:

a- فریکونسی را b- ثابت فنر را

c- انرژی اعظمی پوتانشیل را در صورتی که امپلیتюд، 3cm باشد.

5. افاده‌های ذیل را تعریف کنید:

a- اهتزازهای کامل b- پیریود c- فریکونسی

d- ثابت فاز e- حرکت پیریودیک

6. هرگاه کتله 0.6kg به اندازه 4cm کش شده و رها گردد، و ما محاسبه وقت را از موقعیت تعادل آغاز نماییم، در آن صورت:

a- شکل این تمرین را رسم نمایید. b- قیمت‌های f و T را در صورتیکه $k = 300 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ باشد، حساب کنید.

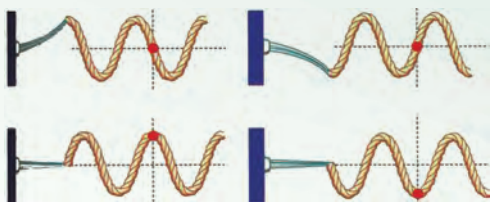
c- امپلیتюд چند است؟ d- تابعی را بنویسید که حرکت را تشریح نماید.

7. طول یک رقاصه ساده 0.25m است، پیریود آن را دریابید. اگر این رقاصه به مهتاب برده شود، در آنجا پیریود آن چند خواهد بود؟ در نظر داشته باشید که شتاب سقوط آزاد در سطح مهتاب، $\frac{1}{6}$ شتاب سقوط آزاد در سطح زمین می‌باشد ($g_m = \frac{1}{6}g$).

8. کدام شرایط باید مهیا گردد تا یک حرکت ساده‌هارمونیک داشته باشیم؟

9. آیا می‌توانیم حرکت یک قمر مصنوعی را به مثابه یک حرکت ساده‌هارمونیک مطالعه کنیم؟ چگونه؟ تشریح نمایید.

امواج و حرکت آنها



علم فزیک قانونمندی حرکات مختلف جهان مادی را بررسی می‌کند. ساینس دانان از این مطالعات به نفع بشریت استفاده می‌کنند. یکی از این حرکات، حرکت نوسانی است که در فصل قبلی مطالعه نمودیم. در این فصل، بر اساس حرکت نوسانی، حرکات مختلف موجی را بررسی می‌نماییم. همچنان در این فصل، انواع موج‌ها را از جوانب مختلف از نظر خصوصیات فیزیکی آنها مطالعه می‌کنیم. چون فزیک موجی پدیده‌های میخانیکی، نوری، برقی، هسته‌یی و حرارتی را در بر دارد، کوشش می‌کنیم که این موضوع را با مثال‌های ساده روشن نماییم.

1-2: موج چیست و چند قسم است؟

حرکت موجی به آن حرکت گفته می‌شود که ذرات اهتزازی، انرژی حرکتی خویش را به صورت دوامدار به ذره مجاور داده و آن را به نوسان می‌آورد. این عملیه در محیط متجانس و استقامت مقابل ادامه پیدا می‌کند، تا زمانی که با تصادم به یک مانع، انرژی خود را از دست داده و در محیط جذب شود. هر موج خصوصیات مشخص دارد و آن عبارت از طول موج، فریکونسی، دامنه اهتزاز ذرات و سرعت می‌باشد. امواج از نظر خصوصیات فیزیکی به دو بخش تقسیم شده است:

1. امواج میخانیکی.

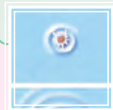
2. امواج الکترومقناطیسی.

یک تعداد مشخصات معین فیزیکی در هر دو نوع امواج موجود است؛ مثلاً: موج در محیط متجانس به خط مستقیم منتشر می‌گردد. هر موج، طول موج فریکونسی و پیریود مشخص دارد. هر موج سرعت انتشار خاصی دارد که به کثافت محیط انتشار مرتبط می‌باشد. موجودات زنده می‌شنوند و می‌بینند، این پروسه‌ها و میکانیزم شنیدن صداها و دیدن اشیا همه خصوصیات موجی دارند. به همین قسم امواج روی آب، موج‌هایی که از زلزله برمی‌خیزند و دیگر پدیده‌های طبیعی، شکل‌هایی از امواج اند.

به همین سبب، ساینس دانان از قانونمندی‌های طبیعت در تخنیک استفاده نموده و آن را در خدمت انسان‌ها قرار می‌دهند.

آیا فکر کرده اید که امواج میخانیکی و الکترومقناطیسی چه تفاوتی با یکدیگر دارند؟

فعالیت



شاگردان در صنف به سه گروه تقسیم گردیده و مثال‌هایی از امواج میخانیکی و الکترومقناطیسی را ارائه کرده و در حضور معلم بر روی تخته بنویسند.

معلم فعالیت هر گروه را ارزیابی نموده و از شاگردان بپرسد که چگونه به این مثال‌ها رسیده‌اند؟

اکنون به ترتیب، ابتدا امواج میخانیکی و بعد امواج الکترومقناطیسی را بررسی می‌نماییم.

2-2: امواج میخانیکی

اگر در یک قسمت یک محیط متجانس اخلاخل وارد شود، پس در مالیکول‌ها «یا ذرات» این محیط قوه‌های کشش به وجود می‌آید و این قوه‌ها بدون اینکه موقعیت قسمت‌های محیط را تغییر بدهد، به ساختارهای مادی مجاور خود انرژی می‌دهند و در نتیجه موج در محیط منتشر می‌گردد. در طبیعت، امواج میخانیکی در دندها و آب‌های ایستاده به وضاحت مشاهده می‌شود.

در یک محیط متجانس، سرعت موج میخانیکی در رابطه $x = v \cdot t$ صدق می‌کند. می‌بینید که در این رابطه، فاصله انتشار طول موج تابع وقت به شکل خطی می‌باشد. پس استقامت انتشار، یک شکل خطی را دارد.

چگونه‌گی انتشار امواج میخانیکی، به کثافت و خصوصیات فزیک محیط ارتباط دارد.

اگر اخلاخل محیط به‌شدت انجام گردد، امواج به وجود آمده بسیار بلند و عمیق می‌باشد. موضعی که اخلاخل در آن به وجود می‌آید، منبع انتشار موج نامیده می‌شود.

امواج میخانیکی در رابطه با استقامت انتشار و چگونه‌گی اهترزاز اجزای محیط، به سه بخش تقسیم گردیده است که امواج طولی، امواج عرضی و موج‌های ایستاده نامیده می‌شوند.



شکل (1-2)

فعالیت



شکل (2-2)،

منظره قسمتی از امواج در ظرفیکه
نصف آن از آب پر شده باشد

شاگردان به چند گروپ تقسیم گردند و به هر گروپ ظرفی که نصف آن از آب پر باشد همراه با دو سنگ داده شود. سنگچل‌ها یکی سبک و دیگری آن سنگین انتخاب شود. شاگردان ابتدا در ظرف، آب ایستاده را مشاهده کنند که هیچ نوع موجی در آن معلوم نمی‌شود. بعد شاگردان سنگ کوچک را به طور عمودی به صورت سقوط آزاد در ظرف رها نمایند و بلندی و عمق امواج تولید شده را مشاهده کنند.

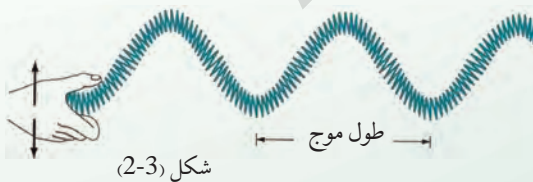
هنگامی که موج‌ها از بین رفت، سنگ کلان‌تر را به طور آزاد در آب پرتاب نمایند. شاگردان و معلم درباره بلندی و عمق موج‌ها در هر دو حالت مباحثه کنند.

به همین ترتیب، می‌توانیم در طبیعت، چگونه‌گی امواج میخانیکی را بیشتر بررسی نماییم و از آنها مثال‌های گوناگون ارایه کنیم.

2-3: امواج عرضی

چه فکر می‌کنید؛ این‌ها چگونه امواجی اند؟

دو مفهوم اهتزاز را در نظر بگیرید، سمت انتشار موج و موقعیت مربوط به اهتزاز موج. با دانستن خصوصیات یاد شده، نوعیت موج میخانیکی (عرضی یا طولی) تفکیک شده می‌تواند.



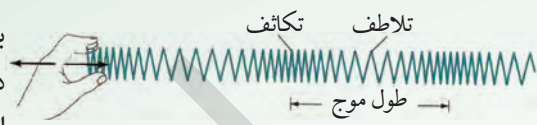
در شکل مقابل، امواج عرضی را در یک فنر تحت بررسی قرار می‌دهیم. حلقه اولی فنر را توسط دست بلند می‌کنیم، یعنی به حالت عادی فنر اخلاص وارد می‌نماییم.

هرگاه این حلقه را به سرعت رها کنیم، این حلقه فنر به حلقه‌های مجاور خویش انرژی انتقال می‌دهد و حلقه‌های فنر را به شکل بالا و پایین اهتزاز می‌دهد. در اینجا اهتزاز حلقه‌ها به سمت استقامت افقی امواج عمود است. یعنی در امواج عرضی سمت اهتزاز به استقامت انتشار موج‌ها عمودی است. معمولاً امواجی که از اثر تکان دادن فنر به دو طرف چپ و راست نیز به وجود می‌آید، عرضی بوده و مشابه گراف تابع سین (sin) می‌باشد.

2-4: امواج طولی

در شکل امواج طولی دیده می‌شود. در اینجا یا چند حلقه قسمت انتهایی فنر را به هم نزدیک نموده بعداً آن‌را به سرعت رها می‌کنیم و یا اینکه عوض این کار، به یک انتهای فنر ضربه وارد می‌نماییم تا حلقه‌های تحت ضربه فنر دفعاتاً یکی به دیگری نزدیک (جمع) و از هم دور شوند.

در نتیجه آن موجی که در فنر به وجود می‌آید، به طور افقی به امتداد طول فنر حرکت می‌کند. در حالی که سمت اهتزاز حلقه‌های فنر به استقامت انتشار موج موازی است، عملیه جمع شدن و رها شدن حلقه‌ها، اهتزاز فنر را با انتشار موج به گونه موازی نشان می‌دهد.



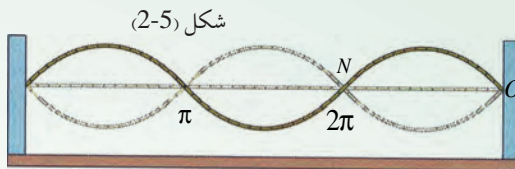
شکل (2-4)

جمع شدن و انتشار این حلقه‌های فنر را در شکل (2-4) مشاهده کرده می‌توانید. از توضیحات فوق درباره امواج طولی و عرضی گفته می‌توانیم که هم در امواج عرضی و هم در موج طولی، وقتی که اهتزاز در حلقه‌ها ایجاد می‌گردد، این اهتزازات سبب می‌شود که قوه به حلقه مجاور انتقال یابد. به همین ترتیب در نتیجه نوسان‌ها، انرژی توسط موج‌ها انتقال می‌یابد که این موضوع در بخش اهتزازات به صورت مکمل تشریح شده است. قابل یادآوریست بگوییم که انتشار زلزله‌ها هم عرضی و هم طولی بوده می‌توانند. موج‌های زلزله از عمق زمین بلند شده و بعد به روی زمین می‌رسند. نظر به نوع موج زلزله و سرچشمه آن، سرعت انتشار زلزله‌ها با هم متفاوت است. جدول ذیل نظر به عمق زمین، اندازه سرعت انتشار امواج عرضی و طولی را در زلزله‌ها نشان می‌دهد.

سرعت موج عرضی به (km/s)	سرعت امواج طولی به (km/s)	عمق زمین به (km)
3.3	5.4 – 5.6	0 – 20
3.5	6.25 – 6.75	20 – 45
6.9	12.5	1300
7.5	13.5	2400

2-5: موج‌های ایستاده

فکر کرده می‌توانید که امواج ساکن چگونه موج‌هایی هستند؟ در پهلوی موج‌های عرضی و طولی قبلاً مطالعه نمودیم، حال در مورد موج‌های ساکن معلومات به دست می‌آوریم. به امواج ساکن به‌خاطری این نام داده شده است، که مانند امواج دیگر در محیط انتشار نمی‌شوند.



این امواج از اثر دو موجی که دارای فریکونسی مساوی بوده و یکی در جهت مخالف دیگر انتشار می‌یابد، به وجود می‌آیند.

تارهای مرتعش آلات موسیقی مثل؛ دوتار، سه تار، تنبور و رباب هنگام نواختن (ساز کردن) بر اساس تولید همین امواج ساکن کار می‌کنند. درین آلات دست راست، تار را به حرکت می‌آورد و دست چپ بر روی پرده حرکت می‌کند، تا که آواز به وجود آمده توسط دست راست، موج برابر با فریکونسی دست چپ را به روی پرده تولید نماید. در سازها این پروسه دوامدار و مغلق است؛ زیرا انگشتان هر دو دست بسیار به سرعت حرکت می‌کنند. در شکل (2-5) می‌بینید که در یک ریسمان چگونه از دو موج عرضی، موج ساکن به میان آمده است. ما می‌توانیم نمونه موج ساکن را به واسطه موجی که از یک ریسمان به وجود می‌آید، نمایش دهیم، ولی شرط اینست که ضربه دست در سر ریسمان یکی پی دیگر چنان امواج متواتر را به وجود آورد که فریکونسی آنها با هم مساوی و یکی از دیگر به اندازه π تفاوت فاز داشته باشد. «فاز، زاویه‌یی است که اندازه پیش بودن و عقب بودن ذره اهتزاز را ارایه می‌دارد و این موضوع قبلاً بررسی گردیده است». وقتی که موج اولی از انتهای ریسمان بسته شده انعکاس نموده و برمی‌گردد و به نقطه N می‌رسد، موج متواتر بعدی به نقطه‌یی که ریسمان در آن محکم گردیده می‌رسد و با موج اولی در نقطه N یک گره یا عقده را به وجود می‌آورد و در نتیجه، در بین خطوط منحنی ON و NO بطن می‌سازد. گره‌ها و بطن‌ها در امواج تا آن وقت به وجود می‌آیند که انرژی حرکی و پوتانسیالی امواج در محیط غیرمنظم شده و جذب گردد.

2-6: خصوصیت امواج

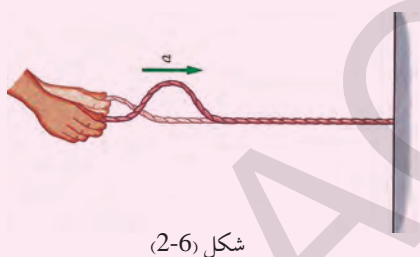
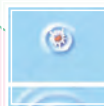
چه فکر میکنید؟ امواج و حرکت آنها به واسطه کدام مشخصات از یک‌دیگر جدا و تفکیک می‌شوند؟ فرق بین حرکات موجی و حرکتهای اهتزازی در چیست؟

برای جواب به سؤالات طرح شده، باید بدانیم که یک موج مشخص، مانند یک اهتزاز برای شناسایی اش خصوصیات مانده: طول موج، فریکونسی موج، وقت تناوب و یا زمان موج واحد (پیریود)، مودل ریاضی و معادله حرکت یا انتشار موج دارد، که درینجا هر یک آنها را به طور مشخص مطالعه می‌کنیم.

2-7: طول موج

طول موج مشخصه شناخت یک موج است و واحد اندازه‌گیری آن، همان واحد اندازه‌گیری طول است. موج‌ها از قیمت‌های بسیار کوچک مانند انگستروم A° گرفته الی قیمت‌های بسیار طویل مثل کیلومتر (Km) طول دارند. از نگاه نوعیت، هم امواج عرضی و هم موج‌های طولی هر دو دارای طول موج هستند. آیا در امواج الکترومقناطیسی و میخانیکی نیز موضوع طول موج‌ها قابل بحث است؟ بلی.

فعالیت

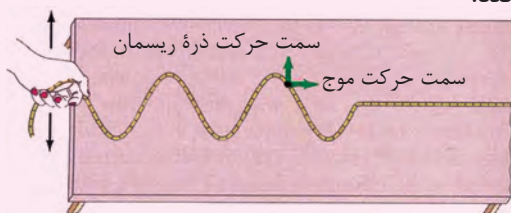


شکل (2-6)

با این فعالیت شما از درس‌های گذشته آشنا هستید. در این فعالیت یک ریسمان نسبتاً طویل را بر یک دیوار و یا پهلوی تخته سیاه به طرف مقابل بسته می‌کنیم و بعد از هر قطار صنف دو شاگرد را انتخاب نموده، سر آزاد ریسمان را به دو شاگرد اولی می‌دهیم تا آن را ابتدا از بالا به پایین تکان دهند. شاگردان صنف در این حالت چگونه گی امواج به وجود آمده در ریسمان را توضیح دهند.

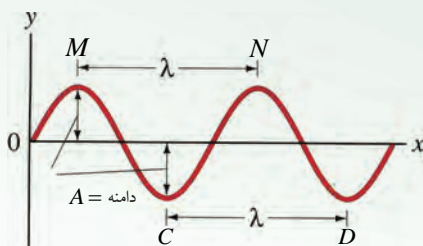
بعد از آن، از دو شاگرد دیگر بخواهید که سر آزاد ریسمان را از راست به چپ تکان دهند و بر شکلی که تشکیل شده، بحث و ابراز نظر نمایند.

شاگردان در هر دو حالت روی طول امواج تشکیل شده بحث نمایند و سپس طول موج‌ها را خودشان در روی اشکال مقابل اندازه کنند.



شکل (2-7)

حالا بیا ببینیم با هم این شکل‌ها را تحلیل نماییم. معادله ریاضی حرکات موجی، تابع \sin یا \cos بوده و مربوط به اینست که مبدأ انتشار موج از کدام نقطه مسیر این تابع \sin حساب می‌گردد. اگر مبدأ انتشار یک موج برای یک ماده را تحت بررسی قرار دهیم و باز در مسیر انتشار، چنان یک نقطه مادی را نزدیک به نقطه دومی تعیین نماییم که این دو نقطه نزدیک به همدیگر از نگاه داشتن انرژی با هم مساوی باشند، در آن صورت کوتاه‌ترین فاصله بین این نقطه‌ها که یک مستقیم است، به نام طول موج یاد می‌شود. یا به عبارت دیگر، فاصله‌ی بین دو موج در زمان یک پریود طی می‌نماید طول موج می‌گویند. طول موج به حرف لاتین (λ) نشان داده می‌شود.



شکل (2-8)

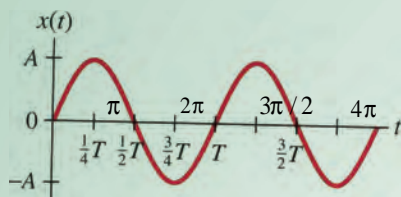
در طبیعت، طول موج‌های مختلف و متفاوت وجود دارد، می‌توانیم چنین امواج را به صورت مصنوعی نیز ایجاد نماییم که طول موج‌های آنها با هم مساوی و یا مقابل هم باشند.

2-8: فریکونسی

طوری که قبلاً گفتیم، که اندازه تعداد اهتزازات موجی فی واحد وقت فریکونسی نامیده می‌شود، که با سمبول f نشان داده می‌شود. واحد اندازه‌گیری فریکونسی هرتز (Hertz) است که با سمبول (Hz) نمایش داده می‌شود. تمام امواج طبیعی الکترومقناطیسی و میخانیکی با همین واحد اندازه می‌شود.

2-9: پریود

می‌دانیم که همه حادثات طبیعی در زمان صورت می‌گیرند، و هیچ پدیده‌ی احساس شده نمی‌تواند که خارج از فکتور زمان واقع شده باشد. موج‌ها هم در حقیقت عبارت از انتشار دوامدار حرکت اهتزازی روی یک خط است. از طرف دیگر می‌دانیم که بین یک اهتزاز مکمل ساده روی قطر یک دایره و یک دور منظم یک جسم متحرک بر روی محیط دایره مربوط همین قطر، یک ارتباط موجود است که قبلاً آن را بررسی نموده‌ایم. حال اگر با سپری شدن زمان، یک تعداد رفت و آمد اهتزازات بر روی قطر دایره را با یک تعداد دوران‌ها بالای محیط دایره مقایسه نماییم، دیده خواهد شد که زمان اهتزاز مکمل در این دو حرکت و یا دوران یکسان بوده که به این زمان پریود گفته می‌شود. به عبارت واضح تر وقتی که در آن، موج یک اهتزاز مکمل را انجام می‌دهد، پریود نامیده می‌شود.



شکل (2-9)

بر روی شکل، ارتباط بین زاویه‌های محیطی دایره و پیریود را با سپری شدن زمان مورد بررسی قرار می‌دهیم. زاویه برای یک دوران مکمل، $\varphi = 2\pi$ بوده و وقت مربوط به این دوران، T می‌باشد. پس برای سرعت زاویه‌یی نوشته می‌توانیم که: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ اگر به طور مشابه، این رابطه را برای موج بنویسیم.

پس در حقیقت، سرعت اهتزاز موجی که بعد از یک پیریود T ، بر طول یک موج λ از دو نقطه هم‌فاز، عبور می‌نماید، عبارت از $v = \frac{\lambda}{T}$ است.

10-2: انعکاس موج میخانیکی

آیا موج‌های میخانیکی انعکاس می‌نمایند؟ یعنی بعد از برخورد با مانع، دوباره بر روی خود برمی‌گردند؟ اگر موج‌های آب دریا را به دقت دیده باشید، حتماً متوجه شده اید وقتی که موج‌های آب به ساحل دریا برخورد می‌کند، ابتدا به کناره‌های خشکه بلند رفته و بعد از تصادم با لب‌های دریا دوباره به شکل موج به طرف دریا، برمی‌گردد و بعد از تصادم با موج‌های تازه از بین می‌رود. به این حادثه که موج بعد از تصادم بازهم به شکل موج به طرف دریا می‌رود، انعکاس موج گفته می‌شود. انعکاس صدا، ثبوت روشنی برای پدیده انعکاس امواج میخانیکی می‌تواند باشد.

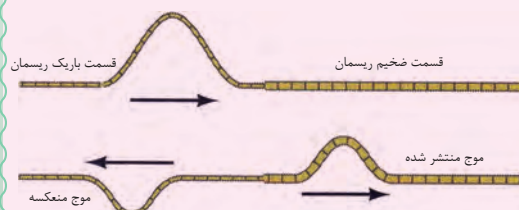
فعالیت



شاگردان در صنف به دو گروه تقسیم گردند.

1. در اختیار گروه اول یک ظرف نسبتاً کلان پر از آب قرار داده شود. نماینده گروه داخل ظرف یک سنگچل کوچک را پرتاب نماید. شاگردان در ظرف پر از آب، حرکت موج‌های منتشره را مشاهده نموده و بعد از تصادم با کنار ظرف، نتیجه را در صنف گزارش دهند.

2. در اختیار گروه دوم، ریسمانی قرار داده شود که نصف آن بسیار باریک و نصف دیگر آن نسبتاً ضخیم باشد. قسمت ضخیم ریسمان به یک دیوار و یا درخت محکم گردد. و سمت باریک ریسمان به‌خاطر تولید موج تکان داده شود. شاگردان مشاهده خواهند کرد که در حرکت موج تولید شده بعد از برخورد به قسمت ضخیم ریسمان، چه تغییری به وجود می‌آید؟



شکل (2-10)

از هر دو حالت فوق آشکار می‌شود که موج‌ها به همان محیطی که از آن انتشار می‌کنند، دوباره برمی‌گردند.

شاگردان باید بفهمند که در حالت انعکاس، محیط حرکت موج تغییر نمی‌کند، فقط موج، بعد از برخورد با یک مانع یا جسم سخت، دوباره به مسیر قبلی خود برمی‌گردد.

11-2: انکسار یا شکست موج میخانیکی

از خصوصیات موجی شعاع نوری که در صنوف گذشته مطالعه نمودیم، می‌دانیم وقتی که امواج نوری از یک محیط متجانس شفاف به محیط دیگر شفاف داخل می‌شوند، مسیر انتشارشان را در محیط دوم تغییر می‌دهند که به این عملیه، شکستن یا انکسار نور می‌گویند.

چه فکر میکنید؟ آیا در امواج میخانیکی نیز این عملیه صدق می‌کند؟ و یا خیر؟
بلی! خصوصیات موج‌های الکترومقناطیسی شعاع نوری و موج‌های میخانیکی هر دو در این عملیه یکسان بوده، هنگامی که از یک محیط متجانس به محیط دیگر داخل می‌گردند، می‌شکنند و مسیر اصلی خود را تغییر می‌دهند. باید بگوییم که خواص امواج میخانیکی علاوه بر ساختار و کثافت محیط، به فشار محیط انتشار و پارامیترهای مربوط به آن هم ارتباط دارد که از تفصیل آن در اینجا صرف نظر می‌نماییم.

رابطه بین سرعت، طول موج و فریکونسی یک موج میخانیکی که به سرعت معین در یک محیط انتشار می‌نماید چنین ارایه می‌گردد: $v = \lambda \cdot f$

یک خصوصیت عمده این رابطه اینست که سرعت تنها به طول موج ارتباط دارد و فریکونسی تغییر نمی‌کند. فرضاً سرعت یک موج مشخص را در دو محیط بررسی می‌نماییم.

رابطه فوق را برای محیط اول این طور می‌نویسیم. $v_1 = \lambda_1 \cdot f$ و هنگامی که موج متذکره به محیط دوم که کثافت آن نسبت به محیط اول متفاوت است داخل شود، این طور می‌نویسیم:

$$v_2 = \lambda_2 \cdot f$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \text{ هرگاه دو رابطه آخری را با هم تقسیم نماییم، در آن صورت داریم که:}$$

رابطه آخری نشان می‌دهد که در دو محیط متفاوت، نسبت سرعت‌ها با نسبت طول‌های موج مستقیماً متناسب است. تجارب نشان داده است که وقتی میترولوژیست‌ها در اتموسفیر حرکات موجی را بررسی می‌کنند، در پهلوی آن درجه حرارت و فشار محیط‌های مختلف را نیز در نظر می‌گیرند.

12-2: تداخل

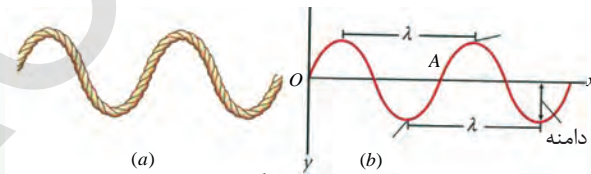
در اثر مطالعات و تحقیقات در جهان امواج، پدیده‌هایی دیده شده است که امروز با استفاده از آنها در تکنیک سهولت‌های زیادی به وجود آمده است. زمان که در پروسه انتشار امواج، یک بخش از موج‌های نشر شده با بخش دیگری تداخل می‌کنند، در این زمینه ساینس دانان موفق گردیده اند که ببینند، اول، موج‌ها یکی به دیگر چگونه تداخل می‌کنند و پدیده‌های جدیدی که از این تداخل موج‌ها به دست می‌آید یا آشکار می‌گردد، بر مبنای کدام قوانین فیزیکی استوار اند هرگاه موجی قسماً با موج دیگر یکجا شود، به این عمل تداخل گفته می‌شود.

13-2: تابع انتشار موج

اگر خصوصیات فیزیکی نقاط اهتزازی موج را به استقامت انتشار آن و این نقاط را از منبع انتشار موج با تابع زمان مشخص کرده بتوانیم، به چنین تابعی، تابع خصوصیت اهتزازی موج گفته می‌شود.

قبلاً ذکر نمودیم که تابع موج ساده شکل $y = a \cdot \sin \phi$ را دارد.
درین تابع ϕ ، a و y کدام کمیت‌ها اند؟

در اینجا ϕ زاویه‌یی است که در زمان اختیاری (t) به سرعت معین طی می‌گردد، البته با قیمت‌های مختلف t ، موقعیت نقطه اهتزاز را نظر به منبع موج (نقطه O) مشخص می‌کنند.



شکل (2-11)

اگر در رابطه فوق قیمت $\phi = \omega t$ را نظر به موقعیت (O) وضع کنیم، پس نوشته کرده می‌توانیم که: $y_o = a \cdot \sin \omega t$

و برای یک اهتزاز مکمل: $y_o = a \cdot \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t$

در نظر می‌گیریم که نقطه (O) یک اهتزاز کامل را انجام می‌دهد، بعد از ختم اهتزاز متذکره، نقطه اهتزاز هم‌فاز به O یعنی نقطه A با تأخیر مدت زمان $t = T = \frac{\lambda}{v}$ به اهتزاز آغاز می‌نماید. در اینجا فاصله بین نقاط اهتزاز O و A به اندازه λ می‌باشد و موج با سرعت v توسط تبادل انرژی با ذرات مجاور محیط در نقطه متذکره به اهتزاز آغاز می‌نماید.

به همین روش نقاط A' و غیره که نقطه مجاور با تفاوت فاصله و تأخیر زمانی $T = \frac{\lambda}{v}$ از نقطه مجاور دارد، انتشار موج به شکل اهتزازي آن ادامه می‌یابد. اکنون می‌خواهیم موقعیت فیزیکی اهتزازي یک نقطه کیفی M را از نقطه اهتزازي O حاصل نماییم. فرضاً نقطه M با تأخیر زمان $t_M = \frac{x}{v}$ از O به اهتزاز آغاز می‌نماید، در این حالت آغاز اهتزاز M عبارت از $(t - t_M)$ خواهد بود.

اگر قیمت t_M در محل مربوطه اش وضع گردد، خواهیم داشت که:

$$y_M = a \cdot \sin \frac{2\pi}{T} (t - t_M) = a \sin \frac{2\pi}{T} (t - \frac{x}{v}) = a \sin 2\pi (\frac{t}{T} - \frac{x}{T \cdot v})$$

با گذاشتن قیمت $\lambda = v \cdot T$ حاصل می‌نماییم که:

$$y_M = a \cdot \sin 2\pi (\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda})$$

در این رابطه $2\pi \frac{x}{\lambda}$ را اختلاف فاز بین نقاط اهتزازي M و O می‌گویند.

رابطه اخیر، موقعیت یک نقطه اهتزازي کیفی را نظر به موقعیت (O) آرایه می‌کند. هم‌چنان اگر هم‌فازهای مشخص A, A', \dots و نقاط دیگر اهتزازي نظر به (O) را در نظر بگیریم، چنین موقعیت‌ها به واسطه رابطه $k\lambda$ حاصل شده می‌تواند، به این شرط که قیمت‌های $k = 1, 2, \dots, n$ را به خود بگیرد.

$k \neq 0$ ، k ترادف نقاط اهتزازي را نشان داده و عدد تام مثبت است. $k\lambda$ ، فاصله k نقطه اهتزازي از (O) است.

فعالیت



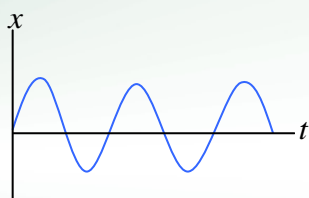
1. هر شاگرد یک‌بار دیگر در کتابچه خویش گراف سین موج را رسم نماید و سعی کند که در روی همین گراف، نقاط هم‌فاز دیگر را با هم مقایسه کند.

2. از رابطه $y = a \cdot \sin (2\pi \frac{t}{T} - 2\pi \frac{x}{\lambda})$ ، مفهوم $2\pi \frac{x}{\lambda}$ را تعریف کنید.

3. معلم از دو نفر شاگرد بخواهد که در مورد فعالیت اجرا شده‌شان و صحت آن، برای دیگر هم صنفی‌های شان صحبت کنند.

به همین قسم می‌توانیم انتشار ذرات موج را در موقعیت‌ها و حالات دیگر نیز مطالعه نموده و نقاط (ذرات) هم‌فاز را در آنها تعیین نماییم. اما خواهید یافت که فاصله بین این ذرات اهتزازی هم‌فاز با هم مساوی و برابر با طول موج می‌باشد.

اکنون در نظر می‌گیریم که یک ذره اهتزازی از نقطه (O) به اندازه $\frac{\lambda}{2}$ فاصله دارد. فرض کنید این ذره اهتزازی در موقعیت C قرار دارد. و در حقیقت ذره اهتزازی C از O به اندازه π تفاوت فاز دارد. وقتی ذره C یک اهتزاز مکمل را انجام می‌دهد و باز می‌خواهد اهتزاز جدید را آغاز نماید، پس درین وقت ذره C یکجا با آن به اهتزاز شروع می‌کند. فاصله نقطه اهتزاز (O) الی C' به اندازه $\frac{\lambda}{2} + \lambda$ است، و اگر این اهتزاز به نقاط دیگر، C'' و ... به همین ترتیب ادامه یابد، موقعیت اهتزاز این ذرات از نقطه (O) به واسطه افاده $(2k+1)\frac{\lambda}{2}$ نشان داده می‌شود. درینجا k عدد مثبت مترادف اهتزاز ذرات است که عدد صفر در آن شامل است،



شکل (2-12)

یعنی: $k = 0, 1, 2, \dots, k$

اگر $k = 0$ شود، فاصله $\frac{\lambda}{2}$ و اگر $k = 1$ گردد، پس این فاصله $\frac{3\lambda}{2}$ و به همین ترتیب، فاصله‌ها $\frac{5\lambda}{2}$ ، و ... می‌شود.

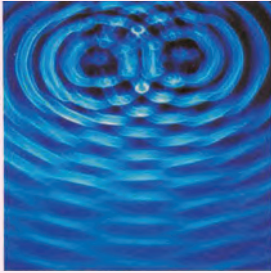
توضیحات فوق در حادثه تداخل دو موج در نظر گرفته می‌شود، زیرا می‌تواند خصوصیات فزیک آن را خوب‌تر بیان نماید.

2-14: تداخل موج‌ها

قبلاً در مورد تداخل، کمی توضیحات داده شد. اکنون بگویید که هر دو موج کیفی می‌توانند با هم تداخل نمایند؟ و یا اینکه برای تداخل باید امواج میخانیکی شکل مشخص داشته باشند؟ برای اراییه جواب به این سؤال، شرط اولی اینست که باید دو منبع تولید امواج در یک محیط موجود باشند. دوم اینکه پیرود اهتزاز و دامنه موج‌های ایجاد شده باید مساوی باشند.



فعالیت



شکل (2-13) تصویر امواج

تداخلی روی پرده سفید.

شاگردان به کمک معلم توسط تانک تموج (تولید کننده امواج)، موج‌ها را تولید نمایند. این امواج باید از دو منبع انتشار نمایند و وقتی که امواج تولید شده با هم تداخل می‌کنند، شاگردان این حالت را مشاهده و تشریح کنند.

تانک تولید کننده امواج عبارت از یک ظرف شیشه‌یی پر از آب است که بالای چهار پایه قرار داده شده. در یک لب این ظرف که نزدیک به قسمت وسطی است، مطابق شکل وسیله ایجاد موج (موتور کوچک برقی و ضربه دهنده‌ها) محکم گردیده است، و هم‌چنان یک چراغ روشنی‌دهنده از بالای قسمت وسطی این ظرف آویزان شده. هنگامی که حادثه تداخل صورت می‌گیرد، به واسطه این چراغ روشن تصویر امواج روی پرده سفیدی که تحت پایه‌ها قرار دارد، می‌افتد.

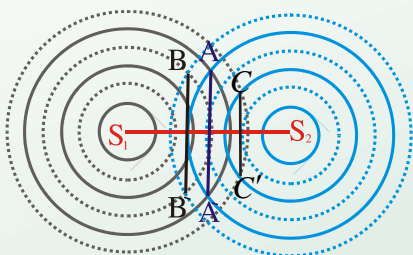
شاگردان مفکوره‌شان را از مشاهدات خویش با معلم و هم‌صنفی‌های شان در میان بگذارند و آن را تشریح کنند.

برای وضاحت حادثه تداخل، در نظر می‌گیریم که S_1 و S_2 دو منبع امواج اند که همزمان یک یک اهتزاز مکمل را انجام می‌دهند.

روی سطح آب توسط این منابع، امواج دایروی تولید می‌شود و به طور آشکار دیده می‌شود که این امواج تولید شده به شکل دایره‌ها یکی با دیگری تداخل می‌کنند. در یک اهتزاز مکمل موج‌ها یکبار بلند می‌روند و باز عمیق می‌شوند.

در شکل، قسمت‌های بلند اهتزاز به شکل دایره‌ها و قسمت‌های پایین آن به شکل دایره‌های نقطه چین نشان داده‌اند.

نقاط حاصل جمع دامنه



نقاط حاصل تفریق دامنه

شکل (2-14)

مطابق شکل در نقاط A و A' موج‌ها یکی به دیگر داخل می‌شوند. این موج‌ها عین فاز را دارا می‌باشند، و این نقاط تداخل حالت بلند بودن موج‌ها را نشان می‌دهند. همین‌طور دایره‌هایی که با نقطه چین نشان داده شده‌اند، در موقعیت‌های B و B' یکی به دیگر داخل می‌شوند که این نقاط تداخل، حالت پایین بودن موج‌ها را نشان می‌دهند.

اما در جاهایی که محیط دایره‌های بدون نقطه با محیط دایره‌های نقطه‌چین که خصوصیت امواج ساکن را دارند، تداخل می‌کند، از نگاه فاز از هم متفاوت می‌باشند و از نتیجه تفریق دامنه‌های اهتزاز، خنثا می‌شوند که حالت تداخلی تخریبی را نشان می‌دهند.

اگر این نقطه‌ها را به C و C' نشان دهیم و آنها را به هم وصل نماییم، از اتصال آنها یک خط منحنی به دست می‌آید. در رابطه با ذرات اهتزاز S_1 و S_2 بالای این منحنی، تمام نقاط اهتزازی موج از S_1 و یا هم S_2 به اندازه $\frac{\lambda}{2}$ فرق می‌کند، در حالی که خط‌های AA' و BB' بر خط S_1S_2 عمود می‌باشند. همچنان از نقطه نظر مفهوم فیزیکی، ذراتی که بر خط AA' واقع اند، از نگاه دامنه در حالت جمع می‌باشند، که این حالت را تداخل تعمیری می‌گویند. در حالی که ذرات اهتزازی که بر خط BB' واقع اند، نتیجه حاصل جمع دامنه‌های اهتزاز به سمت پایین (منفی) می‌باشند.

فرض می‌کنیم که دو منبع اهتزاز S_1 و S_2 در عین وقت به صورت منظم بر سطح هموار آب اهتزاز می‌نمایند و به روی آب در همه جوانب یکی با دیگری تداخل می‌کنند، اگر مانند حالت قبلی تمام نقاط بلند اهتزاز را به همدیگر وصل نماییم و بعد ذرات اهتزازی ساکن را به صورت جدا وصل نماییم، در حقیقت به واسطه این عملیه منظره‌یی را که در شکل گذشته توضیح گردیده است، به شکل حقیقی آن می‌بینیم. خط منحنی نقطه‌چین، نمایش محل هندسی اهتزاز اعظمی را نشان می‌دهد. امواجی که از منبع‌های S_1 و S_2 به این نقاط اهتزاز می‌رسند، دارای عین فاز می‌باشند. درین حالت نقاط اهتزاز، از منابع اهتزاز S_1 و S_2 در فاصله مساوی واقع اند یا مانند خطی که نقاط اهتزاز بالای آن واقع است، بر خط S_1S_2 عمود و به طور دقیق تنصیف‌کننده آن است، و یا اینکه تفاوت راه بین منابع و ذره‌های اهتزاز با ضریب تام طول موج‌ها (λ) مساوی است، یعنی:

$$d_2 - d_1 = k\lambda \dots\dots\dots 1$$

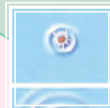
$$(K = 0,1,2,3,\dots)$$

آن خطوط سیاهی که در شکل ظاهر می‌شود، از محل هندسی آن نقاط اهتزاز به دست می‌آید که دامنه اهتزاز آنها یک‌دیگر را صفر می‌سازند. از این لحاظ، امواجی که به این محل تداخلی اهتزاز می‌رسند، یکی با دیگری فاز متقابل دارند. این بدان معنی است که تفاوت راه‌ها بین منابع اهتزاز S_1 و S_2 و این نقاط اهتزاز، با مضرب طاق نصف طول موج‌ها مساویست، یعنی:

$$d_2 - d_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \dots\dots\dots 2$$

$$(K = 0,1,2,3,\dots)$$

به طور عموم، هنگامی که در یک زمان دو منبع امواج به عین پیرود اهتزاز کنند، حادثه تداخل ظاهر می شود. حادثه تداخل را بر روی آب ایستاده و یا در طنابها و ریسمانها به چشم سر دیده می توانیم. همچنان در امواج صدا نیز تداخل می توان احساس کرد.



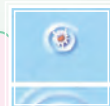
فعالیت

دو لودسپیکر را به یک آله تولید کننده صدا وصل کنید و همزمان هر دوی آنها را فعال نمایید. شاگردان کوشش نمایند، موقعیت هایی را تفکیک نمایند که صدا در آن جاها یا بسیار بلند و یا هیچ شنیده نمی شود. جاهایی که صدا در آن بسیار بلند است، دامنه اهتزاز ذرات صدا در یک سو جمع شده و یکدیگر را تقویت می کنند. و در نتیجه صدا بلند می شود. برعکس جاهایی که در آن صدا موجود نیست، دامنه های اهتزاز امواج یکدیگر را به شکل متقابل صفر می کنند.

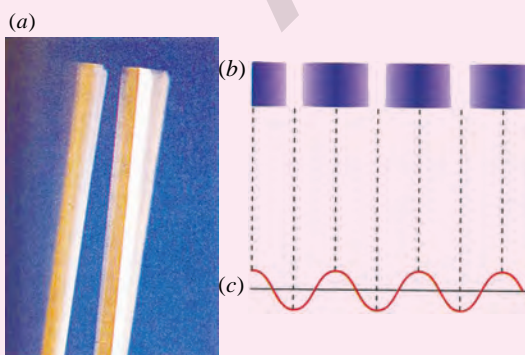
باید خاطرنشان سازیم که پدیده تداخل در امواج الکترومقناطیسی (نور) نیز به وقوع می پیوندد، که آنرا بعداً به بررسی خواهیم گرفت.

15-2: امواج صوتی

امواج صدا یک بخش مهم امواج میخانیکی را تشکیل می دهد. موج های صدا به طور طولی منتشر می گردند، به این معنا که استقامت انتشار موجها و اهتزاز ذراتی که انرژی آواز را انتقال می دهند، با هم موازی و یا منطبق هستند.



فعالیت



شکل (2-15)

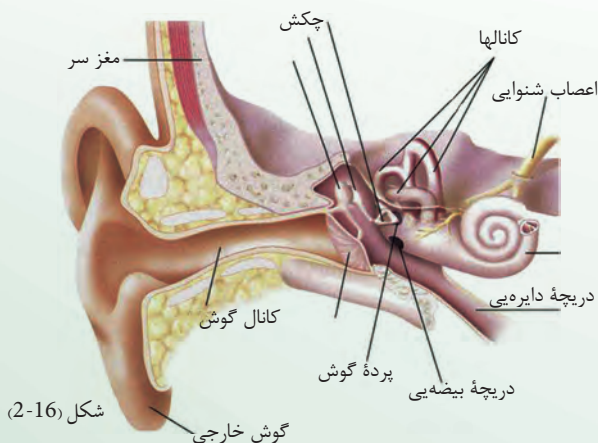
شاگردان در صنف به چند گروپ تقسیم شوند. فنرهای نازک و پنجه های صوتی برای آنها توزیع گردد. به کمک معلم پنجه های صوتی به صدا در آورده شود. ابتدا معلم و بعداً شاگردان این تجربه را تکرار نمایند. معلم شکل موج اهتزاز صدای پنجه صوتی را بر روی تخته رسم کند و شاگردان آنرا تحلیل و بعد توضیحاتشان را به معلم ارائه دارند.

در چهار اطراف ما صداهای زیادی تولید می‌شود ولی تنها صداهایی که به طور نورمال بین فریکونسی‌های 20Hz و 20000Hz قرار دارند، برای ما قابل شنیدن اند. آوازهایی که بیشتر از 20000Hz دارد، ساحت صداهای قابل شنیدن بلند گفته می‌شوند. در حالی که صداهای دارای فریکونسی کمتر از 20Hz، ساحت صداهای قابل شنیدن پایین نامیده می‌شوند. این حدود برای شنیدن گوش‌های نورمال انسان است، اما حیوانات دیگر مثل ماهیان، زنده جان‌های متحرک و غیره و حتی یک تعداد بته‌ها نیز قابلیت احساس صداها را دارند که از انسان‌ها فرق دارد. تجارب نشان داده است که حیوانات موج‌های زلزله را بیشتر از انسان‌ها احساس می‌نمایند و به همین سبب است که قبل از رسیدن امواج زلزله، مسلسل صدا می‌کشند و از جاهای خود بی‌جا می‌شوند. هنگامی که در جنوب غرب آسیا در سال 2008 عیسوی حادثه سونامی به وجود آمد، شاهدان حادثه، حقایق چشم دید خود را این طور بیان نمودند که حیوانات شهر کولمبو، قبل از رسیدن امواج آب، خود را به جاهای بلند رسانیده بودند. برای انسانها امواج صداها از اهتزاز تارهای صوتی حنجره آنها بلند می‌شود، و در حالت عادی به واسطه حرکت اهتزازی مالیکول‌های هوا به طرف هدف (جانب مقابل) به شکل امواج طولی انتشار می‌یابد. موج‌های صوتی، مانند امواج طولی دیگر انعکاس و انکسار می‌نمایند. اگر در بین دو کوه (دره) و یا زیر گنبد بلند به آواز بلند صدا بزیم، صدای خود را دوباره خواهیم شنید. شاگردان در این رابطه مثال‌های عملی دیگر بدهند.

16-2: صدا و مشخصات آن

از جمله نعمات بی‌شمار خداوند (ع) برای آسانی زنده‌گی موجودات زنده، حواس پنجگانه است، که یکی از آنها حس شنوایی است. حس شنوایی، صدای بسیاری از پدیده‌های طبیعت را از طریق گوش‌ها به واسطه امواج طولی می‌خانیکی به میکانیزم گوش می‌رساند و بعد از آنجا ذریعه سیستم عصبی، به مغز انتقال می‌دهد و بعد از حکم مغز، موجودات زنده عکس‌العمل خویش را نشان می‌دهند.

حس شنوایی از جمله حواس بسیار مهم بوده که در جریان پروسه مغلق عملیه شنیدن صدا و مفهوم فزیک آن، مشخصات صدا، انتشار آن در محیط، بلندی و پستی صدا، سرعت صوت و غیره نقش بسیار ارزنده‌یی را اجرا می‌کند و ستون فقرات تکنالوژی امروزی به خصوص تخنیک الکترونیک را می‌سازد.



شکل (16-2)

چرا مرد و زن از آوازشان شناخته می‌شوند؟ چرا بعضی از صداها بر گوش انسان‌ها اثر خوش و مطبوع ندارد و بعضی هم اثر نامطبوع بر گوش‌ها وارد می‌کنند؟ آیا موج‌های نور و صدا به عین سرعت انتشار می‌یابند؟ در انتشار صدا، محیط چه نقشی دارد؟ بعضی جوابات این سؤال‌ها را خودتان از درس‌های گذشته پیدا کرده می‌توانید؛ اما اکنون باید دانست که موج‌های صوتی نیز مانند امواج نوری، در سرحد دو محیط غیرمتجانس می‌شکنند، یعنی انکسار می‌نمایند.

17-2: تولید نمودن امواج صوتی

می‌دانیم که صدا در نتیجهٔ اهتزاز اجسام به وجود می‌آید. ممکن است منبع صدا، یک جسم جامد، جسم مایع و یا هم گاز باشد. ببینید وقتی که زنگ برقی مکتب و یا زنگ تاوله مانند مکتب هنگام تفریح به صدا درآورده شود، از سبب به اهتزاز آوردن مالیکول‌های هوا حس شنوایی شاگردان و معلمین متأثر گردیده و همه از صنوف بیرون می‌آیند و با آغاز شدن ساعت درسی، تمام آنان به صنوف می‌روند. همچنان امواج صوتی را می‌توان از اهتزاز مالیکول‌ها در داخل ستون‌های هوایی آلات موسیقی و به اهتزاز آوردن پنجهٔ صوتی نیز تولید نمود.



شاگردان به گروه‌ها تقسیم گردند و هر گروه به واسطهٔ یک حلقهٔ تار نسبتاً ضخیم، یک پنبسل را از قسمت وسطی آن به تار گره نموده و توسط هر دو دست خویش دو طرف حلقهٔ تار را محکم گرفته و طوری آن‌را بدور محور (پنبسل) بچرخانند که تار هم با آن بچرخد و به دورش تاب بخورد. اکنون تار را به سرعت و احتیاط در هنگام چرخیدن به عقب کش نمایید، خواهید دید که پنبسل به یک چرخک تبدیل گردیده و آوازی از آن بلند می‌شود.

شکل (2-17)

در حقیقت، خود چرخک منبع تولید صدا است و در مجاورت خویش مالیکول‌های هوا را به اهتزاز می‌آورد و صدای آن اهتزازها به پردهٔ گوش می‌رسد و از آنجا با میکانیزم مخصوص گوش‌ها به مغز می‌رسد و مغز عکس‌العمل متقابل را نشان می‌دهد.

یک‌بار دیگر باید بگوییم که ساحت فریکونسی‌های قابل شنیدن، بین 20Hz و $20,000\text{Hz}$ است؛ اما می‌توانیم امواج بیرون ازین ساحت را نیز به کمک وسایل تخیلی، به این ساحت داخل نماییم که به این وسایل، تقویه کننده‌ها (Amplifiers) گفته می‌شود. یک مثال بسیار واضح اینست که اگر سوییچ رادیو را فعال و گوته صدا را دور دهیم، صدا از رادیو شنیده می‌شود و هرگاه به اصطلاح صدای آن‌را بلند نماییم، معنا می‌دهد که صدا تقویه می‌گردد. به همین ترتیب، اگر صدای رادیو بسیار بلند باشد، می‌توانیم با کم نمودن شدت اهتزاز، آن‌را به ساحت مناسب قابل شنیدن داخل نموده و به خوبی آن‌را بشنویم.

18-2: سرعت صوت

قبلاً در رابطه با سرعت امواج، یک اندازه معلومات ارایه نمودیم. اکنون بگویید که سرعت صوت مربوط به کدام فکتورها است؟ چگونه موج‌های صوتی در محیط انتشار می‌یابند؟ در اینجا ابتدا سرعت امواج صوتی را در هوا و بعداً در محیط‌های جامد و مایع بررسی می‌نماییم.

19-2: سرعت صوت در هوا

می‌دانیم که امواج صوت در محیط الاستیکی (ارتجاعی) منتشر می‌گردد. خصوصیت الاستیکی محیط گازی به خواص دینامیکی آن مربوط است. پارامترهای دینامیکی محیط گازی به درجه حرارت، فشار و حجم ارتباط دارد. در محیط گازی حالت اهتزاز ناحیه‌یی به واسطه همین پارامترها مشخص می‌گردد. در گازهای کامل، سرعت صوت ذریعه فورمول لاپلاس به دست می‌آید و آن اینست:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$$

در این فورمول، P فشار گاز، ρ کثافت گاز و $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ از نسبت ظرفیت مخصوصه حرارتی گاز با فشار ثابت C_p و حجم ثابت C_v به دست می‌آید. حرارت مخصوصه گازها با فشار ثابت و حجم ثابت برای گازهای مختلف متفاوت است. اما در صورتی که تعداد مالیکول‌ها در حجم مساوی باشد، این نسبت برای همه گازها تقریباً مساوی است. برای گازهای دو اتمی که هوا از آن ترکیب یافته است، این کمیت (γ)، 1.40 است؛ در حالی که برای گازهای یک اتمی این قیمت یک اندازه بلندتر و برای گازهای سه اتمی این قیمت یک اندازه پایین تر است.

از جانب دیگر، برای گازهای خیالی، از قوانین ترمودینامیک می‌فهمیم که هرگاه گاز خیالی تحت فشار P ، دارای حجم v و درجه حرارت T باشد و سپس درجه حرارت را به T_1 انتقال دهیم، پس از فشار، قیمت P_1 و حجم همین گاز قیمت V_2 را به خود اختیار می‌نماید. ولی ارتباط بین اینها همیشه این شکل را دارا می‌باشد:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1}$$

به همین شکل، اگر درجه حرارت، قیمت‌های T_2 و بالاخره قیمت T_n را به خود بگیرد، پس رابطه فوق شکل ذیل را به خود می‌گیرد:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n \cdot V_n}{T_n} = \text{const}$$

یعنی با تغییر نمودن قیمت‌های T ، قیمت‌های فشار و حجم نیز تغییر می‌نماید؛ ولی نسبت مربوطه فوق در بین آنها ثابت می‌ماند که این کمیت ثابت به نام ثابت گازها یاد می‌شود و با سمبول R نشان داده می‌شود. درین صورت می‌توان رابطه فوق را چنین نوشت:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \dots = \frac{P_n V_n}{T_n} = R$$

در این جا n از یک الی عدد n قیمت‌ها را به خود می‌گیرد. اگر در حجم مربوطه اندازه گاز به قدر m مالیکول گرام موجود باشد، پس نوشته می‌توانیم که:

$$\frac{P \cdot v_m}{T} = R \Rightarrow P = \frac{RT}{V_m}$$

اگر این قیمت P را در رابطه $v = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}$ وضع نماییم، پس نوشته می‌توانیم که:

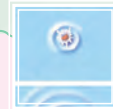
$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\rho \cdot V_m}}$$

اگر برای کتله M گاز، رابطه کثافت را بنویسیم، این شکل را خواهد داشت:

$$\rho = \frac{M}{V_m}$$

با وضع نمودن این قیمت برای سرعت نوشته می‌توانیم:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\frac{M}{V_m} \cdot V_m}} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$$



فعالیت

سرعت صوت در هوا را که حیثیت گاز کامل را دارد، در صفر درجهٔ سلسیوس معلوم کنید. شاگردان باید بفهمند که صفر درجهٔ سلسیوس با درجهٔ حرارت مطلقه کدام تقابل را دارد؟ می‌دانیم که: در این رابطه $\gamma = 1,4$ و $R = 8.31 \times 10^3 \frac{J}{kmol \cdot K}$ ، در حالی که در همین درجهٔ حرارت قیمت M عبارت از $M = \frac{20gr}{mol}$ است.

پس بعد از حل رابطه، شاگردان قیمت سرعت صوت در هوا را به دست خواهند آورد.

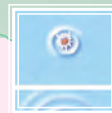
20-2: سرعت صوت در اجسام جامد و مایع

می‌دانیم که سرعت انتشار موج در یک محیط، به ارتجاعیت و ساختمان مالیکول‌های آن محیط ارتباط دارد. چون در اجسام سخت، این خصوصیت در رابطه با قوه‌های کشش بین مالیکول‌ها به خوبی آشکار است و در مایع‌ها و گازها این قوه‌ها و ارتجاعیت به ترتیب کم می‌شود، پس انتشار امواج در اجسام سخت، سریع‌تر و در اجسام مایع و گاز کند و کندتر صورت می‌گیرد.

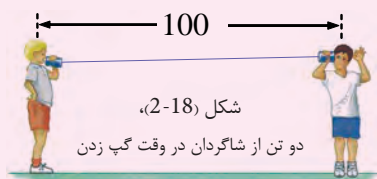
به همین وضاحت اکتفا کرده، تیزی صوت در محیط‌های مختلف را در جدول ذیل مقایسه نموده می‌توانید:

تیزی به m/s	اجسام (محیط‌ها) و حالت فیزیکی آنها
343	هوا در 20 درجهٔ سلسیوس
331	هوا در صفر درجهٔ سلسیوس
965	هلیوم در صفر درجهٔ سلسیوس
1284	هیدروجن در صفر درجهٔ سلسیوس
1402	آب خالص در صفر درجهٔ سلسیوس
1482	آب خالص در 20 درجهٔ سلسیوس
2680	پلاستیک
5010	مس
5640	شیشهٔ پیرکس
5960	فولاد
6000	گرانیت
6420	المونیم

فعالیت



شاگردان در یک میدانی و یا صحن مکتب به دو گروه تقسیم گردند و باز به هر گروه 100 متر تار با قطی خالی گوگرد توزیع شود. تار مطابق شکل به قطی‌های گوگرد بسته شود؛ از یک سر قطی یک شاگرد با لفظ بلی، شاگرد مقابل را که سر دیگر قطی با گوش او در ارتباط است صدا بزند، و همزمان با آن ساعت را نشانی کند.



شاگرد دومی هم لحظه‌یی که در سر دیگر تار صدا شنیده می‌شود، وقت را با ساعت نشانی کند؛ اگر طول تار بر اندازه زمان رسیدن صدا به سر دیگر تار تقسیم شود، سرعت انتشار صوت در تار به دست می‌آید.

مناقشه: چون اندازه نمودن زمان در لحظه‌یی بسیار کوچک به آسانی قابل اندازه نیست، پس با استفاده از رابطه $(v = \frac{x}{t})$ ، معلم این میکانیزم را به طور علمی برای شاگردان توضیح دهد و روی تعیین زمان انتشار صوت در تار مناقشه نماید.

2-21: شدت صوت

قبل از اینکه در رابطه با شدت صوت بحث نماییم، بهتر خواهد بود که در مورد مشخصات صوت یک اندازه روشنی بیاندازیم. صدا مانند هر پدیده موجی دیگر، انعکاس و انکسار می‌کند؛ ولی در ارتباط با شنیدن، صوت به دو نوع صوت‌های آهنگ‌دار و صوت‌های بی‌آهنگ تقسیم می‌گردد. این صوت‌ها در عرصه ساز و آواز در موسیقی از همدیگر متفاوت اند. آوازهای آهنگ‌دار به صوت‌هایی گفته می‌شود که بالای گوش‌ها یا حس شنوایی انسان اثر مطبوع وارد می‌کند، در حالی که صوت‌های بی‌آهنگ برای حس شنوایی انسان خوش آیند نبوده و احساس خوب را به میان نمی‌آورد. آوازه‌ها در قسمت داخلی گوش انسان یا بلند احساس می‌گردد و یا هم پایین‌تر، که این بلندی و پستی به شدت صدا مربوط است. شدت صوت عبارت از آن مقدار انرژی است که در یک ثانیه به سطحی به اندازه یک سانتی‌متر مربع که به استقامت انتشار موج عمود باشد، وارد می‌شود.

البته شدت صوت به منبع انتشار انرژی و گوش هم ارتباط دارد. از همین جا گفته می‌توانیم که شدت صوت یک کمیت فیزیکی است که محض به گوش مربوط نیست. در حالی که بلندی و پستی صدا، یک پدیده فیزیکی بوده که هم به حساسیت گوش و هم به انرژی صوت منتشر شده ارتباط دارد. شدت آواز به محیط اهتزاز و ذرات اهتزاز آن محیط، دامنه اهتزاز و فاصله منبع تولید صوت وابسته می‌باشد.

استفاده از عملیه ریزونانس در اندازه نمودن سرعت صوت

عملیه ریزونانس صدا در وسایل و سامان آلات ساز و آواز قابل استفاده است. ریزونانس، آن عملیه‌یی است که در اثر آن، موج‌های صوتی خود را هم‌آهنگ می‌نمایند. برای فهم خوب‌تر موضوع فوق، در لابراتوارها آله‌یی ساخته شده که طول موج‌ها را به وسیله یک هم‌آهنگ‌کننده (صوت تولید شده توسط پنجه صوتی) معلوم می‌کند. اگر فریکوئسی صدای پنجه صوتی f باشد، پس سرعت اهتزاز صوت تولید شده در هوا توسط رابطه ذیل معلوم می‌گردد: $v = f \cdot \lambda$

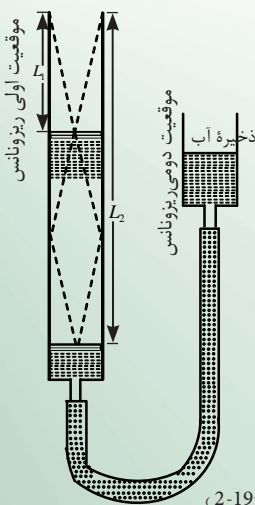
همچنان ما می‌توانیم که در نل‌های شیشه‌یی، ارتفاع ستون هوا را با اضافه نمودن و کم کردن آب در نل تحت مشاهده قرار دهیم (این فعالیت را در لابراتوار انجام داده می‌توانید). در ابتدا ذخیره را در وضعیتی قرار می‌دهیم که نل سمت چپ کاملاً از آب پر شود، سپس آب را از نل آهسته آهسته کم می‌کنیم، تا اینکه آواز پنجه صوتی به حالت ریزونانس برسد. پنجه را به طرف باز نل که هوا به آن نمی‌رسد، گرفته و می‌بینیم که آب در نل ازین صدا متأثر می‌گردد، یعنی: $\frac{\lambda}{4} = L_1$

درینجا L_1 ارتفاع هوا در نل است؛ در حالی که c عدد صحیح و λ طول موج صدا است. ارتفاع هوا را در نل تا آن وقت زیاد می‌نماییم که برای دوم ریزونانس واقع شود. برای بار دوم ریزونانس داریم که:



$$\frac{3\lambda}{4} = L_2$$

اگر هر دو رابطه فوق را از یک‌دیگر تفریق نماییم، پس نوشته می‌توانیم که:



$$\frac{3\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4} = L_2 - L_1$$

$$\frac{\lambda}{2} = L_2 - L_1 \Rightarrow \lambda = 2(L_2 - L_1)$$

اگر L_1 و L_2 را از تجربه اندازه نماییم، پس می‌توانیم که λ را حساب کنیم. هرگاه در رابطه $v = f \cdot \lambda$ قیمت λ را وضع نماییم، پس نوشته می‌توانیم که:

$$v = f \cdot \lambda = 2f(L_2 - L_1)$$

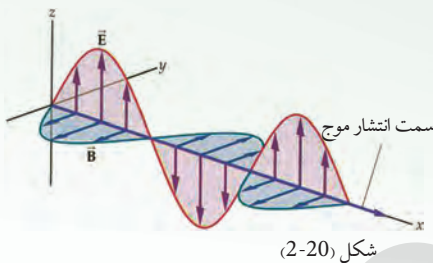
$$v = 2f(L_2 - L_1)$$

شکل (2-19)

2-22: امواج الکترومغناطیسی

قبلاً موج‌ها را به دو بخش تقسیم نمودیم؛ موج‌های میخانیکی و امواج الکترومغناطیسی، که در مورد امواج میخانیکی بحث مکمل صورت گرفت. اکنون می‌خواهیم بر موج‌های الکترومغناطیسی، خاصاً بر شعاع نوری و بر خصوصیت موجی آن، روشنی بیندازیم.

امواج الکترومغناطیسی در نتیجه یک مناقشه طولانی در رابطه با طبیعت نور و چگونه‌گی آن، که نور موج است و یا ذره؛ توسط مکسویل یک عالم انگلیسی مطرح گردیده است. اینکه نور موج است و یا ذره؛ یا هر دو و یا هیچ یک از آن، در بحث نور تشریح گردیده است.

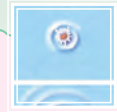


در اینجا بر اساس خصوصیت موجی نور پروسه‌های تداخل، تفرق و قطبی شدن بررسی می‌گردد. باید بگوییم که نور، آن پدیده موجی است که طول موج آن در فاصله بسیار کوچک از 4000\AA الی 4500\AA قرار دارد. سرعت نور در هوای آزاد 300000 km/s است و تمام امواج الکترومغناطیسی همین خصوصیت را دارند.

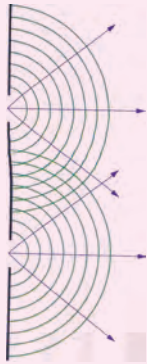
2-23: تداخل شعاع نوری

قبلاً گفته شد که شعاع‌های نوری از منبع‌های مربوط، به شکل موجی انتشار می‌نمایند و حادثه تداخل موجی شعاع نوری تحت شرایط خاص این امواج صورت می‌گیرد. تداخل موجی شعاع نوری هنگامی صورت می‌گیرد که شعاع نوری کوهرنت باشد؛ یعنی ارتباط فاز و امپلیتюд اشعه‌یی که تداخل می‌نماید، باید یکسان و مساوی باقی بماند و از طرف دیگر طول موج‌ها یعنی λ با هم مساوی و اشعه مونوکروماتیک (Monochromatic) دارای رنگ و فریکونسی معین باشد.

تحت چنین شرایط، در طبیعت این چنین منابع موجی نوری پیدا شده نمی‌تواند. پس ساینس‌دانان از روش‌ها و وسیله‌های مختلف سعی می‌نمایند تا منابع دارای خصوصیات فوق را ایجاد کنند. ما در اینجا از یک میتود خاص که به واسطه یونگ و فرنیل به کار برده شده؛ تداخل را به شکل تحلیلی آن بررسی می‌نماییم.



فعالیت



شکل (2-21)،
شکل تداخلی شعاع نوری

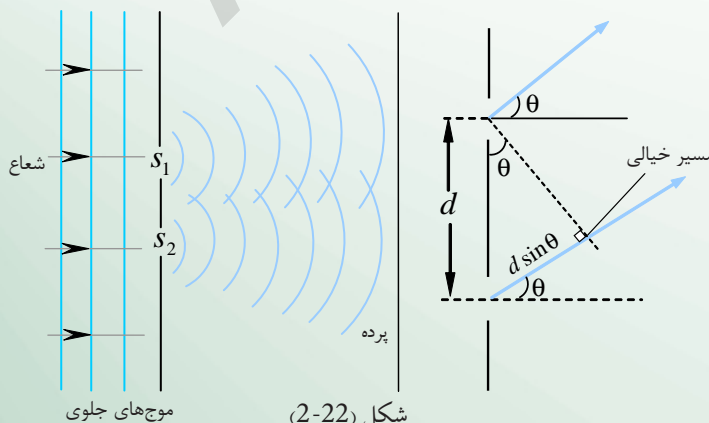
شاگردان با توجه به درس‌های گذشته به واسطهٔ امواج میخانیکی، شکل تداخلی را در گروپ‌های خویش به خاطر آورده سپس با تشابه و استفاده از این تصویر، تداخل شعاع نوری را در مقابل صنف و در حضور معلم توضیح نمایند.

انتشار موجی شعاع نور شکل تابع \sin را دارد. فاز یک نقطهٔ اهتزازی این تابع را که از فاصلهٔ اهتزاز x قیمت φ را دارد، این طور ارزیابی می‌نماییم:

$$\varphi = \frac{2\pi x}{\delta}$$

درین رابطه، δ تفاوت راه بین آن دو شعاع موجی نوری است که فاز آنها 2π می‌باشد.

در حالی که برای یک نقطهٔ کیفی مهتزرز، این فاز، φ و تفاوت راه نوری، x است؛ مطابق شکل یک منبع نوری S را در نظر می‌گیریم و این شعاع کوهیرینت را از دو منبع مجازی S_1 و S_2 عبور می‌دهیم. در مقابل منبع حقیقی S یک جسم مکدر را که دو سوراخ بسیار کوچک داشته باشد و فاصله در بین آنها ثابت باشد، قرار می‌دهیم. در حقیقت از هر یک از این سوراخ‌ها که منابع نوری S_1 و S_2 اند، موج‌های نوری منتشر می‌گردد و امواج منتشر شده در یک فاصلهٔ معین ازین منابع، یکی به دیگری داخل می‌گردند-



شکل (2-22)

و تحت شرایط معین شکل تداخلی را تشکیل می‌دهند. اگر منبع S_1 تابع $y_1 = A \sin \omega t$ را داشته باشد و موج منتشر شده از S_2 تابع $y_2 = A \sin(\omega t + \varphi)$ را تحقق نماید؛ در موقعیت تداخل، این هر دو موج باید یکی با دیگری جمع شود، یعنی:

اگر $\omega t = P$ و $\omega t + \varphi = Q$ وضع شوند، پس:

$$y_1 = A \sin P$$

$$y_2 = A \sin Q$$

$$y = y_1 + y_2 = A \sin P + A \sin Q = A(\sin P + \sin Q)$$

$$\sin P + \sin Q = 2 \sin \frac{P+Q}{2} \cos \frac{P-Q}{2} \quad \text{چون:}$$

$$y = A(2 \sin \frac{\omega t + \varphi + \omega t}{2} \cos \frac{\omega t - (\omega t + \varphi)}{2}) \quad \text{پس:}$$

$$= A(2 \sin \frac{2\omega t + \varphi}{2} \cos \frac{-\varphi}{2})$$

$$\cos \frac{-\varphi}{2} = \cos \frac{\varphi}{2} \quad \text{چون:}$$

$$= A \left[2 \sin(\omega t + \frac{\varphi}{2}) \cos \frac{\varphi}{2} \right] \quad \text{پس:}$$

$$y = 2A \cos \frac{\varphi}{2} \sin(\omega t + \frac{\varphi}{2})$$

هرگاه امپلیتюд $(2A \cos \frac{\varphi}{2})$ مساوی به B وضع شود:

$$y = B \sin(\omega t + \frac{\varphi}{2}) \quad \text{در آن صورت:} \quad B^2 = 4A^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

می‌دانیم که شدت موج نوری به‌حیث انتقال دهنده انرژی عبارت از $I_0 = \frac{1}{2} \rho C B^2 \omega^2$ است، که در این رابطه، امپلیتюд به B ، سرعت به C ، کثافت موج نوری به ρ و فریکوئسی زاویه‌یی به ω نشان داده شده است. پس شدت انرژی I را می‌توان چنین محاسبه کرد:

$$I \sim B^2 = 4A^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

$$I = \frac{1}{2} \rho C \omega^2 4A^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} = 4 \frac{1}{2} \rho C \omega^2 A^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{\varphi}{2} \quad \text{چون:} \quad I_1 = I_2 = I_0 = \frac{1}{2} \rho C \omega^2 A^2 \quad \text{است، پس:}$$

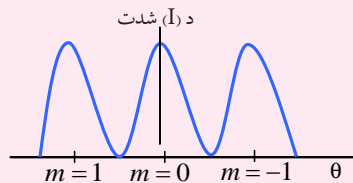


فعالیت

شاگردان به دو گروه تقسیم شوند. اول، I را به قیمت‌های $\varphi = 0, 1 \cdot 2\pi, 2 \cdot 2\pi, \dots, n(2\pi)$ محاسبه و بر روی تخته بنویسند.

گروه دوم شاگردان، I را به قیمت‌های $\varphi = \pi, 3\pi, \dots, (2n+1)\pi$ محاسبه نموده و بر روی تخته نشان بدهند و بعد از آن، گراف φ تابع I را رسم نمایند.

شاگردان بر روی گراف قیمت‌های I و φ را جابه‌جا نمایند. این گراف به طریقه جمع کردن امواج، تداخل شعاع نوری را به شکل نوارهای تاریک و روشن نشان می‌دهد.

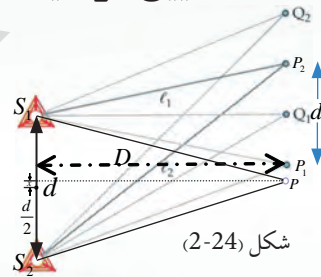


شکل (2-23)

2-24: تعیین موقعیت شکل تداخلی نوارها

به خاطر توضیح مطلب، منبع حقیقی کوهیرنت S را به منابع S_1 و S_2 تقسیم می‌نماییم.

از نتیجه تداخل منابع S_1 و S_2 بر روی یک پرده، شکل تداخلی نوارهای روشن و تاریک دیده می‌شود. موقعیت این نوارها را از قسمت وسطی پرده به طریقه تفاوت فاز معلوم کرده می‌توانیم.



شکل (2-24)

اگر از منابع نوری S_1 و S_2 فاصله‌های انتشار امواج را معلوم و یکی را از دیگری تفریق کنیم و سپس در رابطه با فاز، این قیمت را مقایسه نماییم، نتیجه به دست آمده می‌تواند.

آیا می‌دانید که راه‌های نوری و هندسی از یک‌دیگر چه تفاوت دارند؟ فرضاً P موقعیت تشکیل شدن نوار تداخلی و C نقطه وسطی این منابع باریک S_1 و S_2 است. اگر طول راه‌های نوری s_1P و s_2P را محاسبه و یکی را از دیگر تفریق نماییم، هدف (موقعیت نوار از پرده) به دست می‌آید. اگر $s_1s_2 = d$ و فاصله عمودی بین پرده و منابع نوری را D فرض کنیم، پس مطابق شکل نوشته می‌توانیم که:

$$\overline{S_2P}^2 - \overline{S_1P}^2 = \left[D^2 + \left(x + \frac{d}{2} \right)^2 \right] - \left[D^2 + \left(\frac{d}{2} - x \right)^2 \right]$$

$$s_2p^2 - s_1p^2 = (D^2 + x^2 + \frac{d^2}{4} + xd - D^2 - \frac{d^2}{4} - x^2 + xd)$$

اگر رابطه فوق را ساده نماییم، پس نوشته می‌توانیم که:

$$\overline{S_2 P^2} - \overline{S_1 P^2} = 2x \cdot d \Rightarrow (s_2 p - s_1 p)(s_2 p + s_1 p) = 2x \cdot d$$

$$S_2 P - S_1 P = \frac{2x \cdot d}{S_2 P + S_1 P}$$

از جانب دیگر، اگر موضوع را با شکل مقایسه نماییم، $S_2 P - S_1 P$ ، حاصل تفریق راه نوری را ارایه می‌نماید، و چون طول d بسیار کوچک است؛ حاصل جمع وسطی $S_2 P + S_1 P$ عبارت از $2D$ می‌باشد.

$$\text{تفاوت راه نوری} = \frac{2xd}{2D} = \frac{xd}{D}$$

اگر این قیمت را برای تفاوت فاز بنویسیم، این شکل را اختیار می‌نماید:

$$\text{تفاوت فاز} = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{x \cdot d}{D} \right)$$

اگر نوار P روشن باشد، طول موج تفاوت راه با عدد تام مساویست، یعنی:

$$\frac{xd}{D} = m\lambda \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

بنابر این x که فاصله عمودی خط وسط منابع الی نوار روشن می‌باشد، عبارت است از: $x = \frac{m\lambda D}{d}$

فعالیت



شاگردان از وسط پرده فاصله‌های نوارهای روشن شماره اول، دوم و سوم را پیدا کنند و باز در بین دو نوار روشن فاصله را معلوم نموده و آن را به رای معلم نشان دهند.

فاصله نوار تاریک از وسط پرده توسط رابطه ذیل معلوم می‌شود: $\frac{xd}{D} = m\lambda + \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{xd}{D} = \frac{2m\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2}$

$$\frac{xd}{D} = (2m+1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow x = \frac{(2m+1)\lambda \cdot D}{2d}, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

فعالیت



شاگردان از وسط پرده فاصله نوارهای تاریک برای $m = 1, 2, 3$ را محاسبه نموده و به معلم نشان دهند. هم‌چنان فاصله بین دو نوار تاریک، تحت کنترل و نظارت معلم نشان داده شود.

باید اضافه شود که فاصله بین دو نوار (روشن و تاریک) با هر نمره‌یی که مطابقت نماید، با هم مساوی اند. پروسه تداخل نه تنها اینکه حقیقت موجی اشعه نوری را نشان می‌دهد، بلکه در دیگر پروسه‌های تحقیقی نیز از آن استفاده صورت می‌گیرد. که در اینجا به همین قدر معلومات اکتفا می‌گردد.

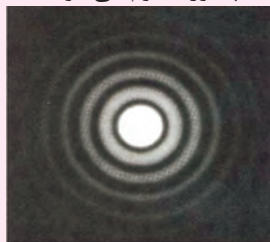
2-25: تفرق (Diffraction)

تفرق چیست و خصوصیت موجی آن چه خواهد بود؟
تفرق آن پدیده فیزیکی است که در چگونه گی طبیعت شعاع نوری نقش بازی می‌کند.

فعالیت



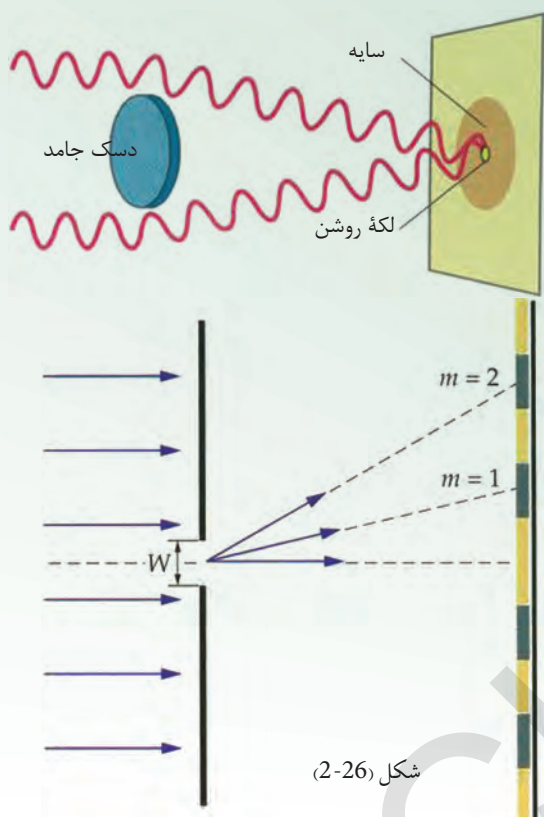
یک مقوای کاغذی را یک سوراخ کوچک نموده و بعداً از یک فاصله دور، یک منبع روشنی را در مقابل این سوراخ قرار دهید. حالا ببینید که مسیر راه شعاع نوری در این سوراخ کوچک چگونه معلوم می‌شود؟



اگر بالای یک پرده سیاه شعاع‌های داخل شده از این سوراخ بررسی شود، در آن صورت چه را خواهید دید؟ آیا باز هم در اطراف روشنی چنین ساحه‌یی را دیده می‌توانید که نه روشن باشد و نه هم تاریک؟ چرا این طور می‌شود؟ به کمک معلم روی آن بحث نموده و پیش روی صنف با توضیحات خود بر آن روشنی بیاندازید.

شکل (2-25)

در زنده گی روزمره دیده می‌شود که نور به خط مستقیم انتشار می‌نماید و این یک اصل نور هندسی است. یک قرن پیش تعدادی از دانشمندان به این باور بودند که اگر نور خصوصیت موجی را دارا می‌بود، پس باید به خط مستقیم انتشار نمی‌کرد. مثال‌های آشکار و غیر دقیق هم برای این عقیده وجود داشت؛ مثلاً: هنگامی که شعاع از یک سوراخ و یا هم از طریق ذرات داخل اتاق می‌گردد، مانند یک خط مستقیم معلوم می‌شود؛ پس نور باید ذره باشد. ولی بعداً یک تعداد از دانشمندان مانند: هیوگنز برخی تجارب را انجام دادند و در نتیجه آن نشان دادند: وقتی که شعاع از یک سوراخ کوچک داخل اتاق می‌گردد، شعاعی که با کناره‌های سوراخ تماس نموده انحنا می‌کند، و در اطراف تصویر سوراخ یک تعداد قسمت‌های روشن و تاریک ظاهر می‌شود که به خصوصیت موجی شعاع نوری دلالت می‌کند. هیوگنز این حادثه را مثل حادثه صوت با اصول موجی توضیح داد و بر این حادثه نام تفرق را گذاشت. هیوگنز این دو تجربه بسیار ساده را به انجام رسانید:



شکل (2-26)

او در مسیر شعاع نوری، یک سوراخ دایروی را قرار داد و هنگامی که شعاع از سوراخ خارج گردید، بر روی پرده طوری نمایان شد که در اطراف تصویر ساحه‌های روشن و تاریک به نظر می‌خورد، که این خصوصیت موجی شعاع نوری را آشکار می‌سازد. درین تجربه روشنی زیاد در حصه وسطی قرار داشته و هر قدر که به استقامت شعاع به کناره‌ها (لب‌ها) می‌رود، روشنی آهسته آهسته کم می‌گردد تا این که نیمه روشن و قسمتی از سوراخ معلوم می‌شود. همچنان شده می‌تواند که در مسیر شعاع نوری یک دیسک (قرص) خرد دایروی را بگذاریم، دیده می‌شود که شعاع نوری از لب‌های دیسک به پرده می‌خورد و دیسک سایه‌اش را روی پرده به شکل سیاه رنگ تشکیل می‌دهد، اگر شعاع نوری به خط مستقیم انتشار می‌نمود،

باید در ساحه سایه دیسک یک قسم تاریکی وجود می‌داشت؛ ولی این طور معلوم می‌شود که شعاع نوری هنگام تماس با لب‌های دیسک خم می‌شود و این نتیجه به دست می‌آید که این شعاع بعد از برخورد، با یک خصوصیت جدید انحنای می‌کند و در حقیقت، یک حالت تداخلی را به میان می‌آورد. این چنین انتشار نور را که به خصوصیت موجی شعاع نوری جواب می‌دهد، تفرق می‌گویند. از حادثه تفرق در مطالعه کرسیتال‌ها استفاده زیاد می‌گردد. در این حادثه نیز از شعاع مونوکروماتیک استفاده می‌شود. در حادثه تفرق ابعاد تجربی بسیار کوچک و با طول موج شعاع نوری قابل مقایسه است. در اینجا همه جوانب تفرق مطالعه شده نمی‌تواند؛ بلکه محض به بررسی شکل موجی چنین حادثه‌یی اکتفا می‌نماییم. در کورس‌های پیشرفته فزیک این حادثه به وسعت کامل بررسی می‌گردد. این استدلال حادثه تفرق بر پرنسپ انتشار جبهه‌یی امواج نوری هیوگنز متکی می‌باشد. توضیحات هیوگنز به خصوص مبنی بر اینکه شعاع نوری هنگام رسیدن به سوراخ و یا یک درز، از حالت قبلی خویش تغییر را قبول نمی‌کند بلکه به طور مستقیم انتشار می‌نماید، با عکس‌العمل‌ها روبه‌رو گردید که فرنیل با فرضیه‌های خویش آن را اصلاح نمود.

2-26: قطبی شدن نور

حوادث نوری تداخل و تفرق محض آشکار نمود که طبیعت شعاع نوری موجیست، و این را توضیح نمی‌نماید که این حالت موجی به شکل امواج طولی است و یا به گونه‌ی امواج عرضی؛ اما استقطاب نوری این را واضح ساخت که شعاع نوری امواج عرضی است، یعنی اهتزاز ذرات اهتزازی بر استقامت انتشار امواج شعاع نوری عمود است.



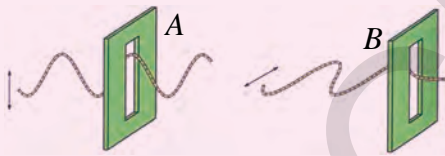
فعالیت

شاگردان را به دو گروه تقسیم نموده، یک ریسمان به هر گروه توزیع و دو درز A و B را در دو صفحه‌ی مقوا و یا در صفحه‌های حلبی و المونیمی ایجاد می‌نماییم.

یک انجام ریسمان را در مقابل یکی از لوحه‌ها محکم بسته می‌کنیم، و انجام دیگر را از دو سوراخ می‌گذاریم و قسمی که قبلاً نشان داده بودیم، ریسمان را به طرف بالا و پایین تکان می‌دهیم. موجی که تولید می‌گردد چگونه موجی است؟ موج از هر دو درز خارج می‌شود. بار دوم درزها را غیر موازی قرار می‌دهیم.

چون درز مربوط B با درز A موازی نبوده و علاوه بر آن چون درز B با سمت اهتزاز موج به طور عمود موقعیت اختیار نموده است، پس در این حالت موج به وجود آمده در ریسمان از سوراخ یا درز B عبور کرده نمی‌تواند. اگر موج تولید شده در ریسمان موج طولی می‌بود، پس باید از B گذشته می‌بود. از اینجا به این نتیجه می‌رسیم که موج ذکر شده یک موج اهتزازی عرضی است.

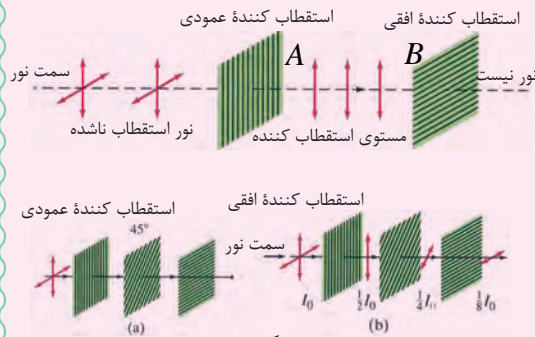
حال می‌خواهیم فعالیت فوق را به شکل یک تجربه ارایه نماییم:



شکل (2-27)



تجربه



شکل (2-28)

دو جسم کرسطالی را به نام تورمالین به طور موازی به استقامت انتشار شعاع نور عموداً می‌گذاریم. منبع نور را به (S) و کرسطال‌ها را به ترتیب به A و B نمایش داده و مطابق شکل جابه‌جا می‌نماییم. در این حالت شعاع نوری از سیستم می‌گذرد. اگر کرسطال B به سمت انتشار اشعه‌یی یک زاویه بسازد، پس اشعه از کرسطال B عبور نمی‌کند.

از این جا معلوم می‌شود که امواج نوری، مانند امواج عرضی میخانیکی عمل نموده و از کرسطال تورمالین B خارج نمی‌شود؛ یعنی شعاع نوری، مانند موج‌های عرضی انتشار می‌یابد.

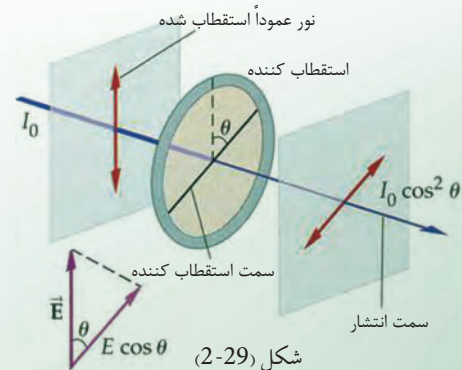
2-27: مستوی استقطاب

وقتی که نور عادی از کرسطال تورمالین می‌گذرد، قطبی می‌گردد و این نور قطبی شده به استقامت انتشار نور عموداً اهتزاز می‌نماید، که در حقیقت به این نور، نور قطبی شده مستوی می‌گویند. مستوی استقطاب، آن مستوی‌یی است که اهتزاز در آن صورت می‌گیرد.

در شکل، اهتزازات بر مستوی استقطاب عموداً صورت می‌گیرد. آن مستوی که در آن اهتزاز صورت می‌گیرد، به نام مستوی اهتزازی یاد می‌شود.

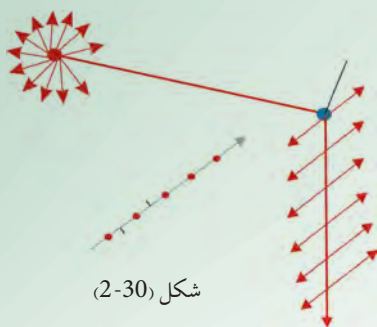
می‌دانیم که نور عادی از موج‌های زیاد تشکیل گردیده است که هر موج آن با یک رنگ مشخصی که دارای اهتزازات معین است، مطابقت می‌کند.

از طرف دیگر، واضح است که هر یک از این اهتزازها از دو اهتزاز خطی که یکی بالای دیگر عمود بوده و تفاوت فاز $\frac{\pi}{2}$ را دارد، به میان می‌آید.



شکل (2-29)

به همین علت ممکن است که هر اهتزاز به دو مرکبه که یکی بالای دیگر عمود باشد، تجزیه گردد. بر این اساس، اشعه نوری را که امواج عرضی اند، در دو مستوی xx' و yy' که یکی بالای دیگر عمود بوده و در عین زمان بر استقامت انتشار نور هم عمود اند، به دو مرکبه تجزیه می‌نماییم.



شکل (2-30)

اهتزازاتی را که ذرات به موازات مستوی کاغذ به سر می‌رسانند، مطابق شکل (2-30) به علامه (\uparrow) و آن اهتزازاتی که بر مستوی کاغذ عمود باشند، به علامه (\bullet) نشانی شده‌اند.

2-28: قطبی کردن به وسیله انعکاس

در سال 1880 میلادی یک ساینس‌دان به نام ملوس Malus نشان داد که شعاع منعکس شده از سطح یک شیشه عادی قطبی می‌شود.

این عالم به واسطه یک تجربه، شعاع نور عادی را بر شیشه مستوی وارد نموده و سپس شعاع منعکسه را از آن ذریعه کرسنال تورمالین آزمایش کرد که قطبی می‌شود یا نه. موصوف در جریان تجربه کرسنال تورمالین را به استقامت شعاع منعکسه حرکت داده و بالاخره دید که در یک موقعیت معین و تحت زاویه وارده، شعاع منعکسه قطبی گردیده است. به این زاویه، زاویه استقطاب (قطبی شدن) می‌گویند.



شکل (2-31)

در اینجا اهتزازات شعاع منعکسه بر سطح شیشه، به مرکبه‌های عمودی و موازی با آن تجزیه می‌شود و دوباره موازی بر سطح منعکس می‌گردد و مرکبه عمودی تحت زاویه معین قابل رویت می‌گردد. هم‌چنان شعاع منعکسه نیز تحت زاویه‌های معین مانند امواج سطح آب قطبی می‌شود. باید گفته شود که حادثه قطبی شدن یک بحث بسیار طولانی است و در تخنیک، طبابت و پژوهش‌های تحقیقی دیگر از آن استفاده وسیع صورت می‌گیرد؛ اما ما در اینجا تنها به معرفی این حادثه اکتفا نموده ایم.

خلاصه فصل دوم

- موج یک نوع حرکت است که از حرکت اهتزازی پیهم ذرات حاصل می‌شود، بدون اینکه ذرات اهتزازی موقعیت خویش را به طرف حرکت موج تغییر دهند.
- امواج، خصوصیت الکترومقناطیسی و یا هم میخانیکی دارند. موج‌های الکترومقناطیسی به سرعت نور در خلا حرکت می‌کنند. امواج میخانیکی به انواع عرضی، طولی و ساکن تقسیم گردیده اند که مشخصه‌های مهم در آنها، سمت انتشار موج و حالت ذرات اهتزازی موج می‌باشد.
- خصوصیت عمده امواج میخانیکی و الکترومقناطیسی به واسطه پیریود، امپلیتود یا دامنه، فریکونسی و طول موج مشخص می‌گردد.
- پیریود عبارت از زمانی است که یک اهتزاز مکمل در آن صورت می‌گیرد.
- انحراف اعظمی ذره اهتزازی موج از حالت تعادل به نام اهتزاز یا امپلیتود و یا دامنه موج یاد می‌گردد.
- تعداد اهتزازات یک ذره مهتز موج در واحد وقت به نام فریکونسی یاد می‌شود. هم‌چنان امواج انعکاس و انکسار می‌نمایند. عملیه‌های انعکاس و انکسار امواج به ساختار محیط انتشار آنها مربوط است.
- انتشار موج در یک محیط متجانس در نتیجه گرفتن و از دست دادن انرژی ذرات هم‌جوار صورت می‌گیرد. حرکت هر موج از منبع انتشار موج به سمت انتشار موج به تابع وقت صورت می‌گیرد.
- در اهتزازات هارمونیکی، تابع انتشار موج از نظر ریاضی مشابه به تابع سین است، یعنی:

$$x = a \cdot \sin \omega t$$

- در این رابطه، x موقعیت ذره کیفی اهتزازی از منبع انتشار موج در یک وقت معین است و ωt فاز انتشار موج نامیده می‌شود، و ω سرعت زاویه‌یی انتشار موج را ارایه می‌کند.
- فاصله بین دو ذره اهتزازی هم‌فاز را طول موج می‌نامند. در بین کمیت‌های سرعت انتشار موج، طول موج و پیریود چنین ارتباطی وجود دارد: $\lambda = v \cdot T$
- هر دو موج متجانس (کوهیرنت) یکی با دیگری تداخل می‌نمایند. در ساحه‌یی که امواج تداخل می‌کنند، یک تعداد اعظمی‌ها و اصغری‌ها به میان آمده که این اعظمی‌ها و اصغری‌های تداخلی، از حل یکسان معادله‌های دو موج به دست می‌آیند.

• امواج صوتی، موج‌های طولی اند. مشخصات عمدهٔ امواج صوتی؛ پایین بودن صدا، بلندی و چگونگی سرعت انتشار صدا است.

• امواج صوتی در جامدات، مایعات و گازها انتشار می‌یابد و هر محیط برای انتشار صوت خصوصیات مشخص دارد. در حالت طبیعی، صوت در هوا منتشر می‌گردد.

• اگر محیط انتشار صوت یک گاز ایدئال باشد، پس در این حالت سرعت گاز با $v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$ محاسبه می‌شود. کمیت‌های γ ، R و M را از کتاب درسی یادداشت نمایید. T درجهٔ مطلق حرارت است.

• صوت خصوصیات موجی انعکاس، انکسار و سرعت را دارد. در رابطه بر آهنگ صوت‌هایی که بر حواس انسان اثر مطبوع دارد و حدود صداهای بی‌آهنگ، از کتاب استفاده نمایید.

• در هوا سرعت صوت به فریکوانسی، و طول موج صوت به رابطهٔ ذیل ارتباط دارد.

$$v = f \cdot \lambda$$

• حادثهٔ داخل شدن امواج نوری یکی در دیگری را تداخل می‌گویند. در حادثهٔ تداخل شعاع نوری، شدت روشنی نور $I = 4a^2 \cdot \cos^2 \frac{\Phi}{2}$ است. در این فورمول بر روی گراف، I به تابع Φ را نشان داده می‌توانیم.

• فاصلهٔ نوارهای روشن و تاریک از مرکز شکل تداخلی از رابطهٔ $x = \frac{m\lambda D}{d}$ به دست می‌آید. شمارهٔ نوارهای تداخلی، یعنی: $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ از فورمول $\frac{x \cdot d}{D} = m\lambda$ به دست می‌آید.

• تفرق فزیکی به حادثهٔ پراکنده شدن موج گفته می‌شود که تابع یک قانون خاص است.

• حادثهٔ قطبی شدن شعاع نوری، اساس موجی دارد که توسط تجربه بسیار خوب و روشن معلوم شده می‌تواند. در حادثهٔ قطبی شدن، شعاع نوری به دو بخش تقسیم می‌گردد.

- توسط کرسنال تورمالین، حادثه قطبی شدن شعاع نوری به صورت بهتر نشان داده می شود.
- حادثه قطبی شدن در مستوی های مخصوص صورت می گیرد که به آنها مستوی های استقطاب گفته می شود. شعاع قطبی شده توسط انعکاس و انکسار و به واسطه کرسنال تورمالین خوب نشان داده می شود.

سوالات فصل دوم

- 1- دو تفاوت عمده امواج میخانیکی و الکترومقناطیسی را بنویسید.
- 2- مشخصات فزیکى امواج میخانیکی را تعریف نمایید.
- 3- امواج میخانیکی از نگاه انتشار موج و چگونه گی ذرات اهتزازى به چند قسم اند؟ تشریح کنید.
- 4- می دانید که تابع انتشار امواج یعنی $x = a \cdot \sin \omega t$ معادل با تابع ساین می باشد. در این تابع، کمیت های فزیکى را تعریف نمایید و تابع گراف $x = 3 \cdot \sin 2t$ را رسم و روی آن بحث نمایید.
- 5- درباره امواج میخانیکی صوتی توضیحات لازم را ارائه کنید.
- 6- امواج صوت:
(الف) به سرعت نور حرکت می کنند.
(ب) معادل با سرعت نور حرکت می کنند.
(ج) در محیط منتشر شده می تواند و بدون محیط صدا منتشر نمی گردد.
- 7- پدیده آهنگ امواج صوت را توضیح نمایید، زیر و بم چه را می گویند؟ و حدود فزیکونسی های شنیدن صدا کدام است؟ بنویسید.
- 8- عمق یک چاه چهل متر است. شخصی یک سنگ را به طور سقوط آزاد به چاه می اندازد و از اثر اصابت سنگ به آب، صدا تولید می شود. از لحظه رسیدن سنگ به سطح آب تا شنیدن صدا بر سر چاه 10^{-1} ثانیه وقت را در برمی گیرد. ارتفاع آب در چاه چقدر است؟
- 9- در حادثه تداخل فاصله نوارهای روشن و تاریک از مرکز منظره تداخلی چگونه حساب می شود؟ فاصله نوارهای شماره ششم روشن و تاریک را از مرکز محاسبه نمایید.
- 10- الف) حادثه قطبی شدن به واسطه کرسنال تورمالین را توضیح دهید.
ب) فاصله بین دو کوه را پیدا کنید در صورتی که زمان رفتن و آمدن صدا از یک کوه به کوه دیگر، 4 ثانیه باشد.

خواص میخانیکی ماده



در این فصل دو خصوصیت عمده ماده را که تاکنون با دقت کامل بررسی ننموده‌ایم، مطالعه می‌کنیم.

فکر کنید اگر یک پارچه فلز المونیم را با قوت زیاد توسط دستان خویش کش کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ و یا برعکس، اگر یک پارچه قلعی را از دو طرف به سوی داخل فشار دهیم، چه حالتی به وجود خواهد آمد؟

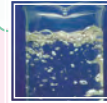
دو مثال فوق در حالات سه‌گانه اجسام دیده می‌شوند که به طور عمده تحت عنوان حالت اجسام بررسی می‌گردد.

3-1: حالات ماده

در طبیعت، ماده به سه حالت دیده می‌شود که عبارت اند از:

1. حالت گاز
2. حالت مایع
3. حالت جامد

این سه حالت به مالیکول‌های داخلی و ساختمان اتمی این اجسام مرتبط است. اگر آن حالت عادی‌یی که یکی از حالات مذکور به آن ارتباط دارد تغییر داده شود، امکان دارد که یک حالت ماده به حالت دیگری تغییر یابد، یا به عبارت دیگر می‌توانیم که با به میان آوردن شرایط سخت، گاز را به مایع، مایع را به گاز، جامد را به جسم مایع و جسم مایع را به گاز تبدیل نماییم. در این همه این حالات لازم است که ابتدا قوای مالیکولی داخلی اجسام را تنظیم نماییم و بعداً حالت جسم را با دادن انرژی زیاد و یا گرفتن انرژی از آن تغییر دهیم. برای اینکه مفاهیم فوق به طور واضح بررسی گردد، خصوصیات ساختمان ماده را با کمی تفصیل مطالعه می‌نماییم.



فعالیت



شاگردان در صنف به دو گروه تقسیم شوند، به یک گروه در یک ظرف یک مقدار آب و وسیله تولید حرارت و به گروه دومی یک پارچه یخ و ظرف در داده شود. گروه اول و دوم طبق هدایت معلم، ظرف ذکر شده را بالای وسیله تولید کننده حرارت بگذارند.

شکل (3-1)

دیده خواهد شد که آب آهسته آهسته گرم شده، به جوش می‌آید و در آخر به بخار تبدیل می‌گردد، یعنی از حالت مایع به گاز و یا حالت بخار تبدیل می‌شود.

هم‌چنان گروه دوم خواهد دید که یخ آهسته آهسته به آب تبدیل می‌شود. فکر کنید که اما چرا چنین واقع می‌شود؟ شاگردان در رابطه با این تغییر، نظریات خویش را بگویند و بعداً معلم به ارتباط این حادثه موضوع را تشریح نماید.

اکنون این تغییر شکل اجسام را در اثر قوه خارجی مطالعه می‌کنیم. اول ساختمان ماده را مطالعه می‌کنیم و خواهیم دانست که ماده سه حالت ذیل را دارد:

حالت‌های جامد، مایع و گاز. اگر یک پارچه یخ را که در حالت جامد است حرارت دهیم، یخ به آب و یا حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌گردد، یعنی توسط حرارت دادن حالت جامد ماده به حالت مایع تبدیل می‌شود. و اگر به همین آب حرارت بیشتر بدهیم، آب جوشیده و به بخار تبدیل می‌گردد که در این حالت، آب از حالت مایع به حالت گاز تغییر می‌یابد. در فعالیت فوق، حالت جسم تحت مطالعه، آب است. در اینجا نه تنها حالت آب تغییر می‌یابد؛ بلکه به طور کامل آب به یک حالت دیگر تغییر می‌کند. به این نتیجه می‌رسیم که این قانونمندی بر همه اجسام تطبیق شده می‌تواند. باید بگوییم که تغییر شکل ماده با یک درجه معین حرارت صورت می‌گیرد. حالت یک جسم به درجه حرارت، فشار و ساختمان داخلی آن ارتباط دارد.

وقتی که یک جسم از یک حالت به حالت دیگر تغییر می‌کند، این تغییر حالت را که در یک درجه معین حرارت صورت می‌گیرد، تغییر فاز (Phase) جسم می‌گویند. در حالت جامد، جسم حجم و شکل معین دارد. برای تغییر شکل و حجم این ماده، به یک مقدار قوه ضرورت است؛ زیرا که اجسام سخت در مقابل تغییر حجم و شکل خویش مقاومت زیاد نشان می‌دهند. باید بگوییم که ماده مایع حجم معین دارد، ولی شکل ثابت و معین ندارد. مواد مایع؛ مانند مواد جامد، برای تغییر حجم خویش به قوه زیاد احتیاج دارند. یعنی مایع‌ها برای حفاظت حجم خویش، در مقابل قوا مقاومت زیاد می‌کنند. مایعات در هر ظرف شکل همان ظرف را اختیار می‌نمایند، جریان پیدا می‌کنند و در مقابل تغییر شکل مقاومت نشان نمی‌دهند.

ماده در حالت گاز، هر شکل و حجمی را اختیار کرده می‌تواند و درین رابطه، مقاومت قابل ملاحظه‌یی از خود نشان نمی‌دهد. بر این اساس، گاز که در هر حجم انداخته شود، به سرعت زیاد آن را اشغال می‌نماید. باید بگوییم که بعضی اجسام مصنوعی؛ مثل: قیر، موم و لاک با تغییر درجه حرارت بسیار کم از جامد به مایع و از مایع به جامد تبدیل می‌گرد.

اگر یک فلز تحت عمل قوه خارجی واقع گردد، دیده خواهد شد که شکل فلز تغییر می‌نماید؛ ولی اگر تأثیر قوه خارجی از بین برود، جسم دوباره شکل اولی‌اش را اختیار می‌نماید.

بدون شک که مواد فلزی از جمله اجسام سخت بوده، فرق زیاد در بین این اجسام و دیگر اجسام سخت در اینست که اجسام سخت طبیعی؛ مثل: فلزات در یک درجه معین حرارت از حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌گردند، در حالی که اجسام سخت مصنوعی در درجه

حرارت دوامدار، به طور تدریجی از حالت جامد به حالت مایع مبدل می‌شوند. یعنی در اثر زیاد شدن درجه حرارت، این مواد سخت ابتدا نرم شده و باز به حالت چسپناک تبدیل گردیده و بعد از آن، حالت مایع را به خود اختیار می‌نمایند. از اینجا به این نتیجه می‌رسیم که اجسام در حالت طبیعی در قیمت‌های معین درجه حرارت، حالت‌های جامد، مایع و یا گاز را به خود اختیار می‌کنند.

حالت جسم جامد در یک قیمت معین درجه حرارت به حالت مایع تبدیل می‌شود و با ازدیاد درجه حرارت، حالت گاز را اختیار می‌کند که در حالات سه‌گانه شکل و حجم جسم تغییر می‌یابد. ممکن است که تحت تأثیر قوا و یا انرژی، شکل و حالت جسم نامبرده دوباره به حالت اولی‌اش برگردد. از اینجا به این نتیجه می‌رسیم وقتی که یک جسم از یک حالت، به حالت دیگر تغییر می‌نماید، فقط فاصله در بین مالیکول‌های آن تغییر می‌کند، یا به عبارت دیگر فاصله میان مالیکول‌های یک جسم سخت بی‌اندازه کم و ارتباط بین این مالیکول‌ها بسیار قوی است، در حالی که اگر این جسم به حالت مایع تبدیل شود، فاصله میان مالیکول‌های جسم زیاد شده و ارتباط این مالیکول‌ها یک‌دیگر ضعیف می‌گردد.

اگر جسم مذکور از حالت مایع به حالت گاز مبدل شود، ارتباط بین مالیکول‌های جسم در یک حجم آزاد از بین می‌رود و هر مالیکول (یا اتم) جسم با مالیکول دیگر هیچ ارتباط نداشته و در حجم ذکر شده آزادانه حرکت کرده می‌تواند. بر اساس این خصوصیت، فلزات در تحت تأثیر قوه، شکل خود را تغییر می‌دهند. فلزات در تخنیک به انواع بسیار نرم؛ مانند: پلاتین، طلا، مس، زرسفید و نسبتاً نرم مانند: المونیم و آهن تقسیم می‌گردد. فلزات نرم از نقطه نظر ارزش، دارای قیمت بلند بوده و به آسانی شکل آنها تغییر می‌یابد. از اجسام نسبتاً سخت در تخنیک بسیار استفاده می‌شود؛ زیرا از نقطه نظر قیمت، ارزان هستند.

در سیم‌های برق خانه‌ها از کدام فلزات کار گرفته شده است، چرا؟ همچنان بگویید که تفاوت در بین کثافت آهن و المونیم چیست؟ آیا آهن در ساخت بادی موتر بیشتر به کار می‌رود یا المونیم؟ به همین ترتیب در رابطه با نرمی این دو فلز چه گفته می‌توانید؟

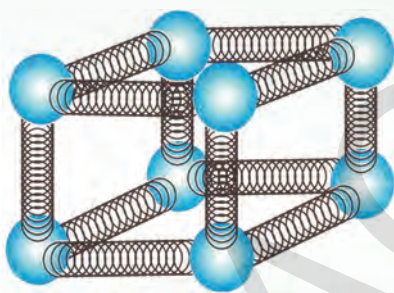
چرا و چگونه جسم از حالت جامد به مایع و باز به حالت گاز تبدیل می‌گردد؟

می‌دانیم که در اجسام جامد قوه عمل متقابل در بین مالیکول‌ها بسیار زیاد است، هنگامی که به جسم حرارت زیاد داده شود، انرژی حرکتی مالیکول‌های جسم بیشتر می‌گردد و در نتیجه رابطه بین مالیکول‌های جسم سخت، ضعیف و فاصله میان مالیکول‌های آن زیاد می‌گردد و جسم دیگر حالت جامد قبلی‌اش را نگه کرده نمی‌تواند، در نتیجه جسم آب می‌شود و قابلیت جریان را پیدا می‌کند. وقتی که جسم از حالت جامد به حالت مایع مبدل گردد، گفته می‌شود که جسم فاز خود را تبدیل نموده است. اگرچه در حالت فاز به جسم حرارت زیاد داده می‌شود؛ ولی درجه حرارت آن ثابت می‌ماند، که به این درجه حرارت، درجه حرارت تبدیل شدن فاز جسم گفته می‌شود.

پس این انرژی حرارتی چه می‌شود؟

این انرژی حرارتی، عوض اینکه درجه حرارت جسم را بالا ببرد، انرژی حرکتی مالیکول‌ها و یا اتوم‌های جسم را زیاد می‌نماید و در نتیجه درجه حرارت جسم ثابت می‌ماند و حالت جامد جسم، تحت این درجه حرارت به حالت مایع مبدل می‌شود.

تبدیل شدن به حالت گاز نیز با بلند رفتن درجه حرارت آغاز می‌شود تا اینکه در یک درجه ثابت و معین، حالت جسم به حالت گاز تبدیل می‌گردد. در شکل (3-2)، وضعیت مالیکول‌های یک جسم جامد را دیده می‌توانید.



شکل (3-2)،

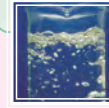
مدل مالیکول‌های یک جسم جامد

3-2: کثافت (Density)

در درس‌های گذشته در مورد کثافت اجسام و حالت یا چگونگی آنها به طور مختصر آموخته‌اید. چه فکر می‌کنید که تحت تأثیر قوه و فشار با داشتن درجه معین حرارت، اجسام چگونه شکل خود را تغییر می‌دهند؟

آیا در حجم مساوی، مقدار کتله‌های آهن و مس قیمت‌های مساوی دارند، چرا؟

فعالیت



در سه گروپ تقسیم شوید و اندازه کتله‌های آهن، المونیم و مس را که دارای حجم مساوی اند معلوم کنید. بعداً نسبت کتله هر یک بر حجم آن را معلوم نمایید. معلم علت تفاوت کمیت‌هایی را که از این نسبت حاصل گردیده با شاگردان یکجا بررسی نماید و نظر شاگردان را جمع کند. این کمیت‌ها را در یک جدول بنویسید.

با در نظر گرفتن این فعالیت، نسبت کتله و حجم برای یک جسم معین، کثافت آن جسم نامیده می‌شود، اگر کتله m و حجم v باشد.

$$\rho = \frac{\text{اندازه کتله جسم}}{\text{اندازه حجم جسم}} = \frac{m}{v}$$

در سیستم اندازه‌گیری SI، واحد کثافت kg/m^3 و یا gr/cm^3 است.

$$1m^3 = 10^6 cm^3 \text{ و } 1kg = 10^3 gr$$

همچنان می‌توانیم با استفاده از فورمول فوق کثافت مایع‌ها و گازها را تعیین نماییم. با استفاده از شناخت کثافت مواد، موارد استعمال آنها در تخنیک و صنعت مشخص می‌شود. برای سهولت، در کتاب‌ها از قبل، قیمت‌های کثافت مواد ترتیب می‌گردد و از روی آن قیمت‌های مورد ضرورت یادداشت و از آن استفاده صورت می‌گیرد. به گونه مثال، جدول ذیل را ببینید:

شماره	نام جسم	کثافت به (kg/m^3)
1	طلا	19.3×10^3
2	سیماب	13.6×10^3
3	آهن	7.86×10^3
4	آب خالص $(4^\circ c)$	1.00×10^3
5	آب بحر $(15^\circ c)$	1.025×10^3
6	یخ	0.917×10^3
7	الکول	0.806×10^3
8	هوا	1.29
9	بخار آب $(100^\circ c)$	0.598
10	گازهای دروجن	0.0899

بهتر خواهد بود که یک خصوصیت دیگر اجسام را که وزن مخصوصه Specific Gravity نامیده می‌شود نیز مطالعه نماییم.

این کمیت از نسبت کثافت یک جسم مورد نظر و کثافت جسم و یا ماده دیگری که منحنیث استندرد قبول گردیده است، به دست می‌آید. این ماده استندرد معمولاً آب خالص است که درجه حرارت آن چهار درجه سلیسیوس می‌باشد. این معیار تنها برای اجسام جامد و مایع قابل تطبیق است و برای گازات این معیار، هوا در نظر گرفته می‌شود.

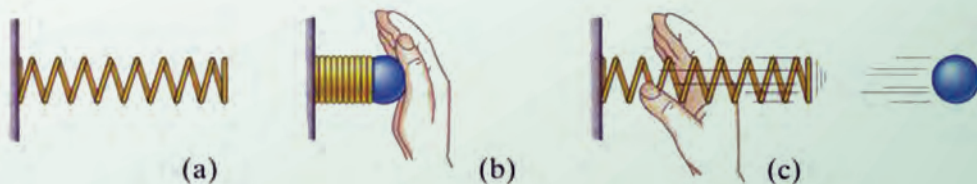
$$\text{وزن مخصوصه} = Sp \cdot gr = \frac{(\rho) \text{ کثافت جسم}}{(\rho_s) \text{ کثافت ماده استندرد}}$$

وزن مخصوصه: یک کمیت بدون واحد (بی بعد) یک کمیتی است که فقط به واسطه یک عدد نشان داده می‌شود و در تمام سیستم‌های اندازه‌گیری عین قیمت را دارد. این کمیت هم در جدول برای جامدات، مایعات و گازها ترتیب شده و در حل مسایل از آن استفاده می‌شود.

3-3: ارتجاعیت (Elasticity)

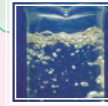
قبلاً بررسی نمودیم که حرکت‌های اهتزازی و موجی چه خصوصیت‌هایی دارند و چگونه به میان می‌آیند. اکنون می‌خواهیم بدانیم که در اجسام سخت عمل قوه خارجی چگونه به جسم تغییر شکل می‌دهد، در حالی که حجم کلی جسم تغییر نمی‌یابد. به اینکه یک جسم زیر عمل قوه خارجی شکل خود را تغییر دهد و بعد از دور شدن قوه، به حالت اولی خود برگردد، ارتجاعیت جسم گفته می‌شود. وقتی که یک جسم جامد از اثر قوه خارجی شکل خود را تغییر داده و بعد از دور شدن قوه، شکل قبلی خویش را دوباره اختیار ننماید، چنین جسمی را جسم غیر ارتجاعی می‌گویند.

هر یک از این اجسام در تخنیک ارزش خاص خود را دارند. معمولاً اجسام پلاستیکی ارتجاعیت ضعیف داشته و بسیار کم می‌توانند حالت قبلی خویش را اختیار نمایند.



شکل (3-3)

فعالیت

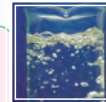


شاگردان به دو گروه تقسیم گردند. یک گروه اجسام ارتجاعی جامد و گروه دیگر اجسام غیر ارتجاعی جامد را نشانی کنند. اجسام جامد؛ مانند: لاک، موم، رابر و یا سیم‌هایی را که از مس و آهن بسیار باریک ساخته شده اند، با همدیگر مقایسه نمایند. اگر اجسام جامد ذکر شده تحت تأثیر قوه خارجی واقع شوند، چطور خصوصیت ارتجاعیت و غیر ارتجاعیت در آنها بر مبنای ساختمان مالیکولی آنها توضیح شده می‌تواند؟ معلم بر موضوع روشنی اندازد.

3-4: فشار تراکمی یا تنش (Stress)

قبلاً در مورد فشار معلومات کافی حاصل نمودیم که عبارت بود از قوه فی واحد سطح. اکنون می‌خواهیم عمل قوه را بر جسم جامد ارتجاعی بررسی نماییم. گفته می‌شود که عمل قوه خارجی بر اجسام مایع و گاز با عمل قوه خارجی بر اجسام جامد ارتجاعی مشابهت دارد. چون ساختمان و حالت فیزیکی اجسام جامد، مایع و گاز از یکدیگر فرق ندارد، در اینجا تنها اجسام جامد ارتجاعی را تحت تأثیر قوه خارجی بررسی می‌نماییم.

فعالیت



دو سیم باریک را که قطرهای آنها در حدود چند ملی‌متر و طول آنها تقریباً 70cm است، در دو میخ آویزان می‌نماییم. در انجام دیگر هر سیم، نیم کیلوگرام وزنه را آویزان می‌کنیم. اگر طول این سیم‌ها را قبل و بعد از آویزان نمودن وزنه با وسایل دقیق اندازه نماییم، آیا در طول سیم‌ها کدام تغییر دیده خواهد شد؟ شاگردان این تغییر طول را در دو گروه یادداشت کرده و در مقابل نام خود آن را بنویسند. دیده می‌شود که در نتیجه تأثیر قوه و یا کش کردن توسط وزنه، این سیم‌ها یک اندازه دراز می‌شوند. اگر قوه عامل دور گردد، سیم‌های مذکور دوباره به حالت قبلی‌شان برمی‌گردند. شاگردان این حالت را نیز اندازه کنند و به یک نتیجه درست دست یابند.

از اجرای این فعالیت به این نتیجه خواهید رسید که سیم‌های متذکره خصوصیت‌های ارتجاعی دارند.

فرضاً قوه عامل بالای سیم، F و مقطع سیم، A باشد، فشاری که تحت تأثیر قوه F بر مقطع A سیم وارد می‌گردد، $P = \frac{F}{A}$ است.

درینجا F قوه کشش سیم، A مقطع سیم و P فشاریست که سبب تغییر در ساختمان و شکل سیم گردیده و به واسطه عمل قوه به میان آمده است.

همین قسم ناگفته نماند که در بین اتوم‌های سیم نیز قوه‌یی عمل می‌کند که به نام قوه عامل داخلی اتوم‌ها یاد شده و در حالت نورمال به شکل و ساختمان جسم مربوط می‌باشد. همچنان بین اتوم‌ها یک خلا موجود است که به نام فاصله بین مالیکول‌ها و اتوم‌ها نامیده می‌شود. وقتی که قوه خارجی بر یک جسم به طرف پایین عمل نماید، خواه خواه این قوه خارجی اتوم‌های جسم را به طرف پایین می‌کشد و از طرف دیگر قوه عامل بین اتوم‌ها به سمت مخالف آن عمل نموده، اتوم‌ها مقاومت می‌کنند تا اینکه ساختمان سیم و یا جسم را به حالت اولی اش نگه‌دارند. دراز شدن به طرف پایین، فقط از نتیجه بزرگی فاصله بین مالیکول‌ها و یا اتوم‌ها به میان می‌آید. فشاری که در مقطع معین سیم به واسطه قوه F به وجود می‌آید، تحت تأثیر قوه ثابت F با مقطع سیم معکوساً متناسب است، یعنی با باریک شدن سیم، فشار بالای آن زیاد می‌شود. اگر این کار دوام پیدا کند، فشار فوق‌العاده زیاد می‌گردد و ممکن است که سیم کنده (قطع) شود. همچنان اگر مقطع سیم ثابت نگهداشته شود، باز یاد شدن قوه، فشار پایینی مستقیماً افزایش می‌یابد و این به معنای آنست که سیم دیگر نمی‌تواند فشار را تحمل کند و ارتباط بین اتوم‌های ساختمانی جسم قطع می‌گردد و سیم قطع می‌شود.

اما برخی مواقع سیم قطع نمی‌شود؛ بلکه در شکل فیزیکی آن تغییر به وجود می‌آید، که در تخنیک این خاصیت فلزات در نظر گرفته می‌شود و سعی می‌گردد که تغییر شکلی‌یی که در اثر حوادث مختلف تحت تأثیر قوه به وجود می‌آید، بعد از دور شدن قوه، جسم حالت اولی خویش را اختیار نماید، که در حقیقت به این خصوصیت، حالت ارتجاعی فلز یا جسم گفته می‌شود. در سیستم بین‌المللی اندازه‌گیری واحدها (SI)، واحد فشار عبارت از پاسکال است، در صورتی که یک نیوتن قوه بر سطح $1m^2$ عموداً عمل نماید.

در تخنیک، فشار بالای سیم‌ها به کیلو پاسکال محاسبه می‌گردد.

در برخی کتاب‌ها نسبت قوهء عامل و مساحت مقطع سیم را فشار تراکمی یا تنش (stress) می‌گویند و آن را با سمبول δ نمایش می‌دهند.

$$\delta (\text{stress}) = \frac{\text{قوهء عامل}}{\text{مساحت مقطع سیم}}$$

$$\delta = \frac{F}{A} \quad \text{و یا هم نوشته می‌توانیم که:}$$

این کمیت به پاسکال اندازه می‌شود.

مثال: برای اندازه کردن stress یک سیم مسی که قطر مقطع آن $0.003m$ است، آن را به یک لابراتوار تخریبی منتقل می‌کنند. اگر کارکنان تخریبی $100kg$ کتله را از مقطع آن آویزان کنند، فشار قوه را بر مقطع سیم به kpa حساب نمایید.

حل:

$$d = 0.003m$$

$$F = 100 \times 9.81$$

$$F = 981N$$

$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 3.14 \times \left(\frac{0.003m}{2}\right)^2$$

$$A = 3.14(0.0015m)^2$$

$$A = 3.14 \times 0.00000225m^2$$

قیمت δ را وضع و معلوم کنید:

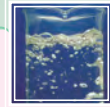
$$\delta = \frac{F}{A} = \frac{981N}{(0.000225)(3.14) \times 10m^2 \times 10^{-6}} = \frac{981N \times 10^6}{(0.000225)(3.14)m^2}$$

$$\delta = 138853503.184713Pa$$

$$\delta = 138853.503184713kPa$$

3-5: طول و فشار

قبلاً بر مقطع یک سیم باریک ارتجاعی، عمل قوه را بررسی نمودیم. اکنون می‌توانید بگویید که عمل قوه بر طول سیم چه تأثیری می‌تواند داشته باشد؟



فعالیت

در سه گروپ سه سیم مسی را که طول هر یک آنها یک متر باشد، در سه گوشه صنف بر یک جسم محکم آویزان نمایید و بعداً چهار جسم دارای وزن‌های مختلف را در انجام سیم‌های آویزان شده آویخته و ببینید که زیاد شدن وزن‌ها و تغییر طول سیم‌ها با هم مستقیماً متناسب می‌باشند و یا نه؟ این افاده یک‌بار دیگر قانون هوک را در کشش‌های ارتجاعی به خاطر می‌آورد.

قانون هوک بیان می‌نماید که قوه عامل ارتجاعی (F)، با اندازه انحراف (X) جسم ارتجاعی، ارتباط مستقیم دارد. یعنی: $F = k x$

فشار بالای مساحت مقطع A سیم باریک را برای قوه کشش نوشته می‌توانیم:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{K}{A} \cdot X$$

با وضع نمودن F از قانون هوک:

در تکنیک معمولاً به ثابت $\frac{K}{A}$ ، ثابت تناسب رابطه گفته می‌شود؛ در حالی که k یک کمیت ثابت قانون هوک است که مربوط به خصوصیت‌های اجسام ارتجاعی می‌باشد. به همین ترتیب اگر L طول سیم در حالت عادی بدون تأثیر قوه خارجی و ΔL تغییر طول سیم بعد از تأثیر قوه باشد، پس در این صورت قانون هوک به این شکل نوشته شده می‌تواند:

$$P \approx \frac{\Delta L}{L}$$

و یا با در نظرداشت یک عدد ثابت تناسب، رابطه فوق این شکل را به خود اختیار می‌کند.

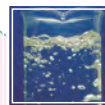
$$P = \text{const} \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

اگر در اندازه طول سیم تحت تأثیر قوه خارجی زیادت به میان بیاید، در آن صورت P را کشش و حالت را حالت کشانیدن سیم می‌گویند و اگر در کمیت طول سیم تحت تأثیر عمل قوه تناقص صورت بگیرد، پس درین صورت اتوم‌های سیم یکی به دیگر نزدیک می‌گردد، که این حالت را حالت فشرده‌گی یا تراکم می‌گویند. اگر در رابطه آخری، ثابت رابطه به E نشان داده شود، در آن صورت:

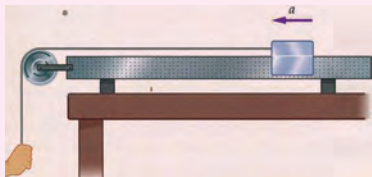
$$P = E \frac{\Delta L}{L}$$

اندازه نسبتی طول کشش سیم ارتجاعی را ارایه می‌نماید. E مودول ارتجاعیت یونگ است و به kP_a/mm^2 ارایه می‌گردد. P عبارت از کشش سیم است. وقتی که $\frac{\Delta L}{L} = 1$ شود، درین حالت $P = E$ است؛ یعنی کشش برابر است با مودول یونگ. در هنگام اندازه‌گیری، مودول یونگ و کشش واحدهای مساوی اندازه‌گیری را دارند. در عمل، اندازه دراز شدن سیم به واسطه کشش، با طول اصلی سیم مساوی شده نمی‌تواند. یعنی قبل ازینکه این عمل انجام یابد، سیم قطع می‌گردد.

فعالیت



یک انجام نل رابری نسبتاً باریک را مطابق شکل بر سر میز بسته می‌کنیم، و سر دیگر آن را بعد از عبور از یک چرخ به طرف پایین آویزان می‌نماییم. در یک قسمت معین نل رابری، به واسطه یک حلقه، قطر نل را اندازه می‌کنیم و آن را d_1 می‌نامیم. بعداً در قسمت آویخته شده نل یک جسم را با وزن W آویزان می‌نماییم.



در نتیجه آویزان نمودن وزن، در طول نل به اندازه ΔL تزیاید به وجود می‌آید و قطر d_1 حلقه‌یی که در حصه نشانی شده قرار داشت به درازای نل طویل شده متجانس، قیمت d_2 را به خود می‌گیرد.

پس در این حالت نسبت قطرها با $\frac{\Delta L}{L}$ متناسب است. یعنی: $\frac{d_1}{d_2} \approx \frac{\Delta L}{L}$ شکل (3-4)

این فعالیت را سه نفر به طور جداگانه در صنف انجام دهند و نتایج را روی تخته نوشته و با هم مقایسه نمایند.

فعالیت فوق تحت قانون ارتجاعیت هوک صورت می گیرد. وقتی که قوه کشش وزن به صورت آهسته دور می شود، همه ابعاد نل به حالت قبلی اش برمی گردد؛ ولی با دور شدن وزن این عمل دفعتاً به صورت مکمل صورت نمی گیرد؛ بلکه با گذشت زمان، ابعاد نل حالت قبلی خود را اختیار می نماید.

اگر بخواهیم برای این نل رابطه $\frac{\Delta L}{L} \approx \frac{\Delta d}{d_1}$ را به شکل معادله بنویسیم، باید آن را توسط یک ضریب به هم ارتباط دهیم؛ یعنی:

$$\frac{\Delta d}{d_1} = \mu \frac{\Delta L}{L_1}$$

μ برای اندازه کردن ابعاد نل به نام ضریب پادسون یاد می شود. خصوصیت ارتجاعی نل در عملیه تغییر مهم می باشد. ضریب μ کمیت بعدی یا دارای واحد نیست و تنها ارزش عددی دارد و قیمت آن از 0.01 الی 0.3 تغییر می یابد. باید گفته شود که با کشش وزن، ابعاد نل به دو استقامت تغییر پیدا می کند. اگر از یک طرف نل رابری تحت تأثیر وزن به استقامت طول یعنی L زیاد می شود، از جانب دیگر اندازه قطر مقطع نل کم می شود، یعنی $\Delta L > 0$ و $\Delta d < 0$ می باشد. اما در محاسبه، قیمت مطلقه کمیت ها در نظر گرفته می شود.

مودول بلک (Bulk Modulle)

مودول بلک که به نام مودول تراکمی بلک نیز یاد می شود، به حرف B نشان داده می شود و آن در یک جسم ارتجاعی از حاصل تقسیم تنش (stress) و کشش (strain) به دست می آید. خصوصیت عمده ارتجاعیت اینست که در حجم معین، کثافت جسم باید یکسان باشد.

اگر تنش (stress) حجمی را به $P_1 - P_2 = \Delta P$ و در نتیجه این stress، کشش (strain) حجمی را به $Strain = \frac{\Delta V}{V_1}$ نشان دهیم، پس درین حالت مودول بلک قیمت زیر را اختیار می نماید:

$$B = \frac{stress}{strain} = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V_1}} = V_1 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

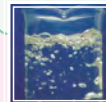
رابطه آخری، تغییر حجمی جسم ارتجاعی را زیر تأثیر قوه میخانیکی خارجی نشان می دهد. مودول بلک برای هر جسم ارتجاعی یک کمیت ثابت دارد.

مودول شیر Shear Modulus

در تخنیک اجسام سخت زیاد استعمال می‌گردد. ازین سبب، دانشمندان ساختمان این اجسام را به دقت بررسی می‌نمایند. وقتی که این اجسام زیر تأثیر قوای خارجی می‌آیند، دانشمندان تأثیرات قوه را می‌بینند و در صورت به وجود آمدن نواقص و مشکلات تخنیکی، تدابیر لازم را اتخاذ می‌نمایند.

مودول شیر در این بحث توسط یک مکعب مستطیل جامد، حوادث stress و strain را بیان می‌نماید. برای اینکه به موضوع داخل شویم، فعالیت ذیل را اجرا می‌کنیم.

فعالیت



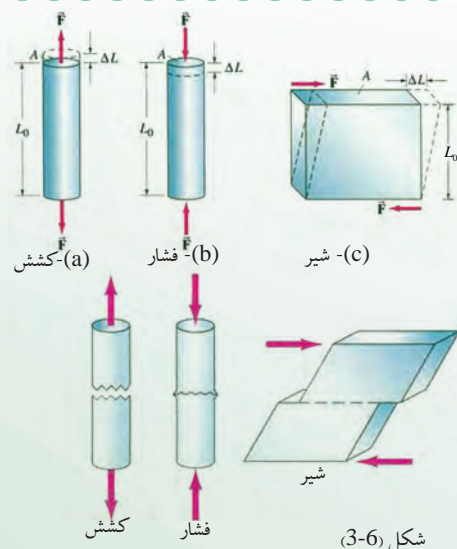
شاگردان را به دو گروه تقسیم نموده و به گروه اول یک کتاب نازک تر و به گروه دومی یک کتاب ضخیم را مطابق شکل می‌دهیم. هر گروه به ترتیب بر یک سطح این کتاب‌ها عموداً فشار وارد می‌کند و مشاهدات خود را در یک ورق می‌نویسد. نماینده هر گروه یادداشت گروه خود را در صنف می‌خواند.



بعد از نمایش هر گروه، معلم در نتیجه فشار وارد نمودن بر کتاب‌ها، تغییر حجمی و مشخصات هر کتاب را توضیح می‌کند و بعد به استفاده این نوع مشخصات در اجسام فلزی در کارهای ساختمانی اشاره می‌نماید.

در نتیجه فعالیت فوق، مودول شیر که به آن مودول برش هم می‌گویند و به سمبول S نشان داده می‌شود، این طور بیان می‌گردد:

مودل برش شیر (S) ارتجاعیت شکل مواد سخت را تحت تأثیر قوه، توضیح می‌دارد. مطابق شکل بر یک مکعب مستطیل قوه‌های مساوی و متقابل F عمل می‌کند و در نتیجه عمل این قوه‌ها، مکعب مستطیل دوران می‌نماید. در نتیجه عمل قوه‌ها و دوران، حجم مکعب مستطیل تغییر نمی‌کند. درین حالت stress شیر توسط رابطه ذیل افاده می‌شود.



شکل (3-6)

$$\text{stress شیر} = \frac{\text{عمل قوه مماسی } F}{\text{سطح مکعب مستطیل شیر}}$$

$$\delta_s = \frac{F}{A} \quad \text{و یا:}$$

برای اینکه مودل شیر تعریف شود، لازم است که رابطه برای strain را یکبار دیگر بنویسیم:

$$\epsilon_s = \frac{\Delta L}{L_o}$$

در این رابطه، ΔL فاصله برش شده شیر شده و L_o طول حالت اولی مکعب مستطیل را ارایه می‌کند. اگر stress شیر را بر strain شیر تقسیم نماییم، پس مودل شیر؛ یعنی (S) به دست می‌آید.

$$\text{مودل شیر (S)} = \frac{\text{stress شیر}}{\text{strain شیر}}$$

اگر در رابطه آخری قیمت‌های stress و strain را وضع کنیم، می‌توانیم بنویسیم که:

$$S = \frac{\delta_s}{\epsilon_s} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_o}} = \frac{F}{A} \times \frac{L_o}{\Delta L} = \frac{F \cdot L_o}{A \cdot \Delta L}$$

واحد S، $(\frac{N}{m^2})$ می‌باشد

خلاصه فصل سوم

در این فصل، حالات میخانیکی ماده از نظر ساختمان اتمی و مالیکولی به تفصیل توضیح گردیده است. درباره مالیکول ها و اتم ها در رابطه با قوه کشش و چگونه گی آن بحث شده است.

در مورد اجسام، و خصوصیت ارتجاعی ماده تحت تأثیر قوه به اندازه کافی توضیح داده شده است و فرق بین اجسام جامد ارتجاعی و غیر ارتجاعی بررسی شده و نشان داده شده است که از جسم تحت تأثیر قوه، وقتی که قوه دور می شود، اتم ها یا مالیکول ها و یا هم قسمت بی جا شده جسم دوباره به حالت اولی خود برمی گردد. به همین ترتیب، در رابطه با معلوم کردن کثافت و وزن مخصوص اجسام جامد و واحداث اندازه گیری آنها بحث شده است. واحد کثافت $\frac{kg}{m^3}$ و $\frac{gr}{cm^3}$ می باشد؛ در حالی که وزن مخصوص بدون واحد بوده و محض به واسطه یک عدد ریاضی ارایه می شود. همچنان فشاری که بر واحد سطح یک جسم تحت تأثیر قوه وارد می گردد، stress نامیده می شود که اندازه آن زیر اثر قوه به درازای جسم با واحد اندازه گیری به پاسکال تشریح شده است. یعنی:

$$1N / 1m^2 = 1Pa$$

به همین ترتیب، درباره فشارهای شیر و بلک که در نتیجه کشش به میان می آید، بحث صورت گرفته است. اینکه اجسام جامد تحت تأثیر فشار قوه و کشانیدن، چقدر تحمل و طاقت کرده می تواند، درین بحث نقش ارزنده و مهم را بازی می نماید.

این قابلیت تحمل به وسیله فشار به درازای جسم، در حوادث شیر و بلک توضیح گردیده است. معلوم کردن مودل های بلک و شیر برای ارتجاعیت و خصوصیت اجسام سخت در ساختمان و تخنیک بسیار مهم و ضروری است.

سؤال‌های فصل سوم

1. اجسام از نگاه ساختمان اتمی و مالیکولی و داشتن فاصله بین آنها، در حالت‌های ذیل وجود ندارد: (جواب درست کدام است؟):

الف) گاز، مایع و جامد

ب) اجسام یخ شده، خاکستر شده و ذغال شده

ج) به شکل هوا، دریاها و کوه‌ها

د) به شکل قطره‌ها، شعاع نوری و ذره‌ها

2. از نظر ساختمان مالیکولی، تفاوت عمده گاز، مایع و جامد را در سه سطر بنویسید.

3. کثافت و وزن مخصوص یک جسم از هم چه تفاوت دارند؟ واحدهای اندازه‌گیری آن‌را بنویسید.

4. یک جسم جامد 45kg^* وزن و 3m^3 حجم دارد. اگر $g = 981 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$ باشد، کثافت جسم مذکور چقدر خواهد بود؟

5. کمیت stress توسط رابطه $\delta = \frac{F}{A}$ ارایه شده است. درین رابطه در مورد F و A روشنی بیندازید و واحدهای اندازه‌گیری آن‌را بنویسید.

6. مفهوم فیزیکی فشار p را تحت کشش قوه F توضیح نمایید و کمیت‌های شامل رابطه $P = E \frac{\Delta L}{L}$ را توضیح کنید و بگویید که اگر $\Delta L = L$ شود، چه واقع می‌شود؟

7. مودول بلک توسط رابطه $B = V_1 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}$ تشریح شده است. کمیت‌های شامل رابطه را توضیح نمایید.

8. مودل شیر عبارتست از $s = \frac{F \cdot L_o}{A \cdot \Delta L}$

کمیت‌های شامل رابطه را توضیح کنید:

9. پنجاه و یک گرم تیل پترول 75cm^3 حجم دارد. کثافت و وزن مخصوص این پترول را معلوم کنید.

10. معلوم کنید که 300gr سیماپ " Hg " چقدر حجم دارد، در حالی که کثافت سیماپ $\rho = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ است.

خواص حرارتی مواد



می‌دانیم که علم فزیک قانونمندی جهان را به طور بنیادی و اساسی بیان می‌دارد، این تحلیل و مطالعه، تأثیرات متفاوت جهان مادی را در ابعاد مختلف بررسی می‌نماید. علما راجع به خواص حرارتی ماده و ماهیت حرارت از سال‌ها به این طرف نظریاتی ارایه کرده‌اند. آنها حوادث فیزیکی را تحت بررسی قرار داده و در هر مورد ابراز نظر کرده‌اند؛ چنان‌چه یونانی‌های قدیم مثل دیموکریتوس (Democritus) جسم جامد را مرکب از ذرات در حال نوسان می‌دانست. پس از چندین قرن که افکار بشر دوباره متوجه خواص ماده و حوادث حرارتی گردید، نظریهٔ حرکی بر اساس تجربه به میان آمد. چنان‌چه بیکن عالم انگلیسی گفت که ما مشاهده می‌کنیم که حرارت عبارت از حرکت شدید اجزای داخلی جسم است. چند سال بعد، نظریهٔ کالوریک به میان آمد.

علما به این عقیده بودند که حرارت یک سیال، بدون وزن و غیر مرئی است و به آن کالوریک می‌گفتند. آنها می‌گفتند زمانی که چوب و یا ذغال سوختانده می‌شود، یک مقدار کالوریک تولید می‌گردد و این کالوریک به مواد دیگری نیز انتقال کرده و سبب گرمی آنها می‌شود. اما زمان که یک جسم سرد می‌شد، می‌گفتند که جسم یک مقدار کالوریک خویش را باخته است. همچنان تجارب انجام شده توسط علما نشان داد که توسط اصطکاک حرارت تولید می‌شود؛ مثلاً: اگر یک جسم سخت توسط برمه سوراخ و در ساحة برمه شده، آب انداخته شود، دیده می‌شود که در اثر اصطکاک زیاد، آب مذکور بدون موجودیت آتش به جوش می‌آید. چهل سال بعد، ژول (Joule) بعد از یک سلسله تجارب دقیق نشان داد که همیشه یک مقدار انرژی میخانیکی، سبب تولید یک مقدار حرارت شده و این انرژی میخانیکی و حرارت با هم معادل می‌باشند و بنابراین حرارت یک شکل از انرژی است. فعلاً نظریه قبول شده، نظریه حرکتی مالیکول‌ها است. در این مورد دانشمندان عقیده دارند که همه اجسام از ذرات خیلی کوچک که به نام مالیکول یاد می‌شوند، تشکیل شده‌اند. این ذرات یک‌دیگر را جذب می‌کنند. قوی‌ترین قدرت جذب در جامدات و ضعیف‌ترین در گازات است. مالیکول‌ها و ذرات اجسام جامد نسبت به مایعات و گازها با هم نزدیک‌تر اند و در جامدات فاصله بین مالیکولی خیلی کم و در گازها این فاصله خیلی زیاد است. اکنون می‌بینیم که مسأله مالیکول‌ها چه ارتباطی به موضوع تأثیر حرارت دارد. وقتی جسمی را حرارت می‌دهند و یا به آن ضربه وارد می‌کنند، حرکت مالیکول‌های ترکیب کننده جسم سریع‌تر گردیده و نوعی از حرکت را که هیجان حرارتی گفته می‌شود، به خود اختیار می‌کنند. در اثر این نوع حرکت، مالیکول‌ها با یک‌دیگر تصادم نموده و این تصادم سبب گرم شدن مالیکول‌های مجاور می‌شود. مالیکول‌های جسم گرم نظر به جسم سرد، سریع‌تر حرکت می‌کنند. مالیکول‌هایی که سریع حرکت می‌کنند، فاصله آنها از یک‌دیگر زیادتر می‌گردد که این انتشار و پراکنده‌گی سبب انبساط جسم شده و فضای بیشتری را در برمی‌گیرد؛ مثلاً: اگر جسم جامدی را زیاد حرارت بدهند، مالیکول‌ها آنقدر سریع حرکت می‌کنند و از هم دور می‌شوند که در نتیجه به مایع و یا گاز تبدیل می‌شوند؛ اما زمان که حرارت اجسام کم گردد، تغییراتی خلاف تغییراتی که قبلاً ذکر شد، صورت می‌گیرد؛ یعنی مالیکول‌های جسم آهسته حرکت می‌کند و زمان که حرکت مالیکول‌ها کند شد، در این حالت مالیکول‌ها به واسطه قوه جذبی که دارند، به یک‌دیگر نزدیک شده و جسم منقبض می‌گردد و جای کمتر را می‌گیرد.

به شما بهتر معلوم است که حرارت یک نوع انرژیست، زمان که حرارت از یک جسم به جسم دیگر انتقال می‌یابد، تغییری در حالت و کیفیت جسم وارد می‌شود. اگر همین جسم را از نگاه هر پدیده دیگر هم مطالعه نماییم باز هم اصول آن تحت تأثیر خواص حرارتی مطالعه خواهد شد.

در این فصل، مطالعه جهان مادی در روشنی خواص حرارتی ماده واضح می‌شود. برای آموختن اصلیت حرارت و طریقه‌های انتقال آن، جسم فیزیکی سیاه و قوانین تشعشی آن، بسیار ضروری است تا با مفاهیم فوق آشنا شویم.

1-1-4: انتقال حرارت توسط هدایت

کدام فصل را زیاد دوست دارید؟ زمستان یا تابستان را؟ با تغییر فصل، حالت هوا نیز تغییر می‌کند، در تابستان هوا گرم و در زمستان سرد می‌شود. در هنگام تغییر نمودن هوا، جهت نگهداشت صحت و سلامتی خود از قوانین فیزیکی متعددی خصوصاً از خواص حرارتی مواد استفاده می‌نماییم. مثلاً در زمستان لباس‌های ضخیم و گرم، و در تابستان لباس‌های سفید و نازک می‌پوشیم. زیرا در صورت پوشیدن لباس‌های سفید، شعاع مستقیم آفتاب تا اندازه زیاد منعکس گردیده و به جلد بدن نمی‌رسد. همین طور برای سرد ساختن بدن از اشیای سرد و یخ مانند آب یخ چاه، آیسکریم، دوغ و نوشابه‌های سرد و همچنان در داخل خانه از بادپکه و ایرکاندیشن استفاده می‌کنیم و در روزهای سرد زمستان، لباس‌های گرم و ضخیم می‌پوشیم و شعله گرم می‌خوریم تا حرارت بدن خود را ثابت نگه‌داریم، ما را یخ نزند و مریض نشویم. حرارت عبارت از یک نوع انرژیست که از حرکت مالیکول‌های اجسام به وجود می‌آید. حرارت را انرژی داخلی اجسام نیز می‌نامند.

جهت کسب مهارت لازم، مثال‌های ذیل را در نظر بگیرید:

1. اگر یک میله فلزی را بالای آتش بگیریم، چند لحظه بعد میله گرم می‌شود و این گرمی به انجام دیگر میله هم می‌رسد. به عبارت دیگر، حرارت از آتش به آن قسمت میله که در تماس آتش قرار دارد، رسیده و باز از آنجا به انجام دیگر میله انتقال می‌یابد. پس واضح است که در جریان این تجربه، اتوم‌های آتش به میله فلزی انتقال نکرده است. هم‌چنان اتوم‌های آن قسمت میله که بالای آتش قرار گرفته نیز به انجام دیگر میله انتقال نیافته است، یعنی این تغییر بدون آنکه مالیکول‌ها و یا اتوم‌های جسم بی‌جا شوند صورت می‌گیرد. پس عملیه‌ی را که ذرات جسم به جای خود باقی می‌ماند و تنها حرارت از یک قسمت به قسمت دیگر جسم انتقال می‌یابد، هدایت می‌نامند. در اجسام سخت و جامد حرارت تنها از طریق هدایت انتقال می‌یابد.

2. در زمستان یک بخاری گرم هوای تمام اتاق را گرم می‌کند. وقتی که هوای محیط اطراف بخاری گرم می‌شود، ذرات این هوا بلند رفته صعود می‌نماید و جای آن را هوای سرد که از بخاری دورتر واقع بوده می‌گیرد و هنگامی که این هوا نیز گرم شد، صعود می‌کند. از اینجا معلوم می‌شود که در گرم کردن هوای اتاق عملیه جریان مالیکول‌های هوا لازم و مؤثر است. آن نوع انتقال حرارت که در آن مالیکول‌ها و اتوم‌های هوا جای خود را تغییر می‌دهند، به نام جریان حرارت و یا کانوکشن یاد می‌گردد. در مایعات و گازها حرارت به همین طریق هدایت می‌شود. سبب انتقال حرارت از طریق کانوکشن اینست که مالیکول‌های گازها و مایعات به مقایسه جامدات مستقل بوده و تغییر کثافت در آنها که تابع درجه حرارت می‌باشد، سبب بی‌جا شدن اتوم‌ها و مالیکول‌های محیط می‌گردد.

3. در حالی که بین آفتاب و زمین خلا است و کدام محیط مادی وجود ندارد، ولی به طور متداوم حرارت آفتاب به زمین می‌رسد، به این معنا که در صورت عدم محیط مادی انتقال حرارت آفتاب به زمین نه از طریق هدایت صورت می‌گیرد و نه از طریق کانوکشن؛ بلکه به طریقه تشعشع صورت می‌گیرد. در انتقال حرارت از طریق عملیه تشعشع، به محیط مادی منحیث وسیله انتقال ضرورت نیست.

2-1-4: توضیح هدایت (conduction)

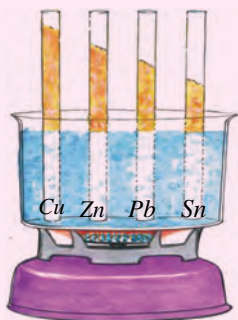
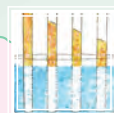
در طریقه هدایت حرارتی، حرارت از یک نقطه جسم به نقطه دیگر آن بدون حرکت حقیقی ذرات و مالیکول‌ها انتقال می‌یابد. طریقه آسان‌تر انتقال حرارت همین طریقه است، زیرا به گونه مقداری توضیح و تشریح شده می‌تواند. در این طریقه، انرژی حرکی ذرات مالیکول‌های جسم گرم‌تر در اثر تماس مستقیم با مالیکول‌های جسم سرد به اجسام انتقال می‌نماید. انرژی حرکی مالیکول‌های جسم گرم به شکل انرژی حرکی اهتزازی اتوم‌ها و مالیکول‌ها است. اتوم‌های جسم سرد در درجه حرارت اتاق در حدود حالت تعادل خویش حرکت اهتزازی را انجام می‌دهند. امپلیتود این اهتزازات از فاصله بین اتوم‌های جسم جامد کوچک‌تر است. اگر یک جسم سرد با جسم گرم‌تر که انرژی حرکی اهتزازی مالیکول‌های آن بیشتر بوده است، در تماس مستقیم واقع شود، انرژی حرکی مالیکول‌های جسم گرم به مالیکول‌های جسم سرد انتقال می‌یابد، و امپلیتود اهتزاز آنها را اضافه‌تر می‌نماید و به این ترتیب، حرارت از یک جسم به جسم دیگر هدایت می‌گردد. اگر جسم جامد فلز یا آهن باشد، الکترون‌های آزاد نیز در ارسال حرارت سهم می‌گیرند. تا حال انتقال حرارت بین دو جسم سرد و گرم توسط هدایت را مطالعه نمودیم. اکنون می‌بینیم که در یک جسم، حرارت از یک نقطه به نقطه دیگر چگونه انتقال می‌یابد؟

وقتی که انجام یک میله فلزی را گرم نماییم، انرژی حرکی مالیکول‌های میله بیشتر گردیده و در نتیجه به امپلیتود بلندتر اهتزاز نموده و انرژی حرارتی از یک مالیکول به مالیکول همجوار انتقال می‌یابد و انتقال حرارت الی انجام دومی میله دوام می‌نماید (بدون آنکه مالیکول‌ها خود شان کدام حرکت انتقالی را انجام دهند، بلکه آنها در موقعیت حالت تعادل با نوسانات خویش ثابت می‌مانند).

حال که با مکانیزم هدایت آشنا شدیم، می‌بینیم که آیا قابلیت هدایت حرارتی تمام اجسام یکسان است یا فرق می‌کند؟ برای دانستن موضوع از یک انجام یک میله مسی گرفته و انجام دیگر آن را بالای آتش می‌گیریم. چند لحظه بعد خواهیم دید که انجام اولی آن که در دست ماست نیز آن قدر گرم می‌شود که دیگر توان گرفتن آن را نخواهیم داشت. اما اگر انجام یک میله شیشه‌یی را در دست گرفته و عین تجربه را اجرا کنیم، خواهیم دید که بعد از مدت زیادی حرارت به انجام دومی آن خواهد رسید، آن هم نه آن قدر حرارت که دست ما را بسوزاند. از این تجربه معلوم می‌شود که اجسام مختلف قابلیت هدایت مختلفه حرارت را دارا می‌باشند.

جهت وضاحت بیشتر، موضوع تجربه ذیل را اجرا می‌کنیم:

فعالیت



شکل (4-1)

در یک ظرف آب جوش مطابق شکل (4-1) میله‌های فلزات مختلف؛ مانند: مس (Cu)، جست (Zn)، قلعی (Sn) و سرب (Pb) را قرار می‌دهیم و روی میله‌ها را توسط ورق نازک موم می‌پوشانیم. موم بر اساس قابلیت هدایت حرارتی هر فلز، گرم می‌شود و به صورت تدریجی به آب شدن آغاز می‌نماید.

اندازه زمانی انتشار حرارت الی انجام هر میله، از آب شدن تدریجی موم آشکار می‌گردد، و مشاهده می‌شود که حرارت به انجام دیگر میله‌ها در اوقات مختلف می‌رسد. از این تجربه به این نتیجه می‌رسیم که هدایت حرارتی اجسام مختلف یکسان نبوده؛ بلکه از همدیگر متفاوت است که به نوع و جنیست ماده مذکور مرتبط می‌باشد.

4-1-3: معرفی درجه‌های حرارت

در فزیک و زنده‌گی روزمره، از انواع درجات حرارت استفاده به عمل می‌آید. ما در این بحث سه نوع درجه حرارت را که خیلی معمولی هستند، معرفی و همچنان از رابطه بین آنها یادآوری می‌کنیم. به تعقیب آن، شما با بعضی پدیده‌های فزیکی؛ مانند: انبساط حرارتی و تعیین درجات حرارت روی صفحات مدرج ترمامیترهای مختلف آشنایی، حاصل خواهید کرد.

4-1-4: درجه حرارت سلسیوس

ساده‌ترین حرارت‌سنج (ترمامیتر سلسیوس)، که به آن ترمامیتر سانتی‌گرید هم می‌گویند، توسط منجم سوئدنی به نام اندرس سلسیوس (Anders Celsius 1744-1701) ساخته شد که از 100 درجه (نقطه انجماد آب) تا صفر درجه (نقطه غلیان آب) درجه بندی شده است. بعدها معکوس این درجه‌بندی یعنی صفر درجه برای انجماد آب و 100 درجه برای غلیان آب، توسط بیولوژی‌دان مشهور کارولوس لینیوس (1778-1707) درجه‌بندی شد. امروز ما درجه حرارت انجماد آب را $0^{\circ}C$ و نقطه غلیان آب را $100^{\circ}C$ در صفحه ترمامیتر می‌خوانیم. طول سکیل بین صفر تا 100 درجه را به صد حصه مساوی تقسیم و هر حصه را یک درجه سانتی‌گرید قبول کرده‌اند. در این ترمامیتر، بالاتر از 100 درجه وجود ندارد؛ اما برای خواندن درجات پایین‌تر از صفر، صفحه ترمامیتر تا $-273^{\circ}C$ نشانی شده است.

4-1-5: درجه حرارت فارنهایت

درجه حرارت فارنهایت توسط گبریل فارنهایت (Gabriel Fahrenheit - 1668-1736) در لابراتوارش، صفر را پایین‌ترین درجه و حرارت بدن انسان را 96 درجه انتخاب کرد. اینکه نامبرده چرا این سکیل را انتخاب کرد تا کنون فهمیده نشده است. اکنون در صفحه (سکیل) ترمامیتر مودرن حرارت بدن انسان به $96,6^{\circ}F$ مطابقت می‌کند. علاوه بر آن در این صفحه (سکیل) انجماد آب با $32^{\circ}F$ و نقطه غلیان آب با $212^{\circ}F$ مطابقت می‌کنند که بر اساس آخرین قرار داد قبول شده، تحول 32 تا 212 درجه فارنهایت با تغییرات حرارت صفر تا 100 درجه سانتی‌گرید مطابقت دارد. به‌خاطر باید داشت که نه تنها درجه‌های فارنهایت با سانتی‌گرید متفاوت است؛ بلکه اندازه آنها نیز با هم فرق دارند.

چون درجات آنها با هم نسبت $\frac{100}{180} = \frac{5}{9}$ را دارد، بنابراین برای تبدیل کردن درجات سلسیوس (T_C) و فارنهایت (T_F) از رابطه خطی $T_F = aT_C + b$ استفاده می‌کنند.

بنا بر تعریف و به اساس رابطه فوق، برای تعیین ثابت‌های a و b $0^{\circ}C$ را به درجه فارنهایت چنین تبدیل کرده می‌توانیم:

$$32^{\circ}F = a(0^{\circ}C) + b = b$$

پس قیمت ثابت b، عبارت از $32^{\circ} F$ می‌باشد. همچنان با وضع نمودن نقطهٔ غلیان، قیمت ثابت a را چنین به دست آورده می‌توانیم:

$$212^{\circ} F = a(100^{\circ} c) + 32^{\circ} F$$

با حل نمودن رابطهٔ اخیر قیمت a چنین به دست می‌آید:

$$a = (212^{\circ} F - 32^{\circ} F) / 100^{\circ} c = \frac{180^{\circ} F}{100^{\circ} c} = 9/5 \frac{F^{\circ}}{c}$$

از یکجا کردن نتایج فوق، رابطه بین درجه‌های سلسیوس و فارنهایت مطابق ذیل به دست می‌آید:

$$T_F = (9/5 \frac{F^{\circ}}{c}) T_C + 32^{\circ} F \dots\dots\dots(1)$$

همین طور، رابطه بین درجه‌های فارنهایت و سلسیوس از رابطه (1) نیز استخراج شده می‌تواند.

$$T_C = (\frac{5}{9} C^{\circ} / F^{\circ}) (T_F - 32^{\circ} F) \dots\dots\dots(2)$$

به طور مثال: برای تبدیل کردن $10^{\circ} c$ به فارنهایت نوشته کرده می‌توانیم:

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32 = 9/5(10) + 32 = 50^{\circ} F$$

مثال: صفحهٔ دایره‌یی یک ترمامیتر به درجات سلسیوس و فارنهایت درجه‌بندی شده است، در صورتی که عقربهٔ فنر در بهار 75 درجهٔ فارنهایت را نشان بدهد:

a- کدام درجهٔ سلسیوس با این درجه مطابقت خواهد کرد؟

b- اگر در زمستان حرارت $-2.0^{\circ} c$ باشد، کدام درجهٔ فارنهایت با آن مطابقت خواهد کرد؟

حل: برای تبدیل درجات حرارت، برای حل جزء a از رابطه $T_C = (5/9)(T_F - 32)$ و برای حل جزء b از رابطه $T_F = 9/5 T_C + 32$ چنین استفاده می‌کنیم:

حل جزء a: قیمت $T_F = 75^{\circ} c$ را در رابطه (2) وضع نموده، داریم:

$$T_C = 5/9(75 - 32) = 24^{\circ} c$$

حل جزء b: با وضع نمودن $T_C = -2.0^{\circ} c$ در رابطه (1) داریم:

$$T_F = \frac{9}{5}(-2.0) + 32^{\circ} = 28.4^{\circ} F$$

تمرین: کدام درجه حرارت است که اندازه آن در صفحات هر دو ترمامیتر یکسان دیده می شود؟

حل: نظر به شرط سؤال:



شکل (2-4)

$$T_F = T_C = t$$

$$t = \frac{9}{5}t + 32$$

$$\frac{-4t}{5} = 32$$

$$t = -40$$

بعد از حل رابطه داریم:

برای امتحان از صحت کار:

با تعویض قیمت $T_F = -40^\circ F$ در رابطه (2) نوشته کرده می توانیم:

$$T_C = (5/9)(-40 - 32) = -40^\circ C$$

پس، $-40^\circ F \approx -40^\circ C$ عین قیمت را دارد که در شکل مثال قبلی، این مطابقت به وضاحت دیده می شود.

سؤال



درجه حرارتی را به فارنهایت محاسبه کنید که قیمت عددی آن با سه چند آن در ترمامیتر سلسیوس مطابقت کند.

6-1-4: درجه حرارت کلونین

سکیل (صفحه مدرج) درجه حرارت کلونین توسط لارد کلونین (Lord Kelvin William Thomson 1824-1907)

فزیکدان اسکاتلندی نام گذاشته شد، که اساس آن را صفر درجه مطلقه تشکیل می دهد. «صفر درجه مطلقه، درجه حرارتی است که در آن گاز اکسیجن تحت فشار منجمد می شود که با حرارت $-273.15^\circ C$ مطابقت می کند».

در حقیقت قیمت $0^{\circ}K$ به طور دقیق همان صفر مطلقه است؛ بنابراین: در این سکیل درجه‌های حرارت منفی وجود ندارند. اندازه درجات سکیل کلوین با درجات سکیل سلسیوس با هم برابر اند. چنانچه گفته شد، صفر درجه مطلقه با $-273.15^{\circ}C$ مطابقت دارد، پس برای تبدیل کردن درجات حرارت بین سکیل‌های سلسیوس و کلوین از رابطه ذیل استفاده می‌شود:

$$T = T_C + 273.15 \quad \dots\dots\dots(3)$$

در رابطه فوق، T درجه حرارت کلوین و T_C درجه حرارت سلسیوس را ارایه می‌کند. خواندن درجات حرارت به سکیل کلوین، نظر به سلسیوس و فارنهایت فرق می‌کند. طبق قرارداد بین‌المللی برای خواندن درجه کلوین، از علامه درجه (°) صرف نظر می‌کنند؛ به طور مثال: $5^{\circ}K$ درجه کلوین را ($5^{\circ}K$) نه بلکه به شکل $5K$ می‌نویسند. هرچند به طور عموم از سکیل‌های سلسیوس و فارنهایت در محاسبات معمولی روزانه بیشتر استفاده می‌شود، ولی در فزیک، کلوین نظر به سکیل‌های دیگر موارد استفاده بیشتر دارد.

تمرین: $55^{\circ}F$ چند درجه کلوین می‌شود؟ حساب کنید.

حل: نخست درجه فارنهایت را به سلسیوس تبدیل می‌کنیم:

$$T_C = 5/9(55 - 32) = 13^{\circ}C$$

اکنون درجه سلسیوس را به کلوین تبدیل می‌کنیم: $T = 13 + 273.15 = 286.15K$

سه سکیل درجات حرارت در شکل (3-4) نشان داده شده. در شکل؛ درجه‌های معمول و مورد نیاز نشانی شده اند که با استفاده از آنها، درجات هر سه سکیل را با هم مقایسه کرده می‌توانید:



شکل (3-4)،

سکیل‌های درجات حرارت

در شکل درجه‌های حرارت مهم و مورد نیاز مانند نقاط انجماد و غلیان آب در هر سکیل دیده می‌شود.

4-2: انبساط حرارتی

اکثر مواد با حرارت دادن انبساط می‌کنند؛ به طور مثال: لاین‌های سیم برق در تابستان داغ به مقایسه‌ی روزهای سرد زمستان، انبساط نموده طویل‌تر می‌شوند. در حقیقت، اکثر ترمامیترها به شمول ترمامیترهای دیواری و طبی که تب مریض را مشخص می‌کنند نیز به همین اساس ساخته می‌شوند. انبساط یک مایع؛ مانند سیماپ یا الکل، سبب می‌شود که ارتفاع مایع در ستون ترمامیتر تغییر نماید و درجات مختلف حرارت را نشان بدهد. در این بحث، ما انبساط حرارتی اجسام را در ابعاد خطی (طول)، سطحی و حجمی به طور مختصر مطالعه خواهیم کرد.

1-2-4: انبساط طولی

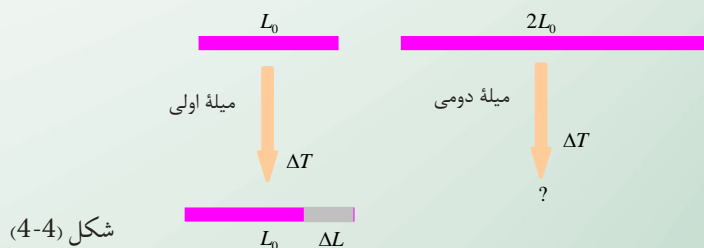
یک میله فلزی به طول L_0 را که دارای حرارت T_0 است در نظر می‌گیریم. تجارب نشان می‌دهد که هرگاه این میله را حرارت دهیم و یا سرد بسازیم، در هر دو حالت تغییرات در طول میله مستقیماً متناسب با تغییرات در درجه‌های حرارت می‌باشد. پس اگر تغییرات درجه حرارت را ΔT و تغییرات طول میله را ΔL بگوییم، این تزايد طول را به ریاضی چنین افاده کرده می‌توانیم:

$$\Delta L = \text{constant } \Delta T$$

ثابت تناسب در رابطه فوق، به نوعیت ماده‌یی که میله از آن ساخته شده مربوط می‌باشد.

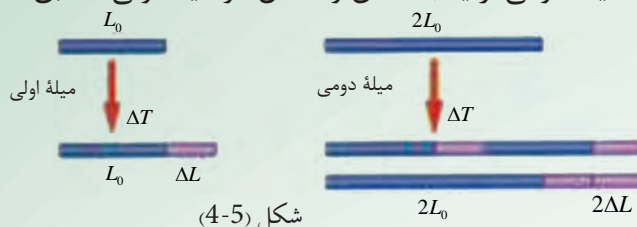
تمرین: هرگاه یک میله را به قدر ΔT حرارت دهیم، طول آن به قدر ΔL زیاد می‌شود و اگر میله دومی را که دو چند میله اولی طول دارد و از عین مواد ساخته شده است به اندازه میله اولی حرارت دهیم آیا از دیاد طول در آن به قدر:

a. ΔL است؟، b. $2\Delta L$ است؟ و یا c. $\Delta L/2$ است؟



استدلال و مباحثه:

فرض می‌کنیم که میلهٔ دومی از یکجا شدن و اتصال دو میلهٔ اولی مطابق شکل ساخته شده است:



وقتی که حرارت به قدر ΔT تزايد نماید، پس طول هر حصهٔ میلهٔ اولی به قدر ΔL انبساط نموده و در نتیجه انبساط مجموعی هر دو میله به قدر $2\Delta L$ خواهد بود، که در حقیقت این اندازه برابر با انبساط کلی میلهٔ دومی می‌باشد. پس (b) جواب صحیح سؤال است؛ یعنی میلهٔ دومی به قدر $2\Delta L$ ، یعنی دو چند میلهٔ اولی، انبساط می‌کند. از حل تمرین به این نتیجه می‌رسیم که: تغییر در طول، مستقیماً هم با طول اصلی L_0 و هم با تغییرات حرارت ΔT متناسب است.

ثابت تناسب را به α نشان می‌دهند که آن را ضریب انبساط طولی می‌نامند. پس انبساط

طولی را میتوان چنین تعریف کرد: $\Delta L = \alpha L_0 \cdot \Delta T$

واحد α در سیستم SI، $K^{-1} = (C^{\circ})^{-1}$ می‌باشد.

جدول ذیل، قیمت‌های α را برای مواد مختلف نشان می‌دهد.

مواد	ضریب انبساط طولی (α) به (K^{-1})
سرب	29×10^{-6}
المونیم	24×10^{-6}
برنج	19×10^{-6}
مس	17×10^{-6}
آهن (فولاد)	12×10^{-6}
کانکریت	12×10^{-6}
شیشهٔ معمولی	11×10^{-6}
شیشهٔ پایرکس	3.3×10^{-6}
کوارتز	0.5×10^{-6}

تمرین:

اگر ارتفاع برج آهنی ایفل در حرارت $22^{\circ}C$ از طرف روز $301m$ باشد، ارتفاع آن در $0^{\circ}C$ در شب چقدر خواهد بود؟

حل: تغییرات در ارتفاع را از رابطه $\Delta L = \alpha L_0 \cdot \Delta T$ چنین می‌توان به دست آورد:

با استفاده از جدول داریم: $\alpha = 12 \times 10^{-6} K^{-1}$

همچنان داریم که: $\Delta T = 22^{\circ}C = 22K$

پس:

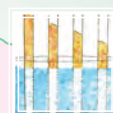
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (12 \times 10^{-6} K^{-1})(301m)(22K)$$

$$\Delta L = 7.9cm$$

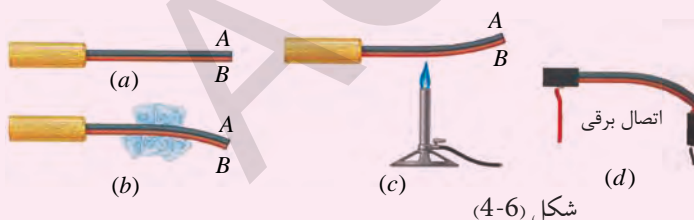
$$L = L_0 - \Delta L = 30100cm - 7.9cm$$

$$L = 300.921m$$

فعالیت



آیا فلزات مختلف در اثر حرارت به طور متفاوت انبساط می‌کنند؟
مواد مورد ضرورت: شمع، تریشه دو فلز



شکل (4-6)

طرز العمل

الف- تریشه‌یی را که از دو فلز مختلف A و B ساخته شده است، ابتدا به در تماس با پارچه‌های یخ قرار دهید، به شکل‌های (b) و (c) نظر انداخته و با گروپ خود روی مشاهدات تان بحث کنید و نتیجه بگیرید که چرا تریشه در جهت‌های متضاد انحنای پیدا می‌کند؟ و بعد میخانیکیت کار اتومات یک اتوی برقی را با استفاده از این اصول در شکل (d) به همصنغان خود تشریح کنید. همچنان بگویید که چه حادثه‌یی رخ می‌دهد که برق اتو به طور اتومات قطع می‌شود؟

ب- با استفاده از آنچه از تجربه آموختید، اکنون تصاویر را مشاهده نموده بگویید که چرا پایپ لینه‌های تبیل یا گاز، پل‌ها و خطوط آهن را در فاصله‌های معین یا قطع و یا حلقه‌ها در آن ایجاد می‌کنند؟ برای توضیحات بیشتر از معلم خود کمک بخواهید.

2-2-4: انبساط حرارتی سطحی

آموختیم که با تغییرات حرارت، طول اجسام تغییر می‌کند. اکنون باید دانست که این تغییرات در طول، طبیعتاً سبب تغییرات در سطح اجسام نیز می‌شود. برای توضیح بیشتر فلز مربع‌شکلی را که طول هر ضلع آن (L) باشد در نظر می‌گیریم. در این صورت، مساحت اصلی این مربع $A = L^2$ می‌باشد. اگر حرارت این مربع به قدر ΔT تزايد نماید، در آن صورت هر ضلع این مربع به قدر ΔL تزايد نموده است. در نتیجه برای هر ضلع می‌توان نوشت:

$$L + \Delta L = L + \alpha L \Delta T$$

پس مساحت نهایی مربع را این‌طور حساب کرده می‌توانیم:

$$\begin{aligned} A' &= (L + \Delta L)^2 = (L + \alpha L \Delta T)^2 \\ &= L^2 + 2\alpha L^2 \Delta T + \alpha^2 L^2 \Delta T^2 \end{aligned}$$

اکنون اگر در نتیجه تغییرات، اندازه $\alpha \Delta T$ بسیار کوچک باشد، پس در تغییرات کوچک $\alpha^2 L^2 \Delta T^2$ ، از آن بسیار کوچک‌تر بوده و با صرف نظر از آن درمی‌یابیم که:

$$A' \approx L^2 + 2\alpha L^2 \Delta L = A + 2\alpha A \Delta T$$

در نتیجه، قیمت تغییر در ΔA را چنین می‌توان نوشت: $\Delta A = A' - A \approx 2\alpha A \Delta T$

اگر توجه کنید، دیده می‌شود که بین رابطه انبساط طولی و انبساط سطحی تشابه کامل وجود دارد، فقط در اینجا طول در فورمول با مساحت عوض شده و ضریب انبساط (α) هم دو چند گردیده. این محاسبه به طور نمونه در یک مساحت مربع صورت گرفت، در حالی که این رابطه بالای هر نوع سطح قابل تطبیق می‌باشد؛ به طور مثال: اگر مساحت یک دایره ($A = \pi r^2$) مورد نظر باشد، در این صورت نیز تزايد مساحت ΔA در اثر تزايد حرارت Δt همان $2\alpha A \Delta t$ خواهد بود.

تحقیق کنید

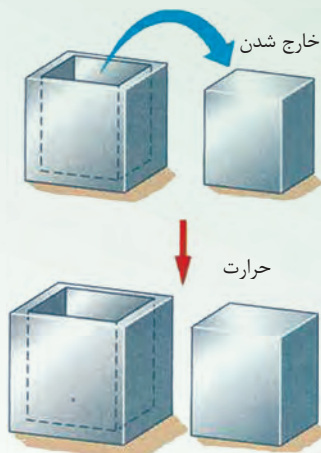


یک و اشر در وسط خود دارای یک سوارخ حلقه‌یی است. اگر به این و اشر حرارت داده شود، آیا سوارخ و اشر:

a. انبساط می‌کند؟ b. انقباض می‌کند؟ c. در حالت اول باقی می‌ماند؟

تجربه کنید و درباره نتیجه توضیح دهید.

4-2-3: انبساط حجمی



شکل (4-7)

از تحقیق درس قبل حتماً نتیجه گرفته‌اید که با حرارت دادن، مساحت سوراخ افزایش می‌یابد. آیا فکر می‌کنید که حجم خالیگاه ظرف یا یک پیاله هم به اثر حرارت دادن افزایش خواهد یافت؟ چنانچه در شکل (4-7) مشاهده می‌کنید، یک بلاک که قسمتی از داخل مکعب است، از مکعب جدا شده است. بعد از حرارت دادن سیستم دیده می‌شود که همزمان با ازدیاد حجم داخل مکعب، در حجم بلاک هم افزایش به عمل می‌آید و مانند حالت اول، بلاک در مکعب داخل شده می‌تواند.

اکنون برای محاسبه تغییرات حجم مکعب می‌دانیم که اگر طول اصلی ضلع مکعب را L بگوییم، حجم آن $(V = L^3)$ می‌باشد. تزايد درجه حرارت منتج به تزايد حجم مکعب گردیده که آن را چنین می‌توان حساب کرد:

$$V' = (L + \Delta L)^3 = (L + \alpha L \Delta T)^3 \\ = L^3 + 3\alpha L^3 \Delta T + 3\alpha^2 L^3 \Delta T^2 + \alpha^3 L^3 \Delta T^3$$

با صرف نظر از قیمت‌های کوچک دو حد اخیر معادله $3\alpha^2 L^3 \Delta T^2 + \alpha^3 L^3 \Delta T^3$ خواهیم داشت:

$$V' = L^3 + 3\alpha L^3 \Delta T = V + 3\alpha V \Delta T$$

پس تغییرات حجمی ΔV را چنین به دست می‌آوریم: $\Delta V = V' - V \approx 3\alpha V \Delta T$ رابطه اخیر برای هر نوع حجم دیگر قابل تطبیق است.

پس به طور عموم، انبساط طولی نیز مانند انبساط حجمی توضیح شده می‌تواند با این تفاوت که، ضریب انبساط حجمی برابر با 3α است و آن را به حرف β نشان می‌دهند و چنین تعریف می‌کنند:

$$\Delta V = \beta V \Delta T = 3\alpha V \Delta T$$

واحد β در سیستم SI، $K^{-1} = (^\circ C)^{-1}$ است.

قیمت‌های β را برای برخی مایعات در جدول ذیل دیده می‌توانید:

مواد	ضریب انبساط حجمی (B) به (K^{-1})
ایتر	1.51×10^{-3}
کاربِن تتراکلوراید	1.18×10^{-3}
الکول	1.01×10^{-3}
بنزین	0.95×10^{-3}
تیل زیتون	0.68×10^{-3}
آب	0.21×10^{-3}
سیماب	0.18×10^{-3}

به یاد داشته باشید که چون تغییر نیز حرارت $1^\circ C$ ، عین قیمت تغییر درجه حرارت $1k$ را دارد، در انبساط حرارتی اجسام نیز تغییر درجه حرارت Δt می‌تواند همزمان به سکیل درجه حرارت سلسیوس و یا کلوین ارایه شود.

مثال: یک فلاسک مسی که $150cm^3$ حجم دارد، تالیه آن از تیل زیتون پر شده است. اگر درجه حرارت سیستم از $6^\circ C$ به $31^\circ C$ تزايد نماید، به چه اندازه تیل از فلاسک بیرون خواهد ریخت؟

حل: $\Delta T = 25^\circ C = 25k$

در سیستم به فلاسک و به تیل زیتون هم زمان حرارت داده شده است. پس انبساط تیل و فلاسک را به طور جداگانه چنین محاسبه می‌کنیم:

با استفاده از جدول قبلی، دیده می‌شود که تیل زیتون نسبت به فلاسک مسی بیشتر انبساط نموده و سبب ریختن تیل از فلاسک می‌شود. برای دریافت تغییرات حجمی تیل زیتون می‌توانیم بنویسیم:

$$\begin{aligned}\Delta V_{oil} &= \beta_v \Delta T \\ &= (0.68 \times 10^{-3} k^{-1})(150cm^3)(25k) = 2550 \times 10^{-3} cm^3 \\ &= 2.55cm^3\end{aligned}$$



شکل (4-8)

اکنون تغییرات حجمی فلاسک را چنین حساب می‌کنیم:

$$\begin{aligned}\Delta V_{flask} &= 3 \alpha_v \Delta T \\ &= 3(17 \times 10^{-6} k^{-1})(150 cm^3)(25k) \\ &= 0.19 cm^3\end{aligned}$$

فرق تغییرات حجمی فلاسک و تیل قرار ذیل است:

$$\Delta V_{oil} - \Delta V_{flask} = 2.6 cm^3 - 0.19 cm^3 = 2.4 cm^3$$

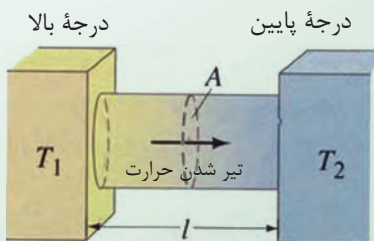
این فرق ($2.4 cm^3$) عبارت از حجم تیلی است که از فلاسک بیرون ریخته شده. **تبصره!** اگر سیستم عوض گرم شدن، سرد می‌شد، در آن صورت حجم تیل نسبت به فلاسک بیشتر و به سرعت باخته می‌شد و در نتیجه، سطح تیل زیتون در فلاسک پایین می‌آمد.

تمرین: فرض کنید این بار فلاسک را تا لبه، عوض زیتون از بنزین پر می‌کنید. چه انتظار دارید؛ آیا با دادن حرارت $20^\circ C$ به سیستم، بنزین باز هم برابر به همان حجم زیتون از فلاسک بیرون خواهد ریخت و یا کمتر و یا بیشتر از آن؟ حجم بنزین را حساب نموده با حجم قبلی مقایسه کنید.

جواب: بنزین بیشتر می‌ریزد، $\Delta V = 2.85 cm^3$

3-4: گرادینت درجه حرارت

برای شناخت بهتر هدایت حرارتی در طول یک میله استوانه‌ای، انتشار حرارت را در نظر می‌گیریم. طبق شکل (4-9) دو مقطع A یک میله استوانه‌ای را که به فاصله L یکی از دیگری دور و درجه حرارت هریک به ترتیب T_1 ، T_2 است، در نظر می‌گیریم. تجربه نشان می‌دهد که در وقتی dt از مقطع A حرارت dQ می‌گذرد. درین حالت اندازه جریان حرارت، $\frac{dQ}{dt}$ است. این اندازه به نام «جریان حرارت» یاد شده و به H نشان داده می‌شود.



شکل (4-9)

تجربه نشان می‌دهد که جریان حرارت $H = \frac{dQ}{dt}$ بالمقابل یا به طور مستقیم با مقطع مساحت A و تفاوت درجه حرارت $T_2 - T_1$ و به طور معکوس با فاصله L متناسب است. ضریب تناسب k به نام «هدایت حرارتی ماده» یا جسم یاد می‌گردد.

$$H = \frac{dQ}{dt} = KA \frac{T_2 - T_1}{L}$$

تفاوت نسبت درجه حرارت بر واحد طول، یعنی کمیت $\frac{T_2 - T_1}{L}$ ، به نام «گرادینت درجه حرارت» یاد می‌شود. گرادینت درجه حرارت یک کمیت منفی است؛ زیرا حرارت به طرف کاهش (کمی) حرکت می‌کند، یعنی از حرارت درجه بالا به طرف حرارت درجه پایین جریان می‌نماید. در رابطه فوق، قیمت عدد k به نوع جسم مربوط است. موادی که k آنها زیاد باشد هادی بهتر حرارت و آنهایی که k آنها کم است، هادیان خراب و یا عایق هستند. در هر نوع جسم متجانس که مساحت مقطع آن در همه نقاط یکسان است، جریان حرارت بر مساحت مقطع A عمود می‌باشد. واحد جریان حرارت H در سیستم SI ژول بر ثانیه یا وات است. اگر معادله آخری را نسبت به k حل نماییم، پس داریم که:

$$K = \frac{dQ \cdot L}{A(T_2 - T_1)dt}$$

از رابطه فوق واحد k در سیستم SI، $\frac{cal}{cm \cdot c^\circ \cdot s}$ و یا: $\frac{w}{m \cdot k} = \frac{J \cdot m}{m^2 \cdot k \cdot s}$ است.

مثال: در یک صنف، مساحت هر شیشه کلکین $450cm^2$ و ضخامت آنها $5mm$ است. اگر بیرون از صنف، درجه حرارت $15c^\circ$ و در داخل صنف درجه حرارت $25c^\circ$ باشد، مقدار حرارتی را که در جریان ده دقیقه از شیشه‌ها خارج می‌گردد محاسبه نمایید.

حل: $\Delta Q = ?$

$$T_2 - T_1 = 25^\circ \text{C} - 15^\circ \text{C} = 10^\circ \text{C}$$

$$A = 450 \text{ cm}^2$$

$$L = 5 \text{ mm} = 0,5 \text{ cm}$$

$$t = t_2 - t_1 = 10 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$k = 0,0024 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$$

داریم که:

$$Q = K \frac{A(T_2 - T_1) \times t}{L}$$

$$\Delta Q = \frac{KA(T_2 - T_1) \times \Delta t}{L}$$

$$\Delta Q = \frac{0,0024 \times 450 \times 10 \times 600}{0,5}$$

$$\Delta Q = 2,160 \times 6000 = 12,960 \text{ cal}$$

$$\Delta Q = 12,960 \text{ cal}$$

جدول قیمت‌های عددی هدایت حرارتی بعضی از مواد:

مواد	K به $(\frac{w}{m \cdot k})$	مواد	K به $(\frac{w}{m \cdot k})$	مواد	K به $(\frac{w}{m \cdot k})$
فلزات		اجسام جامد مختلف		گازها	
آلومینیم	205.0	شیشه	0.8	هوا	0.024
برونز	109.1	یخ	1.6	ارگون	0.016
مس	385.5	کنکریت	0.8	هلیوم	0.14
سرب	34.7	چوب	0.2-0.4	هایدروجن	0.14
زرسفید	406.0	پشم (نمد)	0.04	اکسیجن	0.023
پولاد	50.2				

در جدول دیده شود که از جمله فلزات، زر سفید از همه بیشتر هدایت حرارتی را دارا می‌باشد. غیرفلزات به صورت عموم هدایت حرارتی کمتر دارند. آب و مواد آبگین دیگر یا مایعات، هادی خوب حرارت نبوده و گازها هم هدایت حرارتی کوچک دارند. موادی که هدایت برقی آنها زیاد است، هدایت حرارتی آنها نیز بیشتر می‌باشد. برای اکثر فلزات، نسبت بین هدایت برقی و هدایت حرارتی ثابت است که این حقیقت تجربی به نام قانون ویدمن فرانس (Wiedemann - Franz) یاد می‌گردد. از این قانون معلوم می‌شود که میخانیکیت هدایت برق و هدایت حرارتی هر دو یکسان است.

از تفاوت هدایت حرارتی اجسام جامد در زنده‌گی روزمره استفاده زیاد صورت می‌گیرد. فلزات از همه هادی خوب‌تر حرارت و چوب، نمد، شیشه، گرانیت، پنبه، پشم، پلاستیک سیاه و ابره‌ادی‌های بسیار خفیف و یا عایق اند. ظروف پختوپز مثل دیگ، تاوۀ نان‌پزی، چای‌جوش، چای‌نک و غیره از فلزات ساخته شده‌اند؛ زیرا با داشتن هدایت خوب حرارتی، در وقت و حرارت کم، مواد خوراکی در آنها پخته می‌شود. اما دسته‌های ظروف فوق را از چوب و یا پلاستیک می‌سازند تا هنگام برداشتن از بالای آتش، به دلیل اینکه چوب و پلاستیک عایق حرارت هستند، دست‌های ما را نسوزانند. یخدان‌های شیرخ و آیس‌کریم از دو دیوار قلعی و آهن ساخته می‌شوند و فضای بین دیوارها را از نمد و یا کدام ماده عایق دیگر پُر می‌کنند که هادی‌های ضعیف حرارت بوده و نمی‌گذارند که حرارت محیط در آن داخل شود. لباس‌های پشمی، هادی ضعیف حرارت بوده و بدین لحاظ بدن انسان را در زمستان گرم نگه می‌دارد و نمی‌گذارد حرارت بدن به محیط بیرونی انتقال یابد.

در مقایسۀ با یک پیراهن، دو پیراهن که از یک نوع تکه ساخته شده باشند، وجود انسان را در موسم سرما گرم‌تر نگه‌میدارد؛ زیرا در بین دو پیراهن یک قشر نازک هوا تشکیل گردیده، و چون هوا هادی ضعیف حرارت است، حرارت بدن به فضا انتقال نمی‌کند. در کشورهایی که زمستان بسیار سرد دارند، به کلکین‌های تعمیرات و اتاق‌ها دو شیشه می‌دهند، به این ترتیب که بین هر دو شیشه چند سانتی‌متر فاصله موجود بوده باشد. فضای بین شیشه‌ها که از هوا پُر و هوا هم هادی ضعیف حرارت است، نمی‌گذارد که هوای گرم اتاق بیرون انتقال کند و بدین ترتیب، از سرد شدن هوای اتاق جلوگیری می‌شود. از این روش در کشورهایی که هوای آن گرم است نیز استفاده به عمل می‌آید؛ زیرا از طریق این کلکین‌ها هوای گرم محیط هم به اتاق‌ها داخل نمی‌گردد و اتاق‌ها سرد باقی می‌ماند.

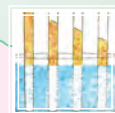
1-3-4: انتقال حرارت به واسطه جریان (کانوکشن)

به آسانی می‌توانیم از طریق کانوکشن، انتقال حرارت را با بی‌جا کردن و به حرکت درآوردن ذرات جسم گرم مشاهده نماییم. با حرکت دادن جسم گرم از یکجا به جای دیگر، جسم مذکور حرارت را نیز با خود انتقال می‌دهد. در عملیه کانوکشن، یک کتله هوا و یا ذخایر آب که در یکجا گرم شده‌اند، به جای دیگر انتقال داده می‌شوند. کانوکشن پروسه‌یی ست که در آن حرارت از یکجا به جای دیگر توسط حرکت واقعی ذرات یا مالیکول‌های گرم انتقال می‌یابد.

2-3-4: توضیح کانوکشن

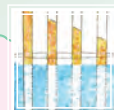
از همه اول‌تر قابل تذکر است که انتقال حرارت از طریق کانوکشن، تنها در مایعات و گازها صورت می‌گیرد. وقتی که به مایعات و یا گازها از سمت پایین حرارت داده شود، انتقال حرارت خود به خود صورت انجام می‌شود و چون کثافت طبقه پایانی مایع گرم، از سبب انبساط حجم آن کم می‌شود، مالیکول‌های قسمت تحتانی مایع به طرف بالا رفته و با مالیکول‌های سرد طبقه بالا یکجا می‌شود و آنها را نیز گرم می‌کند، و در عوض آن، مالیکول‌های سرد بالا که کثافت آن زیاد است، به طبقه پایین آمده و اینها هم به نوبه خویش گرم می‌شوند، که این جریان به همین شکل ادامه می‌یابد. در گازها هم انتقال حرارت از طریق کانوکشن به همین ترتیب صورت می‌گیرد. هنگامی که یک جسم گرم در جریان هوا قرار می‌گیرد، مالیکول‌های هوا را گرم نموده و هوای گرم که کثافت آن کم است، به طرف بالا می‌رود و هوای سرد جای آن را می‌گیرد. برای فهم بهتر کانوکشن، شاگردان تجربه آسان ذیل را انجام دهند:

فعالیت



دروازه یک اتاق گرم را کمی باز و یا نیم‌کش نمایید. اکنون یکی از شاگردان یک شمع روشن را در حصه بالای دروازه به دست بگیرد. شما خواهید دید که شعله شمع به طرف بیرون اتاق کج می‌شود. این به آن معنا است که هوای گرم اتاق که از سبب کمی کثافت در قسمت بالای اتاق قرار دارد، از اتاق خارج می‌گردد. این بار شاگردان همان شمع را در حصه پایین دروازه به دست بگیرند. در این حالت شما خواهید دید که شعله شمع به سمت داخل اتاق کج می‌شود. این نشان می‌دهد که هوای سرد بیرون در داخل اتاق می‌گردد. بدین ترتیب شاگردان به آسانی می‌توانند جریان (کانوکشن) حرارت را در گاز (هوا) به چشم‌های خود ببینند.

در تجربه ذیل، انجام شدن پروسه کانوکشن را در مایعات مشاهده کنید:



فعالیت

در یک ظرف شیشه‌یی (فلاسک) که از آب پر باشد، یک مقدار پودر $KMnO_4$ را انداخته و به فلاسک حرارت بدهید. مشاهده خواهید کرد که خط‌ها و یا رگ‌های رنگه آب به طرف بالا می‌رود و در جوانب فلاسک به حرکت می‌افتند.



در عمق و یا قاعده ظرف، آب گرم شده و به سمت بالا حرکت می‌کند. در عوض از طرف بالا آب یخ به قاعده فلاسک آمده، گرم می‌شود و دوباره به سمت بالا صعود می‌نماید. هر مالیکول آب یا مایع به نقطه گرمی رسیده، حرارت می‌گیرد و دوباره به طرف بالا حرکت می‌کند، که ما این‌همه را به شکل خطوط رنگه آب مشاهده می‌نماییم.

شکل (10-4)

3-3-4: انواع کانوکشن

کانوکشن دو نوع است: اجباری (مصنوعی) و مستقل (طبیعی). در کانوکشن اجباری بالای مواد گرم کار صورت می‌گیرد تا حرارت به جاهای گرم انتقال داده شود. مثلاً پکه کردن آتش یا ذغال تازه و یا هم پمپ کردن آب گرم در سیستم مرکزگرمی تعمیرات.

در سیستم مرکزگرمی، آب گرم از بایلر به مرکزگرمی تعمیرات پمپ می‌شود تا در آنها جریان پیدا کند و این آب گرم حرارت خویش را از طریق کانوکشن توسط نل‌ها به تعمیرات انتقال می‌نماید. نوع دوم، کانوکشن طبیعی یا مستقل است. این نوع کانوکشن از اثر تفاوت کثافت یا فشار هوای دو محیط گرم و سرد به وجود می‌آید. منطقه گرم دارای کثافت کم یا فشار کم است و منطقه سرد کثافت زیاد و یا فشار زیاد دارد. از این سبب، هوا به قسم طبیعی و بدون مداخله عامل خارجی، از نواحی‌یی که دارای کثافت زیاد (فشار بلند) است، به مناطق حاوی کثافت کم (فشار پایین) جریان پیدا می‌کند که این جریان به نام «باد» یاد می‌شود. به عبارت دیگر، هوای گرم بلند رفته و هوای سرد جای آن را می‌گیرد، که در نتیجه آن جریان هوا (باد) به وجود می‌آید. کانوکشن در هواشناسی (میترولوژی) نقش مهم دارد؛ به وجود آمدن بادهای به جز بلند رفتن هوای گرم و پایین آمدن هوای سرد، چیز دیگری نیست.

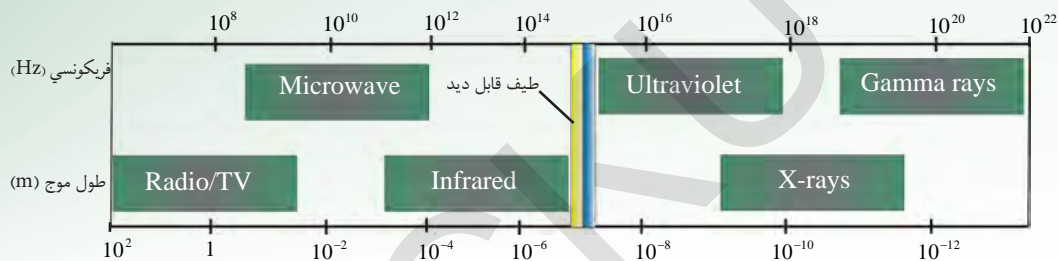
4-3-4: انتقال حرارت به وسیله تشعشع (Radiation)

طریقه دیگری که توسط آن حرارت منتشر می‌گردد، تابش (تشعشع) است. مثلاً هنگامی که دست خود را زیر گروپ برق قرار دهیم، احساس گرمی می‌کنیم. این عمل نشان می‌دهد که دست ما انرژی تشعشعی را جذب می‌کند. انتقال این انرژی توسط هدایت صورت نگرفته است، زیرا هواهای ضعیف حرارت است. همچنین انتقال این انرژی توسط کنویکشن صورت نمی‌گیرد، زیرا هوای گرم به طرف بالا صعود می‌کند. انتقال حرارت از یکجا به جای دیگر از طریق تشعشع بدون محیط مادی صورت می‌گیرد، یا به عبارت دیگر، حرارت از طریق تشعشع، به خلأ هم انتقال می‌کند. حرارت آفتاب تنها از همین طریق به زمین می‌رسد. اگر این طور نمی‌بود، زمین توسط آفتاب گرم شده نمی‌توانست.

انرژی حرارتی آفتاب توسط هدایت و کنویکشن به زمین نرسیده، بلکه توسط یک نوع از امواج الکترومغناطیسی منتقل می‌گردد. امواج الکترومغناطیسی به اشکال مختلف منتشر می‌گردد، مانند امواج رادیو، اشعه ماورای بنفش، اشعه (x) ، اشعه گاما (γ) و اشعه تحت قرمز. یگانه فرق در ماهیت اصلی این امواج عبارت از طول موج اینهاست، چنانچه طویل‌ترین طول موج را امواج رادیو و کوتاه‌ترین طول موج را اشعه گاما که $(0,01\text{\AA})$ است و از مواد رادیواکتیو تولید می‌شود، دارد.

تشعشع حرارتی توسط اشعه تحت قرمز منتقل می‌گردد. وقتی که این تشعشعات به پارچه سنگ و یا اجسام دیگر بتابد، مالیکول‌های آن به اهتزاز درآمده و باعث تولید حرارت می‌شود، و از همین سبب است وقتی که اشعه آفتاب به وجود انسان می‌رسد، انسان احساس گرمی می‌کند. در طیف نور سفید علاوه بر رنگ‌های مرئی (هفت رنگ طیف)، اشعه غیر مرئی نیز وجود دارد. این اشعه در دو طرف طیف مرئی واقع گردیده است، قسمتی که قبل از اشعه قرمز قرار گرفته، اشعه تحت قرمز و قسمتی که پس از بنفش است، اشعه ماورای بنفش نامیده می‌شود. اشعه تحت قرمز بین طول موج‌های $0,8\mu$ و 343μ قرار دارد.

در اشعه تحت قرمز طول موج‌های کوتاه‌تر از $1,5\mu$ از جلد خارج می‌شود و بقیه جذب شده و تولید حرارت می‌کند، طول موج‌های بلندتر از 4μ به وسیله اغلب مواد جذب می‌شود. به طور خلاصه در هدایت، انتقال انرژی حرارتی از یک مالیکول به مالیکول دیگر در اثر تصادم مالیکول‌ها صورت می‌گیرد. در کنویکشن انتقال انرژی حرارتی با مالیکول‌ها همزمان صورت می‌گیرد و در انتقال حرارت از طریق تابش (تشعشع)، امواج الکترومغناطیسی انرژی را از اجسام داغ به اجسام سرد می‌رسانند که این نوع انتقال انرژی در خلا هم امکان‌پذیر است.



شکل (4-11)

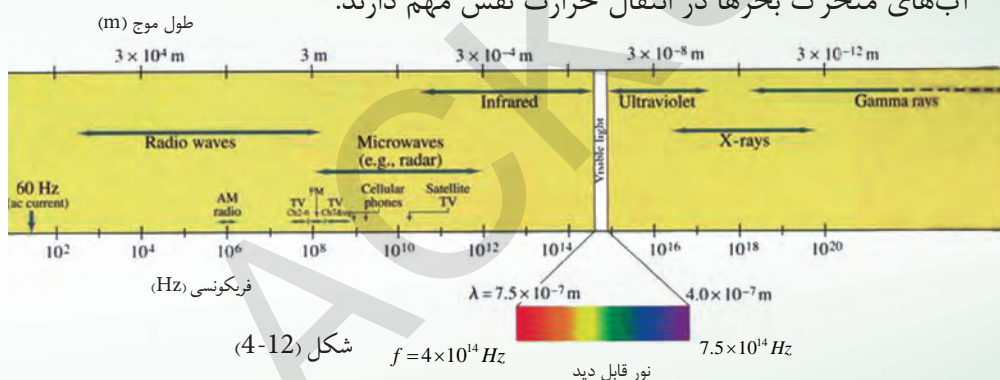
طبق نظریهٔ ماکسویل، تشعشع حرارتی از جسم گرم به جسم سرد در محیط غیر مادی عبارت از انتقال حرارت می‌باشد.

تشعشع حرارتی مانند تشعشع نور، یک موج الکترومغناطیسی است که به سرعت نور پخش می‌گردد و از تمام قوانین تشعشع نور پیروی می‌کند. از این سبب، مطالعهٔ تشعشع حرارتی به فیزیک نور ارتباط دارد. بنابراین از تفصیل زیاد خودداری نموده و تنها چند نقطهٔ مهم یادآوری می‌کنیم.

هر جسم گرم، حرارت خود را به قسم تشعشع از دست می‌دهد و هم تشعشع حرارتی را جذب می‌نماید. وقتی که درجهٔ حرارت جسم با درجهٔ حرارت محیط چهار اطرافش مساوی گردد، گفته می‌شود که جسم با محیط اطرافش در تعادل حرارتی قرار دارد. جسمی که از اثر تشعشع حرارت زیاد را جذب نماید، در این حالت درجهٔ حرارت جسم مذکور بلند رفته و گرم می‌شود. وقتی که یک جسم از طریق تشعشع آن قدر حرارت را از دست بدهد که نسبت به حرارت جذب شده از محیط اطرافش بیشتر باشد، در آن صورت جسم سرد می‌گردد.

تشعشع حرارتی دارای مشخصات ذیل است:

- 1 - تشعشع حرارتی دارای طبیعت موج الکترومقناطیسی است و در خلأ قابلیت انتشار را دارد، به محیط مادی احتیاج نداشته و به سرعت نور پخش می‌گردد.
- 2 - تشعشع حرارتی هم مثل نور در امتداد خط مستقیم منتشر می‌شود.
- 3 - تشعشع حرارتی از قانون مربع معکوس پیروی می‌نماید، یعنی شدت تشعشع با مربع فاصله به طور معکوس متناسب است.
- 4 - تشعشع حرارتی مانند امواج نوری؛ انعکاس، انکسار، تداخل، تفرق و استقطاب می‌نماید. طول موج تشعشع حرارتی در طیف الکترومقناطیسی از طول موج رنگ سرخ طول‌تر بوده و به نام infrared یاد می‌شود. طول موج تشعشع حرارتی در طیف الکترومقناطیسی از $8 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$ الی 0.04 cm است. باید گفت که تغییرات اقلیم و درجه حرارت یک محیط و جریان کتله‌های آب بحرهای نقش تعیین کننده را بازی نموده است. این آب‌های متحرک بحرهای در انتقال حرارت نقش مهم دارند.



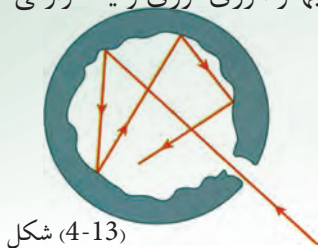
4-3-5: مقادیری که بر جذب حرارت تأثیر می‌گذارد

تجارب مختلف نشان می‌دهد که در یک زمان معین، مقدار انرژی تابشی (تشعشعی) منتشر شده از یک جسم، مربوط به جنسیت و درجه حرارت آن جسم می‌باشد. بنابراین مقدار انرژی تشعشعی منتشره در یک ثانیه از واحد سطح را به نام قدرت انتشار (Emissive Power) یاد می‌کنند. زمان که تشعشع به جسم رسید، مقداری از آن بدون انتقال جذب می‌گردد و مقدار باقی مانده آن منعکس می‌شود. نسبت انرژی جذب شده بر مجموع انرژی وارده، به نام قابلیت جذب (Absorbotivity) یاد می‌شود. اگر انرژی مجموعی وارده را به E_1 و انرژی جذب شده را به E_2 و قابلیت جذب را به ε نشان دهیم، در این صورت داریم که:

$$\varepsilon = \frac{E_2}{E_1}$$

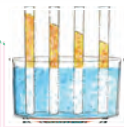
4-4: جسم سیاه مطلق

جسم سیاه مطلق به جسمی گفته می‌شود که به صورت مکمل تمام نور وارد شده بر آن بدون در نظر گرفتن جهت، ساختار طیفی و قطبی شدن، توسط آن جذب شده و کوچک‌ترین قسمت آن را نه منعکس نموده و نه هم از خود عبور می‌دهد. قابلیت انتشار (e) جسم سیاه مطلق مساوی به یک است که به نام «جاذب ایدئال» نیز یاد می‌گردد. یک جاذب ایدئال، تشعشع کننده خوب هم است. اگر چه در طبیعت جسم سیاه مطلق موجود نیست، ولی مثال آن عبارت از کره میان خالی‌یی است که در یک قسمت آن، یک شگاف بسیار کوچک وجود دارد و سطح داخلی آن سیاه شده است. اگر مطابق شکل (4-13) شعاع نور را از طریق این سوراخ بر کره وارد نماییم، شعاع مذکور بعد از چندین مرتبه انعکاس توسط سطح داخلی کره جذب می‌شود. به عبارت دیگر، جسم دارای سطح جذب کننده و منتشر دهنده بهتر انرژی نوری و یا حرارتی، به نام جسم سیاه یاد می‌گردد.



شکل (4-13)

هنگامی که جسم سیاه سرد باشد، تشعشع را منتشر نمی‌کند؛ ولی وقتی که گرم باشد، در مقایسه با هر جسم دیگری که در همان درجه حرارت واقع باشد، تشعشع حرارتی بیشتر را انتشار می‌دهد.



فعالیت

دو عدد ترمامیتر A و B را در بین یک فلاسک که هوای آن تخلیه شده باشد (تا عمل کنویکشن صورت نگیرد) قرار شکل (4-14) قرار داده و آن را در مقابل شعاع آفتاب می‌گذاریم. در صورتی که هر دو ترمامیتر دارای ابعاد مساوی و از یک ماده ساخته شده باشند، مشاهده خواهید کرد که هر دو به یک اندازه حرارت اخذ می‌نمایند. اما اگر ترمامیتر A سیاه رنگ شود و ترمامیتر B توسط نقره ملمع کرده شود، در آن صورت ترمامیتر A نسبت به B تشعشعات بیشتر را جذب کرده و در نتیجه، درجه حرارت ترمامیتر A نسبت به B به سرعت بلند می‌رود. ترمامیتر سیاه شده تقریباً 97 فیصد تشعشع وارده را جذب می‌کند؛ در حالی که ترمامیتر B تقریباً 10 فیصد تشعشع را جذب می‌نماید. در مرحله دوم، هر دو ترمامیتر را از بین فلاسک کشیده و داخل یخچال قرار دهید.



شکل (4-14)، دو عدد ترمامیتر A و B داخل فلاسک

درجه حرارت ترمامیتر A که سیاه است، نسبت به ترمامیتر B که سفید است به سرعت پایین آمده و سقوط می‌کند. بنابراین نتیجه می‌گیریم: اجسامی که تشعشع را خوب جذب می‌کنند، انتشار دهنده خوب نیز می‌باشند و همیشه مقدار جذب تشعشع، مساوی با مقدار انتشار آن می‌باشد.

4-5: قانون تشعشع

اشکال (a) و (b) در شکل (4-15) نشان می‌دهد که: اگر مقدار انرژی تشعشعی وارده در واحد وقت در فی واحد سطح بالای هر دو ترمامیتر A و B که قبلاً در تجربه مشاهده کردید مساوی باشد، $0_1 E$ و $0_2 E$ مقادیر انرژی تشعشعی جذب شده در واحد سطح اند و اگر مقدار انرژی‌هایی را که در آنها منعکس می‌شود، به $r_1 E$ و $r_2 E$ و همچنان مقدار انرژی منتشره را در فی واحد سطح به s_1 و s_2 نشان دهیم، در این صورت داریم که:

$$E = o_1 E + r_1 E$$

$$E = E(o_1 + r_1) \Rightarrow o_1 + r_1 = 1$$

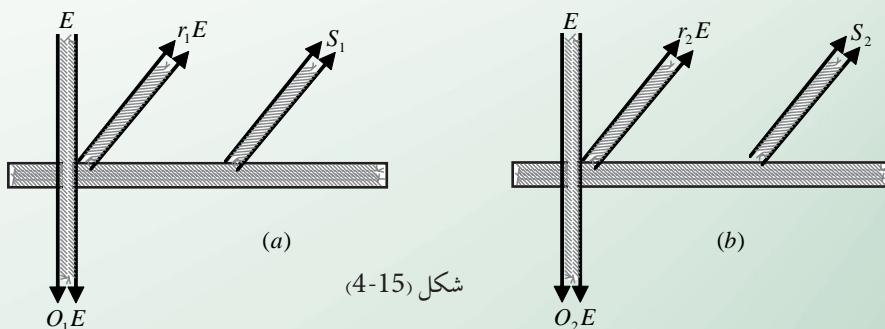
$$\text{و همچنان: } E = o_2 E + r_2 E \Rightarrow o_2 + r_2 = 1$$

$$\text{از طرف دیگر: } o_1 E = s_1 \text{ و } o_2 E = s_2$$

$$\text{پس از وضع قیمت‌ها می‌توان نوشت: } E = \frac{s_1}{o_1} \dots\dots(1) \text{ و } E = \frac{s_2}{o_2} \dots\dots(2)$$

$$\text{از مقایسه روابطه (1) و (2) به مشاهده می‌رسد که: } \frac{o_1}{o_2} = \frac{s_1}{s_2} \text{ و یا: } \frac{s_1}{o_1} = \frac{s_2}{o_2}$$

رابطه اخیر به اثبات می‌رساند که نسبت مقدار تشعشعات جذب شده و نسبت مقدار تشعشع منتشر شده هر یک از دو سطحی که جنسیت‌شان یکی و درجه حرارت آنها ثابت است، با هم مساوی اند. مسلماً قابلیت جذب در مواد مختلف تغییر می‌کند، بنابراین اجسامی که دارای رنگ سیاه باشند، قابلیت جذب آنها نزدیک به واحد است، یعنی تقریباً تمام انرژی تشعشعی را جذب کرده و انعکاس صورت نمی‌گیرد، و اجسامی که تمام انرژی تشعشعی را جذب کنند، به نام جسم سیاه (Black body) یاد می‌شوند.



1-5-4: قانون وین (Wien's Law)

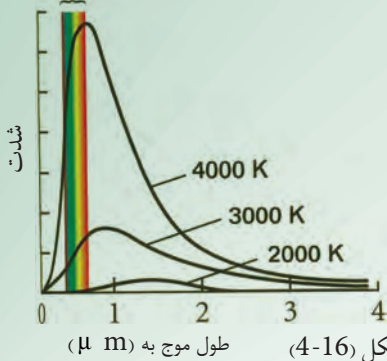
طول اعظمی موج تشعشع جسم سیاه با درجه حرارت مطلق تشعشع مذکور به طور معکوس متناسب است، یعنی:

$$\lambda_m \propto \frac{1}{T} \Rightarrow \lambda_m = K \cdot T^{-1}$$

و یا: $K = \lambda_m T = 2.9 \times 10^{-3} m \cdot k$

در رابطه فوق، $2,90 \cdot 10^{-3} m \cdot k$ به نام ثابت وین یاد می شود.

برای وضاحت بهتر قوانین سیتفان - بولتزمن و وین، در شکل (4-16) گراف توزیع انرژی در طیف تشعشع یک جسم سیاه در سه درجه حرارت مختلف ترسیم شده است.



شکل (4-16)

در شکل (4-16)، از گراف معلوم می شود که با ازدیاد درجه حرارت، سیلان (شدت) انرژی تشعشع شده بیشتر گردیده و طول موج های مربوط تشعشع اعظمی (λ_m) کم شده است. دیده می شود که جای طرف چپ منحنی توزیع اعظمی تغییر می نماید، که این قانون به نام قانون تغییر جای وین یاد می گردد. از رابطه فوق می توان درجه حرارت سطح خارجی آفتاب را تعیین نمود، که طولانی ترین طیف امواج سطح آن در طیف نور مرئی (قابل دید) در حدود $500nm$ می باشد. از رابطه قانون وین می توان نوشت که:

$$T = \frac{K}{\lambda_m} = \frac{2.90 \times 10^{-3} m \cdot k^\circ}{500nm} = \frac{2.9 \times 10^{-3} m \cdot k^\circ}{500 \times 10^{-9} m} = \frac{2.9 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-7}}$$

$$T = \frac{2.9}{5} \times 10^{-3} \times 10^7 = 0.58 \times 10^4 = 5800k^\circ = 6000k^\circ$$

تغییر رنگ یک فلز گرم شده، با از دیاد درجه حرارت، یک مثال خوب برای λ_m می باشد. زمان که آهنگر یک توتنه آهن را بالای قوغ آتش گذاشته و آن را پکه می کند، آهن، آهسته آهسته گرم شده، با بلند رفتن درجه حرارت، از رنگ سیاه به رنگ سرخ (همرنگ قوغ) می تابد و با اضافه شدن درجه حرارت، آهن مذکور به ترتیب رنگ های نارنجی، زرد و بالاخره سفید را به خود می گیرد که ترتیب این رنگ ها نمایانگر کم شدن طول امواج می باشد. قابل ذکر است که آهن مطلقاً یک جسم سیاه نیست، اما به رویت قانون کرشهوف، طرز توزیع انرژی آن در طیف تشعشع، همانند جسم سیاه مطلق می باشد. طیف های تشعشع حرارتی جسم جامد گرم به طور مداوم بوده و شدیداً تابع درجه حرارت می باشد؛ به هر اندازه که درجه حرارت بلندتر باشد، تشعشع حرارتی بیشتر انتشار می یابد. در ابتدا جسم در آن کمرنگ و بعداً سفید روشن دیده می شود.

2-5-4: قانون ستیفان – بولتزمن (Stefan Boltzmann)

قبلاً در مورد تشعشع یک جسم صحبت نمودیم و فهمیدیم که هر جسم حرارت را هم تشعشع می‌کند و هم جذب می‌نماید. حالا می‌خواهیم در مورد کمیت و مقدار تشعشع جسم صحبت نماییم. اولاً باید بدانیم که کمیت و مقدار تشعشع تابع کدام فکتورها می‌باشد؟

برای اولین بار پیمایش انتقال حرارت به وسیله تشعشع توسط تندال (Tyndall) تجربتاً صورت گرفت و نامبرده نتیجه گرفت که؛ مقدار حرارت تشعشعی یک جسم سیاه متناسب به درجه چهارم حرارت مطلق آن است. بالاخره با ادامه این تجارب، بولتزمن نیز آن را تأیید کرد که به نام قانون «ستیفان – بولتزمن» یاد می‌شود و رابطه مذکور چنین بیان می‌گردد:

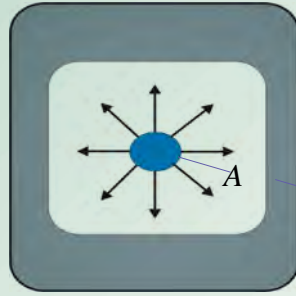
$$R_b = \delta T^4 \dots (1)$$

در رابطه (1)، R_b عبارت از قدرت انتشار انرژی تشعشعی از فی واحد سطح است، T درجه حرارت مطلقه ($273^\circ C + t^\circ C$) و δ عبارت از ثابت ستیفان – بولتزمن می‌باشد که قیمت آن مساوی است به:

$$\delta = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg / cm}^2 \cdot \text{k}^4 \cdot \text{s} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ J / m}^2 \cdot \text{k}^4 \cdot \text{s}$$

مقدار انرژی تشعشع شده یک سطح مستقیماً متناسب با مساحت آن (A) می‌باشد. ازدیاد تشعشع در مقابل درجه حرارت جسم متشعشع بسیار حساس و با درجه مطلقه حرارت به طاقت 4 آن متناسب است. در تشعشع اجسام، فکتور دیگری نیز نقش دارد که عبارت از طبیعت و چگونه گی سطح جسم است که به نام emissivity یا قابلیت نشر نیز یاد می‌گردد و به E نشان داده می‌شود.

اکنون دو جسم را که یکی از آنها سیاه فرض می‌شود، مطابق شکل (17-4) داخل یک محوطه قرار می‌دهیم. اگر درجه حرارت جدارهای محوطه، T ثابت باشد، پس از مدتی هر دو جسم به همان درجه حرارت می‌رسند؛ زیرا تبادل انرژی تشعشعی بین اجسام و محوطه صورت می‌گیرد، یعنی بعد از مدتی موازنه حرارتی ایجاد شده و هر دو جسم دارای عین حرارت T گردیده و حرارت آنها زیاد نمی‌شود. در این حال، مقدار انرژی تشعشعی که بالای هر دو جسم در واحد وقت به واحد سطح آنها می‌رسد، مساوی است. اگر این انرژی E_1 فرض شود، چون جسم سیاه یعنی A تمام انرژی را جذب می‌کند، باید به همان اندازه انرژی را در هر ثانیه از واحد سطح منتشر سازد، در غیر آن درجه حرارت آن بالا می‌رود.



شکل (4-17) B

چون قابلیت جذب یعنی: $\varepsilon = \frac{E_2}{E_1}$ است، اگر قیمت $E_1 = R_b$ در فورمول وضع شود، E_2 یعنی مقدار انرژی‌یی که جسم دیگر یعنی B در واحد وقت بر واحد سطح می‌گیرد، مساوی به $E_2 = \varepsilon \cdot R_b$ خواهد بود، و در همین زمان به اندازه R از واحد سطح انرژی منتشر می‌سازد که مقدار انرژی جذب شده مساوی به انرژی منتشره است، یعنی: $R = \varepsilon R_b$ چون $R_b = \delta T^4$ است. بنابراین: $R = \varepsilon \delta T^4$ یعنی مقدار انرژی تشعشعی منتشره از یک جسم مساوی است به طاقت چهارم درجه حرارت مطلقه و قابلیت جذب جسم. حالا اگر یکی از دو جسم فوق الذکر که مساحت سطح آن A و درجه حرارت آن T_2 باشد، به داخل یک محوطه که درجه حرارت آن T_1 است توسط تار باریکی که عایق حرارت باشد، مطابق شکل (4-17) آویزان شود، جسم مرکزی یک مقدار تشعشع را به طرف جدار محوطه و برعکس، جدار محوطه یک مقدار تشعشع را به طرف جسم منتشر می‌سازد. اگر R_2 مقدار انرژی تشعشعی از جسم به طرف جدار محوطه و R_1 مقدار انرژی تشعشعی از جدار به طرف جسم باشد، در این صورت می‌توان نوشت که: $R_2 = \varepsilon \delta A T_2^4$ و مقدار انرژی تشعشعی از جدار به سطح جسم عبارت است از: $R_1 = \varepsilon \delta A T_1^4$ اگر درجه حرارت $T_2 > T_1$ باشد، مقدار انرژی تشعشعی R که از سطح A در واحد وقت منتشر می‌شود، مساوی است به:

$$R = \varepsilon \delta A T_2^4 - \varepsilon \delta A T_1^4$$

$$R = \varepsilon \delta A (T_2^4 - T_1^4)$$

ε را قابلیت جذب و یا ضریب انتشار نیز می‌نامند که مربوط به ماهیت سطح مرکزی است. ε یک عدد مجرد بوده، قیمت آن بین صفر و یک تحول می‌کند. هرگاه یک جسم کاملاً سیاه مد نظر گرفته شود، در این صورت قیمت $\varepsilon = 1$ می‌باشد. اگر جسم مانند سطح آینه صیقل و درخشان باشد، $\varepsilon = 0$ است. قانون ستیفان- بولتزمن نشان می‌دهد. آن مقدار حرارتی که یک جسم در درجه حرارت پایین‌تر تشعشع می‌نماید و یا از دست می‌دهد، بسیار کم است؛ ولی اگر درجه حرارت بلند شود، مقدار حرارتی که یک جسم آن را از طریق تشعشع از دست می‌دهد، با سرعت زیاد بیشتر می‌گردد. به گونه مثال: چون درجه حرارت سطح خارجی آفتاب $6000k^\circ$ است، از این سبب اندازه حرارتی که از واحد سطح خارجی آفتاب تشعشع می‌نماید، بسیار زیاد است.

خلاصه فصل چهارم

- حرارت یک نوع انرژی است که از جسم دارای حرارت بلند به جسم حاوی درجه پایین تر حرارت جاری می شود. واحد حرارت در سیستم SI ژول است.
- حرارت یک جسم، در حقیقت انرژی حرکتی متوسط مالیکول های آن جسم است.
- هدایت یک نوع انتقال حرارت است که توسط اهتزاز و تصادم مالیکول ها و اتم ها صورت می گیرد، بدون این که مالیکول ها یا اتم ها در جسم از یک جا به جای دیگر حرکت کنند.
- کانوکشن یک طریقه انتقال حرارت است که توسط حرکت واقعی مالیکول ها انجام می شود، یعنی مالیکول ها در جسم از یک جا به جای دیگر به طور مقایسه یی فاصله زیاد را طی می کنند.
- تشعشع یک نوع انتقال حرارت است که به محیط مادی احتیاج ندارد. انرژی حرارتی از یک جا به جای دیگر به واسطه امواج الکترومغناطیسی انفرارید (infrared) انتقال می یابد.

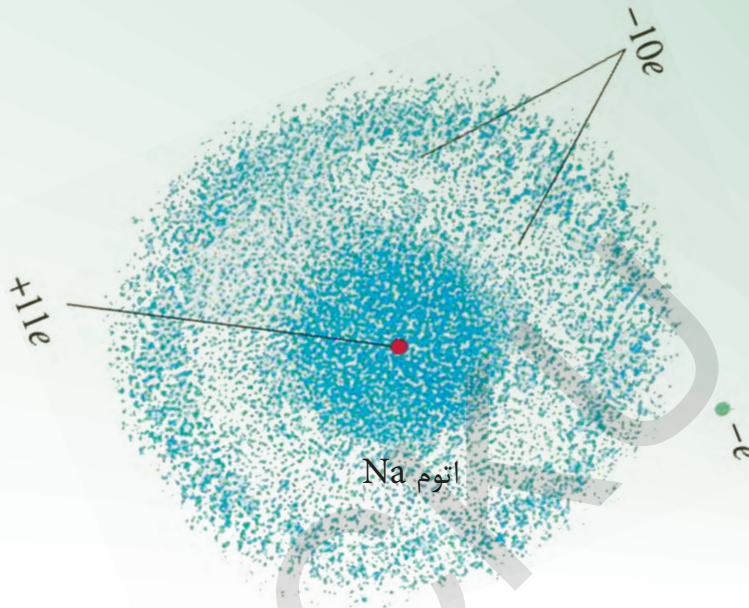
سؤال‌های فصل چهارم

- 1- حرارت و درجه حرارت را تعریف نمایید؟
- 2- طبقه‌های انتقال حرارت از یک جا به جای دیگر را بیان کنید؟
- 3- ضریب هدایت حرارتی را تعریف کنید، واحد آن چیست؟
- 4- گرادیانت درجه حرارت و هدایت حرارتی را تعریف نمایید؟
- 5- معادله هدایت حرارتی را بنویسید؟
- 6- هدایت حرارتی و تشعشع حرارتی را با مثال‌های آن بیان و تشریح کنید؟
- 7- درباره استعمال و کاربرد تشعشع حرارتی معلومات خود را بنویسید؟

سؤال‌های چهارجوابه:

- 1- درجه حرارت یک جسم در حالت ثابت:
الف: توأم با گذشت وقت تزايد می‌کند. ب: با سپری شدن وقت تناقص می‌نماید.
ج: با گذشت وقت تغییر ننموده و در نقطه‌های مختلف جسم مختلف است.
د: با گذشت وقت تغییر نمی‌کند و در همه نقاط جسم یکسان است.
- 2- مقدار جریان حرارتی که از یک میله فلزی که مساحت مقطع آن $1m^2$ است می‌گذرد، در صورتی که گرادیانت درجه حرارت آن $1c^\circ/m$ باشد، در حالت ثابت به کدام نام یاد می‌شود؟
الف: مقاومت حرارتی ب: مقاومت اومیک ج: هدایت حرارتی د: دیفوژن.

فیزیک اتمی



ما از سال‌های قبل تا به حال، با قوانین مختلف فیزیک آشنا شده‌ایم و فهمیدیم که چطور از این قوانین در حل مسایل فیزیک و بیان پدیده‌های طبیعی استفاده کنیم. به طور مثال، با استفاده از قوانین نیوتن می‌توانیم حرکت اجسام را با اندازه‌های معمولی در روی زمین، و حرکت اجسام سماوی را به کمک قانون جاذبه (قوة جاذبه بین کتله‌های مختلف) مشخص نماییم.

به همین ترتیب، آموختیم که چگونه می‌توانیم اثر قوة برقی بین چارچ‌های برقی را با استفاده از قانون کولمب، و یا اثر مقناطیسی جریان‌های برقی را با در نظر داشت قانون فارادی توضیح و تشریح نماییم. مسلماً شما هم می‌توانید با استفاده از آموخته‌های قبلی‌تان مثال‌های دیگری بیاورید.

تا اواخر قرن نوزدهم دانشمندان فیزیک با استفاده از قوانین طرح شده فیزیک توانستند برای بسیاری از پدیده‌های طبیعی دلایل قانع‌کننده‌ی ارایه نمایند. مجموع این قوانین را فیزیک کلاسیک می‌نامند، که تا امروز هم در حل بسیاری از مسایل فیزیک و تشریح و توضیح پدیده‌های طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با کشف الکترون که یکی از ذرات تشکیل دهنده اتم است و اختراع وسایل دقیق تر، دانشمندان متوجه شدند که دیگر دانش فزیک کلاسیک برای انجام آزمایش‌های اساسی و دقیق تر و مطالعه حرکت ذرات تشکیل دهنده اتم کافی نبوده و به مطالعه مباحث علم فزیک جدید ضرورت است. اساس نظریات فزیک مدرن (جدید) را نظریات نسبیت و کوانتومی تشکیل می‌دهد. نظریه نسبیت به مطالعه پدیده‌های با سرعت‌های بسیار زیاد (نزدیک به سرعت نور) می‌پردازد و نظریه کوانتومی، پدیده‌های بسیار کوچک مانند مالیکول‌ها؛ اتم‌ها و ذرات کوچک‌تری که اجزای تشکیل دهنده اتم هستند و به نام ذرات تحت اتم یاد می‌شوند را مورد مطالعه و بررسی قرار می‌دهد. نظریه نسبیت برای نخستین بار توسط البرت انشتین (Albert Einstein) مطرح شد و نظریه کوانتومی نتیجه تحقیقات دانشمندان فزیک از جمله ماکس پلانک (Max Planck)، ماکس بورن (Max Born) و غیره بوده است. درین فصل ضمن معرفی و بررسی اینکه چرا فزیک کلاسیک در جواب دادن به بعضی سؤالات عاجز مانده است، به معرفی فزیک اتمی، تابش جسم سیاه، طیف اتمی، طیف جذبی، مدل اتمی تامسون، مدل اتمی رادرفورد، اثر فوتوالکتریک، مدل اتمی بور، اشعه X، تئوری کوانتوم، طبیعت دوگانه تابش، طول موج دی بروگلی، عدم قطعیت هایزنبرگ پرداخته خواهد شد و در ابتدا به مطالعه بعضی از پدیده‌هایی که با فزیک کلاسیک قابل بیان نیستند، خواهیم پرداخت.

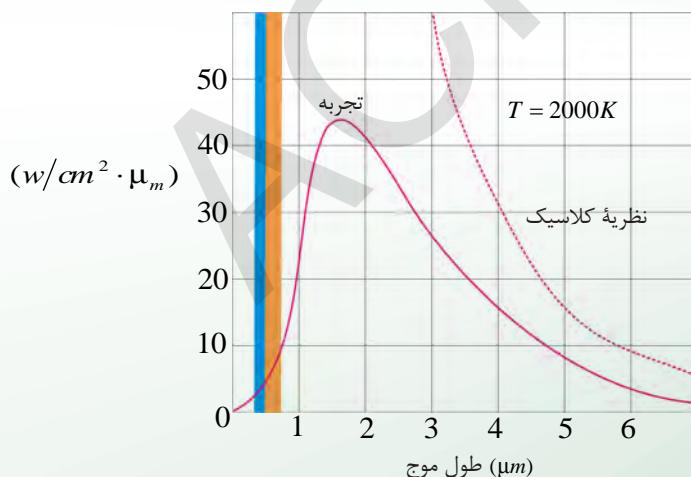
1-1-5: نارسایی‌های فزیک کلاسیک

طوری که قبلاً گفته شد، فزیک کلاسیک از اجسامی به اندازه‌های معمولی که با سرعت‌های معمولی (کم) حرکت می‌کنند، بحث می‌کند. در حالی که فزیک نسبیت، میخانیک نیوتن و الکترومقناطیس (از جمله نظریه موجی - ذره‌یی نور) را در برمی‌گیرد و درباره اجسامی که سرعت آنها نزدیک به سرعت نور است، بحث می‌کند. بنابراین فزیک کلاسیک جای خود را باید به فزیک نسبیت بدهد. برای مطالعه اجسامی که اندازه آنها تقریباً 10^{-10} متر (اندازه یک اتم) است، باید فزیک کوانتومی‌جانشین فزیک کلاسیک شود. برای بیان این موضوع، نظریات بعضی از دانشمندان را که در مورد فزیک کوانتومی مطرح شده است، یادآور می‌شویم. نظریه کوانتومی در سال 1900 میلادی با نظریه ماکس پلانک آغاز گردید، که این نظریه مبانی و اساس میخانیک کوانتومی را تشکیل می‌دهد.

پلانک برای نخستین بار توانست با انجام آزمایش‌هایی در مورد تشعشع امواج الکترومقناطیس از سطح اجسام، نظریه خود را ارایه نماید. بسیار مهم و قابل تذکر است که نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها با قوانین نیوتن سازگار نبود.

بنا بر نظریه فزیک کلاسیک، هرگاه یک ذره چارجدار حرکت شتابی داشته باشد، مثلاً حول حالت تعادل خود نوسان کند، یک موج الکترومقناطیس از آن پخش می‌شود. با این موضوع در مبحث الکترومقناطیس آشنا شدیم و دیدیم که چگونه حرکت شتابدار ذره‌های چارجدار در آنتن، سبب پخش امواج الکترومقناطیسی در فضا می‌شود. پخش امواج الکترومقناطیس از سطح اجسام را تابش حرارتی می‌نامند.

تابش حرارتی که از سطح اجسام پخش می‌شود، از نوسان‌های ذرات چارج‌داریکه در دورن جسم و در نزدیک سطح آن واقع اند، سرچشمه می‌گیرد. تا اوایل قرن بیستم میلادی، فزیک‌دانان نتوانسته بودند با استفاده از قوانین و مفاهیم فزیک کلاسیک، امواج الکترومقناطیسی پخش شده از سطح یک جسم را با ارایه منحنی‌های تجربی بیان کنند. و یا به عبارت دیگر، از محاسبه آنها منحنی‌هایی به دست آمده بود که با نتیجه‌هایی مانند شکل ذیل سازگاری نداشت. در شکل (5-1) منحنی حاصل شده نظری به اساس فزیک کلاسیک با خط نقطه‌چین و منحنی تجربی برای درجه حرارت 2000 درجه کالوین نشان داده شده است.



شکل (5-1)

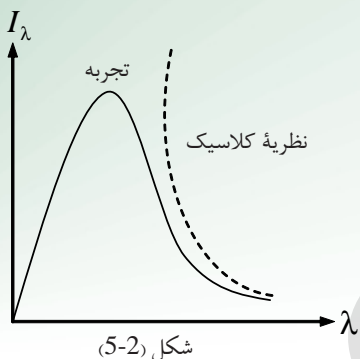
فعالیت



درگروه‌های‌تان درباره دو منحنی‌یی که در شکل (5-1) می‌بینید، بحث کنید و ناسازگاری بین این دو منحنی را مشخص سازید.

یکی از ناسازگاری‌ها بین نتایج محاسبات بر اساس فیزیک نظری کلاسیک و نتیجه‌های به دست آمده تجربی آنست که: محاسبات کلاسیکی پیش‌بینی می‌کنند که مقدار انرژی تابشی پخش شده با طول موج بسیار کوتاه باید لایتناهی باشد. اما طوری که در گراف تجربی می‌بینید مقدار این انرژی بسیار کوچک است.

در اواخر قرن نوزدهم میلادی دانشمندان فیزیک در مورد طیف تابش حرارتی از سطح اجسام، تلاش‌های فراوانی به عمل آوردند، که این تلاش‌ها اکثراً ناکام شد. در شکل (2-5) منحنی تابنده‌گی حاصل شده از محاسبه‌های نظری بر اساس فیزیک کلاسیک با خط نقطه چین و یک منحنی تجربی برای درجه حرارت معین T نشان داده شده است. طوری که در شکل دیده می‌شود.



در طول موج‌های بلند، نظریه کلاسیک با تجربه سازگاری دارد. اما در طول موج‌های کوتاه، نظریه کلاسیک کاملاً با شکست رو به رو می‌شود و هیچ انطباقی بین نظریه کلاسیک و نتایج تجربی عملاً به نظر نمی‌خورد.

مطابق پیش‌بینی نظریه کلاسیک، درخشنده‌گی جسم در طول موج‌های کوتاه باید به سمت بی‌نهایت تقرب کند، در حالی که نتایج تجربی دقیقاً نقطه مقابل آن یعنی تقرب به طرف صفر را ارائه می‌دارد.

بالاخره در آغاز قرن بیستم پلانک با ارایه فرضیه‌ی، این مسأله را با موفقیت حل نمود و با مطرح کردن این فرضیه کاملاً جدید به کمک بعضی از مفاهیم فیزیک کلاسیک، توانست رابطه‌ی را که قبلاً برای تابش جسم سیاه به دست آورده بود، به اثبات برساند که در ادامه بحث با آن آشنا خواهیم شد.

2-1-5: تابش جسم سیاه

طوری که می‌دانید، همه اجسام در درجات بلند حرارت از خود نور مرئی پخش می‌کنند؛ مثلاً نوری که از آتش افروخته شده و یا از کدام جسم دیگر پخش می‌شود، نشان می‌دهد که اجسام در هر درجه حرارت یعنی درجات حرارت بالا و پایین از خود نور مرئی به شکل امواج الکترومغناطیسی پخش می‌کنند که آن را به نام تابش حرارتی یاد می‌کنند.

قسمی که گفته شد، از سطح هر جسمی همیشه انرژی تابشی پخش می‌شود و اجسام دیگر که در اطراف آن هستند، این تابش را دریافت می‌کنند. هر جسم یک قسمت از این تابش را جذب و بقیه را از خود عبور می‌دهد. تابش وسیله‌ای است که حرارت می‌تواند به آن وسیله انتقال نماید و به عاملی به نام ضریب جذب بسته‌گی دارد.

نسبت انرژی تابشی جذب شده توسط هر جسم بر انرژی تابشی وارد شده بر آن جسم را ضریب جذب همان جسم می‌نامند و آن را به $a\lambda$ نشان می‌دهند.

ضریب جذب هر جسم به خصوصیات سطح جسم بسته‌گی دارد و مقدار آن برای طول موج‌های متفاوت یکسان نیست. به عبارت دیگر، یک جسم برای هر طول موج ضریب جذب خاصی دارد.

$$a\lambda = \frac{\text{انرژی تابشی جذب شده با طول موج } \lambda_0}{\text{انرژی تابشی وارده شده تشعشعی با طول موج } \lambda}$$

نظر به رابطه بالا، چون مقدار عددی صورت همیشه از عدد مخرج کمتر است، بنابر آن $a\lambda$ نمی‌تواند بزرگ‌تر از یک باشد. اما هر قدر جسم انرژی تابشی بیشتری را جذب کند، ضریب آن بالا تر و به یک نزدیک‌تر می‌شود.

بهترین جذب کننده، جسمی است که تمام تابش وارده را جذب کند که در آن صورت $a\lambda = 1$ است.

جسمی که بتواند همه طول موج‌های وارده را جذب کند، جسم سیاه نام دارد. جسم‌های به رنگ سیاه همه نور مرئی را که به آنها می‌تابد، می‌توانند جذب کنند. ولی توجه داشته باشید، هر جسمی که رنگ سیاه داشته باشد، جسم سیاه نیست؛ زیرا ممکن است ضریب جذب آن برای بعضی از طول موج‌های غیر مرئی کمتر از یک باشد.

3-1-5: شدت تابشی

شدت تابشی یک جسم، مساوی به مقدار مجموعی انرژی امواج الکترومقناطیسی‌یی است که در واحد زمان از سطح یک جسم پخش می‌شود. نظر به این تعریف، هر چه ضریب جذب یک جسم بالا باشد، شدت تابشی یا توان تابشی نیز بزرگ‌تر است. به عبارت دیگر، توان تابشی هر جسم با ضریب جذب آن نسبت مستقیم دارد. جسم سیاه دارای بالاترین شدت تابشی در هر درجه حرارت می‌باشد. می‌توانیم بگوییم که جسم سیاه بهترین پخش‌کننده امواج الکترومقناطیسی و هم بهترین جذب‌کننده این امواج است.

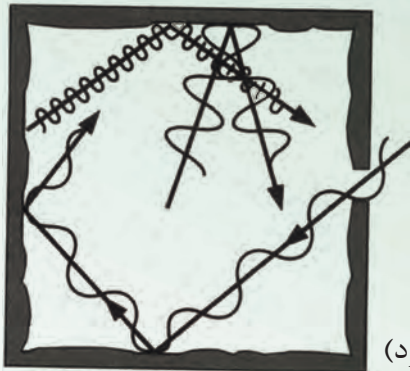
طوری که گفته شد، مقدار تابش پخش شده از سطح هر جسم نه تنها به درجه حرارت بلکه به عوامل دیگر از جمله خواص سطح آن بسته‌گی دارد. به همین سبب، دانشمندان فزیک برای ساختن یک جسم سیاه به سراغ جسمی هستند که هر تابشی را که از محیط اطرافش دریافت می‌کند، از خود عبور نداده و به خود جذب نماید.

آیا می‌دانید که در عمل به کدام جسم، سیاه گفته می‌توانیم؟

برای پاسخ به این سوال، یک جسم میان‌خالی مطابق شکل (3-5) را در نظر بگیرید که سوراخ کوچکی روی آن ایجاد شده است. این سوراخ خاصیت جسم سیاه را داشته و مانند یک جسم سیاه عمل می‌کند؛ یعنی سوراخ این جسم، جسم سیاه است نه خود جسم.

تشعشعاتی که از اطراف جسم به سوراخ می‌تابد، به داخل خالیگاه جسم وارد شده و بعد از انعکاس دوباره در داخل سوراخ انرژی خود را از دست می‌دهد و در نتیجه بدون آن که از خالیگاه خارج شود، کاملاً جذب می‌شود. به این ترتیب، ضریب جذب این سوراخ برای تمام طول موج‌های وارده در داخل جسم، مساوی به یک است. از چنین سوراخی می‌توان به عنوان یک جسم سیاه استفاده کرد.

مقدار تابش پخش شده از سطح یک جسم را به نام تابنده‌گی (درخشنده‌گی) مشخص و معین می‌کنند. تابنده‌گی یک جسم در هر طول موج مساوی است با مقدار انرژی امواج الکترومقناطیسی با طول موج‌های بین λ و $\lambda + \Delta\lambda$ که در واحد زمان از واحد سطح یک جسم پخش می‌شود.

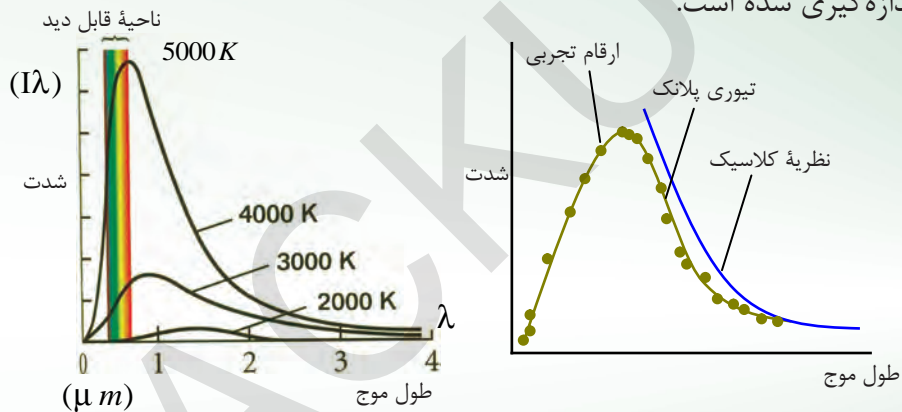


انرژی‌یی که به صورت تابش حرارتی در واحد زمان بین طول موج‌های λ تا $\lambda + \Delta\lambda$ از واحد سطح یک جسم تشعشع‌کننده پخش می‌شود، تابنده‌گی طول موج نام دارد و آن را به $I\lambda$ نشان می‌دهیم.

شکل (3-5)

(I شدت تشعشعی است که توسط امواج پخش می‌شود)

در شکل (4-5)، تابنده‌گی جسم سیاه ($I\lambda$) در طول موج‌ها با درجه‌های مختلف در اندازه‌گیری شده است.



شکل (4-5)

چهار درجه حرارت مختلف نشان داده شده است.

طوری که در شکل دیده می‌شود؛ هرچه درجه حرارت جسم سیاه بیشتر باشد، به همان اندازه طول موج‌هایی که پخش می‌شوند، کوتاه‌تر است، و شدت تابش مجموعی با افزایش درجه حرارت، بیشتر می‌شود.



فعالیت

در گروه‌های مختلف، روی هر یک از سؤالات ذیل بحث نموده و نظریات خویش را به هم‌صنفان‌تان گزارش دهید.

1. چرا در تابستان پوشیدن لباس‌هایی به رنگ روشن و در زمستان لباس‌هایی به رنگ تیره مناسب‌تر است؟

2. در دو گیلان مشابه هم، در یکی چای سیاه و در دیگری چای سبز با عین درجه حرارت ریخته‌ایم، به نظر شما کدام یک زودتر سرد می‌شود؟ چرا؟

4-1-5: طیف اتمی (Atomic spectrum)

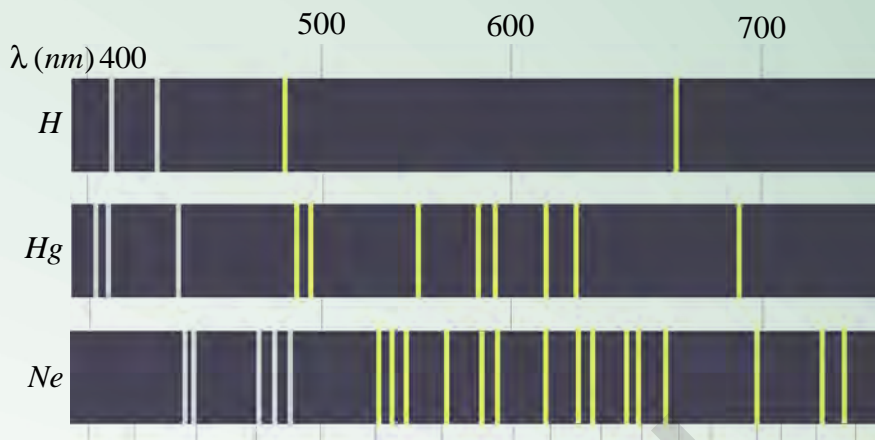
یکی دیگر از پدیده‌هایی که با فیزیک کلاسیک قابل بیان نبود، بررسی طیف پخش شده از اتم‌ها بود که با انجام آزمایش توسط تعدادی از دانشمندان فیزیک و کیمیا به بررسی گرفته شد.



شکل (5-5)

نیوتن برای اولین بار با عبور نور آفتاب از منشور، طیف نور سفید را تشکیل داد. نیوتن نشان داد که نور سفید متشکل از هفت رنگ مختلف است. طیف نور سفید یک طیف پیوسته است که در شکل (5-5) نشان داده شده است. در درس قبلی با تابش حرارتی آشنا شدیم و دیدیم که این تابش دارای طیف پیوسته است. حال به بررسی نوع دیگری از تابش می‌پردازیم.

درین نوع تابش از یک گروه باریک و طویل شیشه‌یی که در داخل آن یک گاز رقیق و بخار با فشار کم از یک عنصر معین مانند جیوه، سودیم و یا نیون است، استفاده می‌شود. دو الکترود به نام‌های آنود و کتود در دو طرف این چراغ قرار دارد که به ترتیب به قطب‌های مثبت و منفی یک بطری با ولتاژ بالا وصل است. با قرار دادن ولتاژ بلند بین الکترودهای کتود و آنود گروه، تخلیه الکتریکی (برقی) رخ می‌دهد و اتم‌های گاز به ایون‌های مثبت تبدیل شده و شروع به پخش نور می‌کنند. نوری که از گروه پخش می‌شود به رنگ آبی است. اگر این نور را از منشور بگذرانیم و طیف آن را تشکیل دهیم، می‌بینیم که این طیف پیوسته نیست، بلکه از چند خط رنگه جدا از هم با طول موج‌های معین تشکیل شده است.



شکل (5-6)

به همین ترتیب اگر داخل گروپ به جای بخار جیوه، بخار عنصر دیگری باشد، باز هم طیف حاصل از آن به صورت خط‌های رنگه جدا از هم دیده می‌شود. اما این خط‌ها هم از نظر تعداد و هم از نظر طول موج، با خط‌های طیف حاصل شده از گروپ جیوه تفاوت دارد. طیف نور پخش شده از بخار هر عنصر را طیف اتمی آن عنصر می‌نامند. پس گفته می‌توانیم که طیف اتمی عناصر مختلف با هم متفاوت اند. طیف اتمی حاصل از نور پخش شده توسط بخار هر عنصر را طیف نشری اتم همان عنصر هم می‌نامند.



شکل (5-7)

طیف‌های گروپ بخار جیوه، مقدار زیادی نور مادون قرمز پخش می‌کنند که این نور به صحت انسان مضر است، به همین جهت انسان نباید به طور مستقیم در معرض نور پخش شده از گروپ جیوه قرار بگیرد.

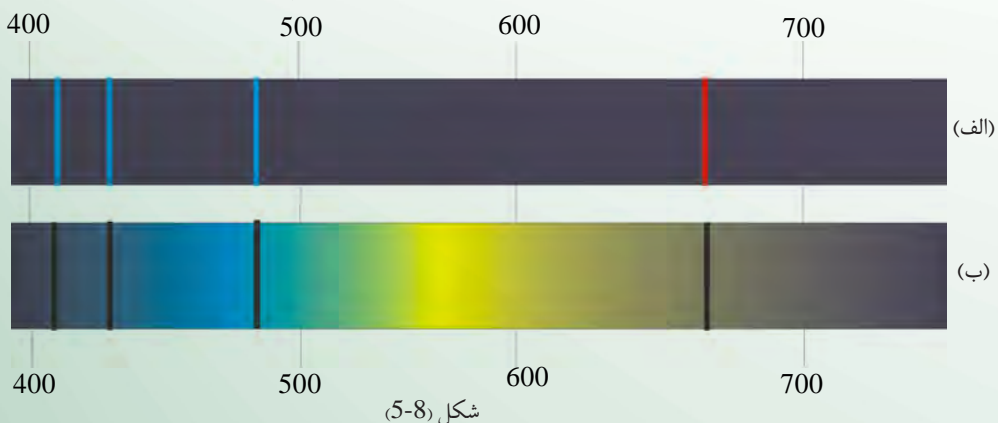
در داخل گروپ‌های مهتابی (فلورسینت) بخار جیوه قرار دارد. اما دیوار این گروپ‌ها را با پوشش نازکی از یک ماده سفیدرنگ می‌پوشانند. این ماده سفیدرنگ باعث می‌شود که اگر نور مادون قرمز بر آن بتابد، آن را جذب و نور سفید پخش کند.

5-1-5: طیف جذبی (Absorption spectrum)

در سال 1814 میلادی فرانیهوفر (Fraunhofer) با انجام دادن تجارب دقیق، خط‌های تاریکی را در طیف آفتاب کشف نمود. وی نشان داد که اگر به طیف آفتاب به دقت دیده شود، خط‌های تاریکی به نظر می‌رسد، به این معنی که در این طیف بعضی از طول موج‌ها وجود ندارد، به جای آنها خط‌های تاریک سیاه دیده می‌شود. اکنون می‌دانیم که گازهای عناصر موجود در جو آفتاب بعضی از طول موج‌های پخش شده از آفتاب را جذب می‌کنند که نبود آنها به شکل خط‌های تاریک در طیف آفتاب به نظر می‌رسد. به طیف نور سفید که بعضی از خط‌ها یا طول موج‌های آن جذب شده باشد، طیف جذبی گفته می‌شود.

تجارب نشان می‌دهد که هرگاه نور سفید از داخل یک عنصر معین عبور کند و طیف آن تشکیل گردد، در طیف آن خط‌های تاریکی ظاهر می‌شود. یعنی بعضی از طول موج‌های نور سفید جذب شده، و طیف حاصل از آن به شکل طیف خطی به نظر می‌رسد. مطالعه طیف‌های نشری و جذبی عناصر مختلف نشان می‌دهد که:

- 1- در طیف‌های نشری و جذبی هر عنصر طول موج‌هایی معین وجود دارد که از مشخصات آن عنصر می‌باشد. یعنی طیف نشری و جذبی دو عنصر با هم مشابه نمی‌باشند.
- 2- اتم هر عنصر طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کند، که اگر درجه حرارت آن عنصر بالا برود و یا به طور دیگری برانگیخته شود، آنها را دوباره می‌تاباند (منعکس می‌سازد). در شکل (5-8) طیف جذبی و نشری اتم هایدروجن نشان داده شده است. طیف‌های اتمی هر عنصر خط‌ها یا طول موج خاص خود را دارد و طیف‌های نشری و جذبی هر عنصر مانند اثر انگشت افراد برای شناسایی هر عنصر به کار می‌رود.



فعالیت

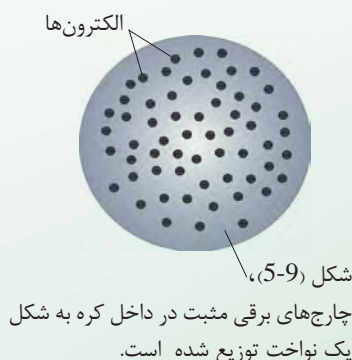


شکل‌های الف و ب در صفحه قبل، طیف نشری و جذبی بخار اتم‌های هایدروجن را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها، طیف‌های جذبی و نشری را مشخص نمایید.

تهیه و بررسی طیف‌های نشری و جذبی را طیف‌نمایی می‌گویند. طیف‌نمایی وسیله خوبی برای شناسایی عناصر است که در اواخر قرن نوزدهم سبب کشف چند عنصر ناشناخته شد. ولی با وجود این کاربرد موفق، هنوز هم در مورد اینکه چرا هر عنصر، طیف مخصوص خود را دارد، در فیزیک کلاسیک پاسخی وجود ندارد. بنابر نظریه کلاسیک، یک اتم در صورتی نور پخش می‌کند که به شکلی مانند برخورد با سایر اتم‌ها و یا توسط میدان‌های برقی، به الکترون‌های آن اتم انرژی داده شود. این الکترون‌ها به اثر به دست آوردن انرژی نوسان می‌کنند و موج‌های الکترومغناطیسی پخش می‌کنند. و اگر نور به یک اتم بتابد، نوسان میدان برقی نور وارده باعث می‌شود که الکترون‌ها شروع به نوسان کرده و نور وارده را جذب نمایند. بنابراین با توجه به نظریات کلاسیکی، هر اتم می‌تواند نوری را با هر طول موجی تابش دهد و یا جذب کند. در حالی که تجربه نشان می‌دهد که در طیف تابشی و جذبی اتم‌ها تنها در طول موج‌های معینی می‌توانند پخش یا جذب شوند یا به عبارت دیگر، الکترون‌های هر اتم تنها با فریکوانسی‌های معین می‌توانند نوسان کنند.

1-2-5: مدل اتمی تامسون

تامسون دانشمند انگلیسی، نخستین مدل ساختار اتمی را پیشنهاد کرد. درین مدل، اتم به صورت توزیع یکنواختی از کتله و چارج مثبت به شکل کروی در نظر گرفته شده است. در این مدل الکترون‌ها با چارج‌های منفی، مانند (کشمش‌ها در داخل یک کیک کشمش)، در سرتاسر مدل توزیع می‌شوند. از این سبب این مدل را مدل کیک کشمش (Plum pudding model) هم می‌گویند.



تامسون بر اساس مدل کیک کشمش، بعضی از خصوصیات اتم‌ها مثل اندازه کتله، تعداد الکترون‌ها و خنثا بودن آنها را بیان نمود. ولی بعداً رادرفورد با انجام آزمایشی به این نتیجه رسید که چارج‌های مثبت اتم باید در مرکز اتم متمرکز باشد و به این اساس، مدل دیگری را برای ساختار اتم پیشنهاد نمود.

2-2-5: مودل اتمی را در فورد

رادرفورد شاگرد تامسون در 1911 با انجام تجارب به این نتیجه رسید که تمام چارجهای مثبت یک اتم با حجم بسیار کوچک در هسته، در مرکز اتم متمرکز می‌باشد و الکترون‌ها با چارج منفی، اطراف این هسته مرکزی را در فاصله‌های زیاد احاطه کرده اند، یعنی فضای بین هسته و الکترون‌ها خالی است. مودل رادرفورد در بسیاری موارد با موفقیت همراه بود ولی به سؤالاتی مانند: اتم‌ها چگونه حرکت می‌کنند؟ چه چیزی مانع می‌شود که الکترون‌ها با چارج منفی بر اثر قوه برقی به طرف چارجهای مثبت هسته سقوط نکنند؟ هسته از چه چیزی ترکیب شده و چگونه می‌توان چارج آن را اندازه گرفت؟ پاسخ‌گو نبود. بدین ترتیب، به فرضیه‌های دیگری ضرورت بود تا مودل اتمی رادرفورد را کامل‌تر بسازد و به سؤالات مطرح شده در مورد ساختمان اتم پاسخ‌گو باشد، که بعدها فزیک‌دان دنمارکی، بور (Niles Bohr)، (1885-1962) در سال 1913 مودل جدید اتم هایدروجن را به‌حیث مودلی که می‌تواند طیف اتمی را تشریح نماید، پیشنهاد کرد.

3-2-5: نظریه ماکس پلانک (1858-1947) Max planck

بر اساس فزیک کلاسیک، هرگاه یک ذره چارج دار، حرکت شتاب دار داشته باشد (مثلاً حول وضع تعادل خود نوسان کند)، یک موج الکترومقناطیسی از آن منتشر می‌شود.

هم‌چنان مطابق فزیک کلاسیک، انرژی موج الکترومقناطیسی یک کمیت پیوسته است. بنابر نظریه ماکس پلانک، مقدار انرژی‌یی که جسم به صورت موج‌های الکترومقناطیسی منتشر می‌کند، همواره مضرب تامی از یک مقدار ثابتی است که این مقدار ثابت با به فریکونسی موج الکترومقناطیسی بسته‌گی دارد. مطابق این نظریه، انرژی یک موج الکترومقناطیسی با فریکونسی برابر است با: $E = nh\nu$ (I)

در این رابطه n عدد تام مثبت است و ضریب h مقدار ثابتی است که به نام ثابت پلانک یاد می‌شود. این ثابت توسط ماکس پلانک از نتیجه تطبیق محاسبه با منحنی‌های تجربی مربوط به تابش جسم سیاه به دست آمد که مقدار پذیرفته شده این عدد برابر به $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ است.

$h\nu$ کوانتم انرژی نور منتشر شده با فریکونسی ν است که به آن فوتون هم می‌گویند و n تعداد کوانتم‌ها را مشخص می‌سازد که به نام عدد کوانتمی یاد می‌شود.

در رابطه (1) اگر ثابت پلانک را برحسب (ژول ثانیه) قرار دهیم، انرژی برحسب ژول به دست می‌آید. ولی در بحث اجزای ساختمان اتم از ژول منحصراً استفاده نمی‌شود، زیرا ژول یک واحد بزرگ است و استفاده از آن مناسب نیست، و معمولاً از واحد دیگری به نام الکترون ولت (ev) استفاده می‌شود. بنابر تعریف یک ev برابر با تغییر مقدار انرژی یک الکترون تحت ولتاژ یک ولت است. در حالی که یک ژول برابر است با مقدار انرژی چارج برقی برابر به یک کولمب تحت ولتاژ یک ولت است. در نتیجه با یادآوری از اینکه $1e = 1.6 \cdot 10^{-19} c$ است، رابطه بین الکترون ولت و ژول به صورت ذیل نگاشته می‌شود:

$$1ev = (1.6 \cdot 10^{-19} c) \times (1v) = 1.6 \cdot 10^{-19} J$$

$$\text{بنابراین: } 1J \frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} ev = 0.625 \times 10^{19} = 6.25 \times 10^{18} ev$$

مثال: فریکونسی موج‌های رادیویی از مرتبه $1MHz$ تا $100MHz$ است. میدان تحول انرژی فوتون‌های وابسته به این موج‌ها را حساب کنید. برای فریکونسی $\nu_1 = 1MHz$ داریم:

$$E_1 = h\nu_1 = (6.63 \times 10^{-34} Js)(10^6 s^{-1}) = 6.6 \times 10^{-28} J = 4.125 \times 10^{-9} ev$$

و برای فریکونسی $\nu_2 = 100MHz$ داریم که:

$$E_2 = h\nu_2 = (6.63 \times 10^{-34} Js)(100 \times 10^6 s^{-1}) = 6.6 \times 10^{-26} J$$

با تعویض قیمت اخیر از جنس ev داریم: $E_2 = 4 \times 10^{-7} ev$

بنابراین محدوده میدان تحول انرژی فوتون‌های وابسته به موج‌های رادیویی از $4 \times 10^{-9} ev$ تا $4 \times 10^{-7} ev$ است.

3-5: اثر فوتو الکتریک

در سال 1887 میلادی هانریچ هرتز Heinrich Hertz دانشمند آلمانی مشاهده کرد که وقتی نوری با طول موج بسیار کوتاه؛ مانند: نور بنفش، به کلاhek فلزی برق‌نمایی که دارای چارج منفی می‌باشد بتابد، باعث تخلیه برق‌نما می‌شود.

تجربه دیگر نشان داد که این تخلیه الکتریکی (برقی) به دلیل جدا شدن الکترون‌ها از سطح کلاhek فلزی الکتروسکوپ (برق‌نما) رخ داده است. این پدیده، یعنی جدا کردن الکترون‌ها از سطح یک فلز توسط تاباندن نور بر آن را پدیده فوتوالکتریک، و الکترون‌های منتشر شده از سطح فلز را فوتو الکترون می‌نامند. برای بررسی پدیده فوتو الکتریک از دستگاهی مطابق شکل (10-5) استفاده می‌کنیم.

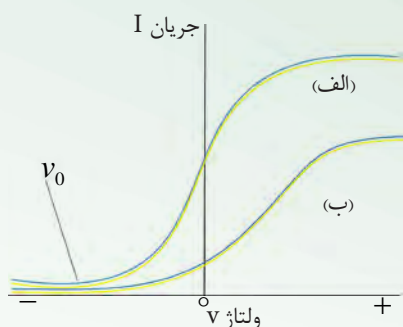


در این دستگاه دو الکترود فلزی A و B در یک محفظهٔ خلاء قرار دارند و از بیرون به یک منبع ولتاژ قابل تنظیم وصل شده اند. الکترود A در مقابل یک منبع نور مونوکروماتیک یا یک رنگ که دارای یک طول موج و یا یک فریکونسی است، قرار دارد. شکل (5-10) نشان می‌دهد که اگر نوری به طور عادی بر الکترود A بتابد، هر قدر که ولتاژ بالا هم باشد، جریانی در مدار دیده نمی‌شود؛ ولی هرگاه نوری با فریکونسی مناسب به الکترود A بتابد، جریان در مدار برقرار می‌شود.

وجود این جریان را می‌توانیم به این ترتیب تفسیر کنیم که تابیدن نور باعث جدا شدن فوتوالکتردها از سطح الکترود A و منتشر شدن آنها شده است. اگر این الکتردها انرژی اهتزازی کافی داشته باشند، به الکترود B می‌رسند و جریان برقرار می‌شود. با تغییر دادن ولتاژ V می‌توانیم منحنی تغییرات جریان I را برحسب V به دست آوریم.

در شکل (5-11) منحنی تغییرات جریان برحسب ولتاژ برای دو مقدار مختلف شدت نور وارد شده بر الکترود A نشان داده شده است. فریکونسی نور وارد شده در هر دو حالت یکسان است. مقدار مثبت V مربوط به شرایطی است که الکترود B به قسمت اخیر مثبت منبع ولتاژ وصل است. همان طوری که منحنی الف نشان می‌دهد، برای مقدارهای مثبت V با زیاد شدن ولتاژ V ، اول جریان زیاد می‌شود و بعد از آن، به یک مقدار ثابت می‌رسد، که دیگر با زیاد شدن ولتاژ V اثری بر مقدار آن وارد نمی‌شود، شکل (الف، 5-11). این موضوع را می‌توانیم به این صورت توضیح دهیم که ولتاژ V مثبت باعث می‌شود که فوتوالکتردها به سمت الکترود B کشیده شوند و با زیاد شدن ولتاژ V تعداد بیشتری از فوتوالکتردها به سمت B کشیده می‌شوند و جریان زیاد می‌شود؛ ولی زمان که ولتاژ V به حدی برسد که الکترود B بتواند تمام فوتوالکتردها را جمع کند، دیگر با زیاد شدن ولتاژ V جریان بالا نمی‌رود. نکتهٔ جالب و قابل توجه دیگری که در این منحنی دیده می‌شود این است که بر مقدارهای منفی V (وقتی که الکترود B به قسمت اخیر منفی منبع ولتاژ وصل شده است)، جهت جریان تغییر نمی‌خورد و با کم شدن ولتاژ V ، جریان مثبت کاهش می‌یابد، تا این که در مقابل یک ولتاژ $-V_0$ که ولتاژ متوقف کننده نامیده می‌شود، جریان صفر می‌شود و برای مقدارهای کمتر از $-V_0$ جریان هم‌چنان صفر می‌ماند.

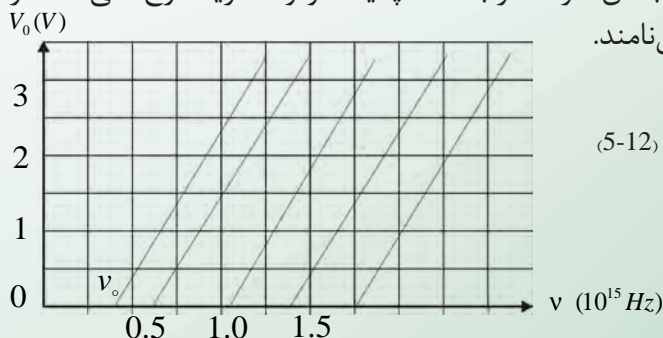
برای بیان این وضعیت می‌توانیم بگوییم که برای مقدارهای منفی v ، الکتروود A که اکنون به قسمت اخیر مثبت وصل است، فوتو الکترون‌ها را به سوی خود می‌کشد، و انرژی اهتزازی آن‌ها را کم می‌نماید و در نتیجه تعداد کمتری از آن‌ها می‌توانند به B برسند و در ولتاژ $v_0 -$ هیچ فوتو الکترونی به B نمی‌رسد.



منحنی (ب) مربوط به تجربه‌ای است که در آن شدت نور وارده را نصف کرده‌ایم؛ ولی نور همان مقدار فریکونسی را دارد. همان گونه که از منحنی پیداست، مقدار v_0 برای هر دو منحنی یکی است، به این معنی که مقدار ولتاژ متوقف کننده به شدت شعاع وارده بسته‌گی ندارد.

هرگاه در دستگاه شکل (الف) جنس الکتروود فلزی A را تغییر دهیم، باز هم همین نتایج را به دست می‌آوریم؛ ولی در این حالت نیز مقدار ولتاژ متوقف کننده تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، مقدار ولتاژ متوقف کننده به جنس الکتروود فلزی A بسته‌گی دارد.

رابرت میلیکان (1886-1953) با تجربه‌های دقیقی که در طول 10 سال انجام داد، مقدار ولتاژ متوقف کننده را برای فلزهای متفاوت و برای فریکونسی‌های متفاوت شعاع وارده اندازه گرفت. در شکل (5-12) منحنی با تغییرات ولتاژ متوقف کننده بر حسب فریکونسی شعاع نور وارده، برای چند فلز مختلف نشان داده شده است. این منحنی‌ها نشان می‌دهد که هر قدر فریکونسی شعاع وارده بر الکتروود A کمتر باشد، ولتاژ قطعی کننده نیز کمتر خواهد بود. مقدارهای ولتاژ قطع کننده برای هر فلز روی خط مستقیم قرار دارد. طوری که در شکل می‌بینید، هر خط محور فریکونسی را در فریکونسی معین که آن را به v_0 نشان می‌دهیم قطع می‌کند. تجربه نشان می‌دهد که اگر فریکونسی شعاع وارده بر الکتروود فلزی A از v_0 مربوط به آن فلز کمتر باشد، پدیده فوتو الکتریک رخ نمی‌دهد، از این رو v_0 را فریکونسی قطع می‌نامند.



شکل (5-12)

4-5: مودل اتمی بور (Niels Bohr (1885-1962

در پی پیشنهاد رادرفورد مبنی بر این که کتله و چارج مثبت اتم در ناحیه بسیار کوچکی در مرکز اتم متمرکز است، بور فزیکدان دنمارکی در سال 1913 پیشنهاد کرد که اتم در واقعیت مانند یک مودل منظومه شمسی است. در مدارهای آن الکترون‌ها مانند سیاراتی که گرد آفتاب حرکت می‌کنند، به دور هسته می‌چرخند.

با توجه به نظریه بور، حادثه از هم ریختن اتم تحت تأثیر جاذبه الکتروستاتیکی کولنی بین هسته و الکترون‌ها به همان دلیل صورت نمی‌گیرد که منظومه شمسی به اثر جاذبه (قوه جاذبه میخانیکی) بین سیارات و آفتاب وجود دارد، فرو نمی‌ریزد.

بور، برای حل مشکل ناپایداری مودل نمونه‌ی اتمی رادرفورد، و با توجه به طیف گسسته تشعشعات تابیده شده از اتم‌ها و رابطه تجربی ریدبرگیت بالمر (Balmer- Brackett) برای طیف اتم هایدروجن، و با الهام گرفتن از نظریه‌های کوانتومی پلانک و انشتاین، نمونه‌ی را برای اتم هایدروجن که یک الکترون دارد، ارائه کرد. در این نظریه، بور پیشنهاد کرد که باید قانون‌های میخانیکی و الکترومقناطیسی کلاسیک، در مقیاس‌های اتمی همراه با فرضیه‌ها در نظر گرفته شوند و این فرضیه‌ها را می‌توان به طور ساده در چهار اصل ذیل بیان کرد:

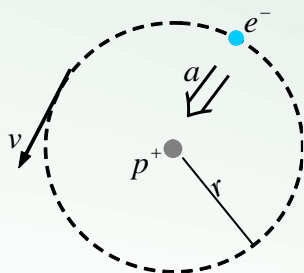
1- الکترون‌ها تنها روی مدارهای دایره‌ی با شعاع‌های معین حرکت می‌کنند.

این مدارها، مدارهای ثابت (stationary orbits) نامیده می‌شود. در شکل (5-13) حرکت الکترون با کتله m و چارج $-e$ روی یک مدار دایروی به شعاع r به دور مرکز (هسته) با چارج $+e$ نشان داده شده است.

قوة جذب به مرکز در این حرکت، عبارت از جذب الکتریکی (برقی) بین الکترون و هسته است که برابر است با $\frac{ke^2}{r^2}$

و در آن قیمت k چنین است: $k = 8.99 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{c}^2$ (ثابت کولمب)

شتاب فرار از مرکز در حرکت الکترون نظر به حرکت دایروی برابر است با $\frac{v^2}{r}$ که در آن v سرعت الکترون روی مسیر دایروی است و در نتیجه با استفاده از قانون نیوتن داریم که:



شکل (5-13)

قوة فرار از مرکز = قوة جذب به مرکز

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \dots\dots\dots (1) \text{ یعنی:}$$

می توان نشان داد که انرژی پوتانسیلی (جذب به مرکز) الکترون در ساحة برقی هسته برابر به $U = \frac{ke^2}{r^2} \times r = \frac{ke^2}{r}$ و انرژی حرکی (فرار از مرکز) آن مساوی به $\frac{1}{2}mv^2$ است.

در نتیجه انرژی مجموعی (انرژی پوتانسیل + انرژی حرکی) الکترون در این مدار برابر است با:

$$E = k_E + U = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{ke^2}{r}$$

اطراف رابطه (1) را ضرب $\frac{r}{2}$ می کنیم و در نتیجه: $\frac{ke^2}{r^2} \left(\frac{r}{2}\right) = \frac{mv^2}{r} \left(\frac{r}{2}\right)$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r} \text{ و یا:}$$

بنابراین قیمت مطلقه انرژی حرکی الکترون روی یک مدار ثابت با شعاع r برابر است با:

$$E = \frac{ke^2}{2r}$$

2- در اتم بعضی حالت‌های خاص حرکتی به نام حالت‌های ثابت وجود دارد که در این حالت‌ها، دیگر طبق معمول (اصول فزیک کلاسیک)، الکترون امواج الکترومقناطیسی پخش نمی‌کند، در این وضعیت می‌گوییم که الکترون در یک حالت ثابت است. با توجه به فزیک کلاسیک، یک چارج برقی شتابدار، مانند الکترونی که به دور هسته می‌چرخد، باید به طور پیوسته انرژی الکترومقناطیسی بتابد، که با تابیدن این انرژی، انرژی مجموعی این الکترون کم می‌شود و الکترون در یک حرکت مارپیچی به سوی هسته حرکت می‌کند و در اتم فرو می‌ریزد.

3- شعاع مدارهای ثابت، مقدارهای مشخص گسسته‌یی می‌توانند داشته باشند. اگر شعاع اولین مدار را برابر به a_0 بگیریم، شعاع‌های مجاز ممکنه مدارها از رابطه ذیل به دست می‌آید.

$$r_n = a_0 n^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

که در آن n یک عدد صحیح است.

علاوه بر این، بور کوچک‌ترین شعاع مدار یعنی a_0 را در اتم هایدروجن که آن را شعاع اتم بور نیز می‌نامند، به اندازه $a_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m k e^2}$ ، که در آن h ثابت پلانک، k ثابت کولمب، e چارج الکترون و m کتله الکترون است، به دست آورد که تحلیل آن را در صنوف تحصیلات عالی خواهید خواند.

4- بور همچنین فرض کرد که اگرچه الکترون ثابتی که در یک حالت ثابت خاص، دارای انرژی En_1 می‌باشد، نمی‌تابد، اما می‌تواند با رفتن به سطح (سویه) انرژی پایین‌تر En_2 بتابد. در این سوویه پایین‌تر، انرژی الکترون کمتر از انرژی سوویه اولی آن است، یعنی $En_2 < En_1$ که این اختلاف انرژی به صورت کوانتم یا فوتون نوری ظاهر می‌شود که مقدار این اختلاف انرژی بین سوویه‌ها برابر است به:

$$h\nu = En_1 - En_2$$

5-5: شعاع ایکس X

در 8 نوامبر سال 1895، رونتگن (Wilhelm Conrad Roentgen) ساینس دان جرمنی مانند دیگر فزیکدانان جهان، مصروف تجربه با شعاع‌های کتود بود که تازه شناخته شده بودند. او در تجربه خود لامپ (گروپ) گلابی شکل شیشه‌یی را با قطعه‌های مقوای سیاه پوشانیده و اتاق را تاریک کرده بود، تا اندازه (درجه) کدري پوشش کاغذ سیاه را امتحان کند. ناگهان در حدود یک یارد (91.44cm) دورتر از لامپ، نور ضعیفی را دید که به روی دستگاه کوچکی چشمک می‌زند. رونتگن در حالی که فوق‌العاده هیجان‌زده شده بود، گوگردی را روشن کرد و با شگفتی بسیار کشف کرد که منبع نور مرموز همان توتۀ کوچک باریم پلاتینو سیانید است که بر روی دستگاه افتاده است.

باریم پلاتینو سیانید از جمله مواد کیمیاوی معدنی است که خاصیت فلوریسینتی دارد (یعنی هرگاه با نور بنفش روشن شود، نور مرئی از آن منتشر می‌گردد).

ولی در تجربه رونتگن هیچ نوع منبع نور، نه نور ماورای بنفش و نه شعاع‌های کتود که می‌توانستند سبب خاصیت فلوریسینتی باشند، وجود نداشت. از این جهت رونتگن نتیجه گرفت که این خاصیت فلوریسینتی مربوط به شعاع جدیدی است نامعلوم و ناشناخته که آن را شعاع X نامید. رونتگن نشان داد که شعاع X از محل تولید به خط مستقیم منتشر می‌شود و لوحه عکاسی را نیز سیاه می‌کند. او به تفصیل، قدرت نفوذ شعاع X را در مواد مختلف ارایه کرد. او گفت که قدرت نفوذ این شعاع در مواد سبک مانند کاغذ، چوب و گوشت بیشتر از مواد متراکم مانند پلاتین، سرب و استخوان است. او عکس استخوان‌های دست را توسط شعاع X گرفت. رونتگن گفت که شعاع X به وسیله ساحة مقناطیسی منحرف نمی‌شود. و هم‌چنان نشان داد که هیچ نوع عمل انعکاس، انکسار و یا اثرهای تداخل و تفرق از شعاع مذکور دیده نمی‌شود.

مورد استفاده شعاع X، زیاده‌تر در طبابت بود، چنانکه که شش ماه بعد از کشف رونتگن در یکی از شفاخانه‌های (وین) در عملیات‌های جراحی از این شعاع استفاده شد و بعدها ساحة مورد استفاده این شعاع در طبابت وسیع‌تر شد و خاصاً با تشخیص بعضی از امراض و درمان انواع سرطان توسط این شعاع انقلاب بزرگی در طبابت به وجود آمد. همچنان شعاع X در شاخه‌های دیگر علوم فیزیکی و زیست‌شناسی مورد استفاده وسیع قرار گرفت، چنان‌چه درباره تحقیق و تشخیص نواقص در کیفیت مواد ساختمانی، مهندسی، بررسی نقاشی‌ها و مجسمه‌های قدیمی به پیمانه و سیعی استفاده می‌شد.

1-6-5: فرضیه (تیوری) کوانتم

گسترش فزیک اتمی و هسته بر مبنای دو پیشرفت بزرگ در اندیشه‌های فیزیکی صورت گرفت. برای پیگیری توسعه بیشتر این تیوری و رسیدن به تیوری میخانیک کوانتمی، لازم است بعضی از نتایج تیوری نسبیت را بدانیم.

در سال 1905 البرت انشتاین نخستین بخش از نظریه معروف نسبیتش را عرضه کرد. او به بررسی پیامدهای دو نکته تجربی بسیار پیچیده پرداخته بود و تجارب گسترده‌یی تا آن زمان انجام داده بود و به دو نتیجه ذیل رسید:

1- با اندازه‌گیری‌های دقیق نشان داد که مقدار سرعت نور در خلاء مستقل از چگونه‌گی حالت منبع نور، برابر به $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$ است.

2- سرعت‌ها را فقط نسبت به جسم یا علامه معینی می‌توان اندازه‌گیری کرد. ما فقط می‌توانیم چیزی را نسبت به چیز دیگر، در حال سکون بدانیم، یعنی گفتن اینکه جسمی در حال سکون است، هیچ معنایی ندارد.

انشتاین متوجه شد که این دو نکته می‌توانند متضمن پیامدهای ساده حیران‌کننده باشند. او با فرض درست بودن دو نکته‌یی که در بالا ذکر شد، به نتایج ذیل رسید:

اول: هیچ نوع جسم یا انرژی را نمی‌توان با سرعت بالاتر از سرعت نور در خلاء (C) به حرکت آورد.

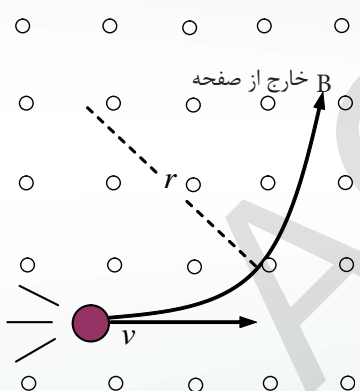
دوم: کتله هر جسمی همراه با زیاد شدن سرعت آن زیاد می‌شود.

سوم: فرض کنید که یک وسیله اندازه‌گیری زمان (هر نوع ساعت) با سرعت زیاد از مقابل شخص در حرکت است. اندازه‌گیری این شخص نشان خواهد داد که زمان تک تک ساعت در مقایسه با زمان تک تک آن ساعتی که نسبت به شخص در حال سکون است، کند تر می‌شود.

چهارم: فرض کنید که جسمی با سرعت زیاد از مقابل شخصی در حرکت است. اندازه‌گیری این شخص، طول جسم را در امتداد حرکت، کوتاه‌تر نشان خواهد داد.

از میان نتایج بالا سه نتیجه اولی برای ما در این جا از اهمیت بیشتری برخوردارند.

به طور مثال از نتیجه اول گفته می‌توانیم: هنگامی که الکترون‌ها را با سرعت‌های زیاد شتاب بدهیم، رفتارشان دیگر حالت عادی ندارد، خصوصاً وقتی که سرعت v به سرعت نور (c) نزدیک می‌شود، در این حالت حرکت آنها تابع معادلات معمولی حرکت نمی‌باشد. ما هر قدر که کوشش کنیم، نمی‌توانیم یک الکترون را به قدری شتاب بدهیم که سرعتش به c و یا بالاتر از آن برسد. در واقع، سرعت هیچ جسم یا ذره‌یی را نمی‌توان به سرعت مسیر اشعه نور در خلاء رساند. صحت نتیجه اول را می‌توان در نتیجه دوم جستجو کرد. در سرعت‌های خیلی بالا، کتله جسم همراه با سرعتش زیاد می‌شود. این خاصیت را در حرکت الکترون‌ها می‌توان نشان داد. برای این منظور الکترون‌ها را با سرعت معلوم وارد ساحة مقناطیسی می‌کنیم. می‌دانیم در این حالت نیز الکترون‌ها در مسیر دایروی به حرکت خود ادامه می‌دهند و باید قوه‌های جذب به مرکز $(\frac{mv^2}{r})$ با قوه ساحة مقناطیسی، (qVB) با هم در تعادل قرار بگیرند تا الکترون‌ها بتوانند به حرکت مستقیم‌شان ادامه دهند.



شکل (5-14)

بنابراین، از مساوی بودن این دو قوه داریم:

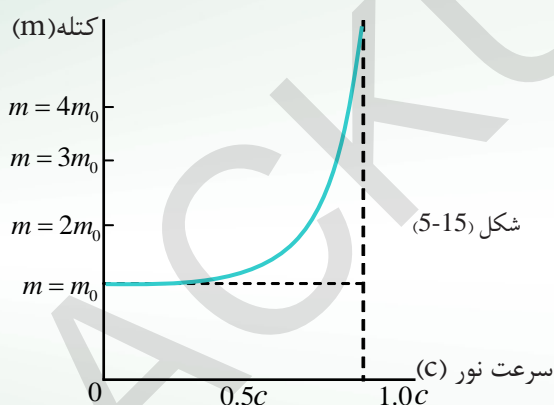
$$\frac{mv^2}{r} = qVB$$

از این رابطه قیمت m چنین حاصل می‌شود:

$$m = \frac{qBr}{V}$$

چون کتله الکترون قابل محاسبه است. در واقع این مومنتم الکترون است که می‌تواند به طور مستقیم اندازه شود. مقدار مومنتم در اینجا $mv = qBr$ است، که در آن کمیت‌های B و r با انجام دادن تجربه در لابراتوار تعیین می‌شوند. چون در عمل m را اندازه‌گیری نمی‌کنیم، از آن به عنوان «کتله ظاهری» یاد می‌کنند.

نتایج اندازه‌گیری m به صورت تابعی از سرعت در شکل (5-15) نشان داده شده است. کتله ذره را در حالتی که ساکن است (با سرعت صفر)، «کتله سکون ذره» می‌نامند و آن را به m_0 نشان می‌دهند. چنانچه در شکل می‌بینیم، کتله الکترون در سرعت‌های پایین نزدیک به m_0 است. اما وقتی که v به c نزدیک می‌شود، کتله ذره به سرعت زیاد می‌گردد. انشتاین پیش‌بینی کرد که وقتی v خیلی به c نزدیک می‌شود، کتله ذره به سمت بی‌نهایت تقرب می‌کند، $v \rightarrow c, m \rightarrow \infty$. این ادعا تا اکنون با به دست آوردن مقادیر بیشتر از هزاران مرتبه برای نسبت $\frac{m}{m_0}$ از طریق تجارب تأیید شده است. ما بر این باوریم که تمام اجسام تابع همین خاصیت هستند، یعنی با نزدیک شدن سرعت هر جسمی به سرعت نور در خلاء، کتله ظاهری آن به طور نامحدود زیاد می‌شود.



انشتاین نشان داد که کتله جسم m در هنگام حرکت از رابطه ذیل حساب شده

می‌تواند:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

در این فورمول، v سرعت الکترون نسبت به ناظر، c سرعت نور در خلاء، m_0 کتله سکون و m کتله اندازه‌گیری‌شده الکترون در وقت حرکت به وسیله ناظر است. قابل یادآوریست، وقتی $v=0$ است، کتله جسم برابر به کتله جسم در حالت سکون آن یعنی $m = m_0$ می‌شود، اما هنگامی که قیمت v به c نزدیک می‌شود ($v=c$)، مخرج معادله بالا به صفر نزدیک گردیده و کتله m به طرف لایتناهی می‌رود، یعنی $m \rightarrow \infty$. منحنی شکل گراف تغییرات معادله

مذکور را نشان می‌دهد. فورمول تغییر کتله با سرعت نه تنها برای الکترون‌ها و دیگر ذرات اتمی، بلکه برای همه اجسام متحرک معتبر است. ولی چون سرعت اجسام بزرگ‌تر از قبیل اجسامی که در زنده‌گی روزانه با آنها سروکار داریم، معمولاً در مقایسه با سرعت نور به قدری کم است که مقدار $\frac{v}{c}$ بسیار کوچک می‌شود. در این صورت مقدار $\frac{v^2}{c^2}$ فوق‌العاده کوچک تر گردیده و در نتیجه مقادیر m و m_0 به قدری به هم نزدیک می‌شوند که درباره تفاوت آن‌ها چیزی نمی‌توانیم بگوییم. به عبارت دیگر، افزایش نسبیتی کتله را عملاً فقط در مورد ذراتی می‌توان تشخیص داد که اندازه ابعاد اتمی کوچک‌تر از آن دارند و می‌توانند سرعت کوچک‌تر از c پیدا کنند. مواردی که تا به اینجا مورد بحث قرار گرفته شد، عمدتاً اهمیت تاریخی دارند، زیرا سرانجام فزیک‌دانان را به درست بودن تیوری نسبیت متقاعد کرد. تجاربی که اخیراً به عمل آمده اند، شواهد برجسته‌تری برای نارسایی فزیک نیوتنی در مورد ذراتی که سرعت بسیار زیاد دارند، فراهم آورده است. به الکترون‌ها می‌توان انرژی‌های بسیار زیاد داد. این کار با شتاب دادن به الکترون‌ها به وسیله یک ولتاژ قوی در خلاء صورت می‌گیرد. چون چارج الکترون q_e معلوم است، زیاد شدن انرژی $(q_e v)$ معلوم و کتله سکون (m_0) الکترون نیز معلوم است. و سرعت v را با تعیین نمودن مدت زمان، و مسیر الکترون را در یک فاصله معین می‌توان اندازه‌گیری کرد. بنابراین، مقایسه مقادیر انرژی حاصل $(q_e v)$ با رابطه انرژی حرکی در میخانیک کلاسیک $(\frac{1}{2}mv^2)$ ممکن می‌شود. با تجارب معلوم شده است که وقتی الکترون‌ها سرعت‌های کوچکی در مقایسه با سرعت نور دارند، این رابطه برقرار است:

$$\frac{1}{2} mv^2 = q_e v$$

باید گفت، زمانی که از فوتو الکتریک سخن می‌زنیم، رابطه فوق را به کار می‌بریم. تا این جا دانستیم که الکترون‌ها در واقع سرعت‌های کوچکی دارند، m و m_0 در آنها تقریباً برابر هستند اما وقتی که سرعت الکترون‌ها زیاد می‌شود، نسبت $\frac{v}{c}$ دیگر یک کسر کوچک نیست و کمیت $(\frac{1}{2}mv^2)$ متناسب با $q_e v$ زیاد نمی‌شود.

این ناسازگاری با زیاد شدن $q_e v$ به سبب تغییرات در m_0 زیاد می‌شود. البته زیاد شدن انرژی حرکتی هنوز هم برابر با مقدار کار انجام شده به وسیلهٔ ساحةٔ برقی $q_e v$ است. ولی چون کتله دیگر همان m_0 نیست، بنابراین انرژی حرکتی را نمی‌توان با $(\frac{1}{2}mv^2)$ اندازه‌گیری کرد. مقدار v^2 به جای آنکه پیوسته با انرژی ذخیره‌ی زیاد شود، تا حد معینی به c^2 نزدیک می‌شود. بیان زیاد شدن کتله با سرعت، بسته به این است که چگونه زیادت انرژی حرکتی با زیاد شدن کتله همراه است. هرگاه انرژی حرکتی اندازه‌گیری شود و در یک نظام عطالتی K_E باشد، افزایش کتله (Δm) اندازه‌گیری شده در آن نظام متناسب با K_E خواهد بود، یعنی: $\Delta m \propto K_E$. ولی مقدار بسیار زیادی انرژی حرکتی لازم است تا افزایش قابل اندازه‌گیری در کتله حاصل شود. ثابت تناسب بسیار کوچک در واقع به انشتاین نشان داد که این ثابت $(\frac{1}{c^2})$ است که در آن c سرعت نور در خلاء است، یعنی: $\Delta m = \frac{K_E}{c^2}$ ، پس کتلهٔ کل (m) برای یک جسم، برابر با مجموع کتلهٔ سکون (m_0) و $\frac{K_E}{c^2}$ خواهد بود، یعنی: $m = m_0 + \frac{K_E}{c^2}$ به اساس این پیشنهاد انشتاین، معادل با انرژی حرکتی، فقط یک حالت خاص است، و بنا به نظر او، به طور کلی یک رابطهٔ تساوی دقیق میان کتله و انرژی وجود دارد. پس می‌توان انتظار داشت که مقدار کتلهٔ سکون m_0 نیز باید با یک مقدار مساوی یا برابر با انرژی سکون (E_0) مطابقت داشته باشد. به طوری که $m_0 = \frac{E_0}{c^2}$ ، پس رابطهٔ قبلی را می‌توان نوشت: $m = E_0/c^2 + K_E/c^2$. اگر انرژی E را برای انرژی کل یک جسم $E = E_0 + K_E$ به کار گیریم، با تعویض قیمت‌ها در رابطهٔ فوق می‌توانیم بنویسیم: $m = E/c^2$. رابطهٔ اخیر، دقیق همان نتیجه‌گیری انشتاین در سال 1905 بود که به اساس آن، کتلهٔ یک جسم در حقیقت اندازه‌یی از محتوای انرژی آن است. این رابطه را به صورت آشنا تری که احتمالاً مشهورترین معادلهٔ فزیک است، چنین می‌نویسند: $E = mc^2$.

از توضیح معادله‌های اخیر به این اندیشه می‌رسیم که: کتله و انرژی تعبیرهای متفاوتی برای یک مشخصهٔ سیستم هستند. مناسب نیست بگوییم کتله به انرژی یا انرژی به کتله تبدیل می‌شود. بلکه می‌گوییم جسمی با کتلهٔ اندازه‌گیری شدهٔ m ، انرژی‌یی برابر $E = mc^2$ دارد.

مفاهیم ضمنی این تساوی یا برابری کتله و انرژی بسیار هیجان انگیز است. نخست آنکه دو قانون بزرگ تحفظ (بقا)، دو بیان مترادف یک قانون واحد می‌شوند. در هر سیستمی که کتله کل آن تحفظ دارد، انرژی کلی نیز بقا خواهد داشت، ثانیاً این فکر مطرح می‌شود که ممکن این مقدار از انرژی سکون به شکل‌های دیگری از انرژی مبدل شود. چون مقایسه تساوی انرژی با کتله بسیار زیاد است. پس کاهش بسیار کمی در کتله سکون با آزاد شدن مقدار عظیم انرژی، مثلاً انرژی جنبشی یا تابش الکترومقناطیسی خواهد بود.

2-6-5: طبیعت دوگانه نور

می‌خواهیم یکی از رابطه‌های کتله و انرژی را درباره کوانتم‌های نور و تأثیر متقابل آن‌ها بر اتم‌ها از نگاه نظری مورد بحث قرار دهیم، که این بحث ما از اثر فوتو الکتریک‌ها بر مودل بور متفاوت است. از بررسی اثر فوتو الکتریک دانستیم که یک کوانتم نور دارای انرژی hf است که در آن h ثابت پلانک و f فریکونسی نور است. این مفهوم در مورد شعاع‌های X نیز به کار می‌رود. می‌دانیم که شعاع‌های X مانند اشعه نور مرئی تابش‌های الکترومقناطیسی هستند. اما فریکونسی آنها از فریکونسی نور مرئی زیادتر است. با این هم، اثر فوتو الکتریک چیزی درباره اندازه حرکت یک کوانتم به ما نمی‌گوید. می‌دانیم که یک کوانتم نور دارای انرژی است، پس آیا اندازه حرکت (مومنتم) نیز دارد؟ بزرگی مومنتم p برای یک جسم به صورت حاصل ضرب کتله m و سرعت v تعریف می‌شود. یعنی: $p = m.v$. هرگاه به جای m انرژی معادل آن (E/c^2) را بگذاریم، می‌توانیم بنویسیم که: $p = EV/c^2$. معادله فوق برای محاسبه مومنتم و یا اندازه حرکتی به کار برده می‌شود که در آن از کتله نام برده نشده است. اکنون با همین معادله، اندازه حرکت یک فوتون را با انرژی E معین می‌نماییم. در اینجا به جای سرعت v سرعت نور (c) را وضع نموده و می‌توانیم بنویسیم که: $p = EC/c^2 = E/c$. برای یک کوانتم نور $E = hf$ ، هرگاه به عوض E قیمت آن hf را در رابطه بالا بگذاریم، اندازه حرکت یا مومنتم یک کوانتم نور چنین به دست می‌آید:

$$p = \frac{hf}{c}$$

طبق تیوری الکترومقناطیسی کلاسیک، وقتی یک اشعه نور (یا اشعه X) به اتم‌های موجود در یک هدف (مثلاً یک ورقه نازک فلزی) برخورد کند، نور در جهت‌های مختلف پراکنده می‌شود، ولی فریکونسی آن تغییر نمی‌خورد. جذب نور با طول موج معین به وسیله اتم ممکن است خروج مجدد نور با فریکونسی دیگر را به دنبال داشته باشد. ولی اگر موج نور به ساده‌گی پراکنده شود، طبق تیوری کلاسیک نباید تغییری در فریکونسی آن به وجود آید. ولی بنابر تیوری کوانتومی، نور از فوتون‌ها ساخته شده است و بنا بر تیوری نسبیت، فوتون‌ها دارای مومنتم هستند. کامپتون چنین استدلال کرد که در برخورد میان یک اتم و یک فوتون، قانون تحفظ مومنتم باید به کار رود. بنابرین قانون، وقتی یک جسم با یک کتله کم با جسمی که دارای کتله بزرگ و ساکن باشد برخورد نماید، جسم مذکور اندکی با کم شدن سرعت یعنی با تغییر کمی در انرژی، به عقب برمی‌گردد. ولی اگر اندازه کتله‌های دو جسم بسیار متفاوت نباشد، مقدار زیادی از انرژی را با خود انتقال می‌دهد.

کامپتون (Arthur Holly Compton (1892-1962) فزیکدان امریکایی حساب کرد که هرگاه یک فوتون با یک اتم برخورد کند، در صورتی که اندازه حرکت (مومنتم) فوتون hf/c باشد، چه مقدار انرژی باید از دست بدهد. او نتیجه گرفت که اگر یک فوتون به ساده‌گی به کل اتم برخورد کند، تغییر در انرژی آن بسیار کم است. ولی اگر یک فوتون با الکترونی برخورد کند که کتله کم دارد، فوتون باید مقدار زیادی انرژی را به الکترون منتقل کند. کامپتون نظر به تجارب خود نشان داد که فوتون می‌تواند به صورت ذره‌یی باشد، با اندازه حرکت و همچنان انرژی معین. او نشان داد که برخوردهای میان فوتون‌ها و الکترون‌ها از قانون تحفظ مومنتم و انرژی پیروی می‌کند که این دلیل دیگری برای واقعیت نظریه کامپتون که نور مانند ذره است، می‌باشد. و باید دانست که فوتون‌ها مانند ذرات معمولی نیستند که در سرعت‌های کمتر از سرعت نور وجود داشته باشند (فوتون‌های در حال سکون وجود ندارد)، بنابراین کتله سکون برای فوتون‌ها نمی‌تواند وجود داشته باشد. ولی از جهت‌های مختلف با همین خاصیت عمل پراکنده‌گی آن مانند ذرات ماده عمل می‌کند که دارای مومنتم و انرژی می‌باشند و همچنان فوتون‌ها با داشتن خواص امواج (امواجی که فریکونسی و طول موج دارند) مانند موج نیز عمل می‌کنند. در حالات مختلف گاهی نور رفتاری با خصوصیت الکترومقناطیسی دارد، یعنی به شکل امواجی اند که طول موج و فریکونسی دارند که این رفتار از خصوصیت موجی نور است. در حالت‌های دیگر و آزمایشات، نور از خود هم رفتار موجی و هم ذره‌یی نشان می‌دهد که این گونه رفتارها را غالباً خاصیت دوگانه‌گی یا طبیعت دوگانه‌یی (ذره‌یی - موجی) نور می‌گویند. پس می‌توان گفت که فوتون به هر دو (ذره و موج) شباهت دارد.

همچنان در سال 1923 لوئیس دی بروگلی (1892-1987) Louis de Broglie دانشمند فرانسوی پیشنهاد کرد که طبیعت دوگانه‌گی (موجی - ذره‌یی) نور را در مورد الکترون‌ها و دیگر ذرات اتمی نیز می‌توان به کار برد. او گفت که احتمالاً خصلت دوگانه‌گی موجی - ذره‌یی، یک خاصیت بنیادی برای تمام مراحل (پرونده‌های) کوانتومی است. نظر به این خاصیت آنچه را ما همیشه به ذرات مادی می‌دانیم، در بعضی از شرایط می‌تواند مانند موج عمل کنند. همچنان دی بروگلی، رابطه‌یی را برای دریافت طول موج ذره‌یی که مانند موج عمل می‌کند، دریافت کرد.

طوری که دیدیم، اندازه حرکت فوتون با طول موج λ برابر است با $p = \frac{h}{\lambda}$. نظر دی بروگلی آن بود که این رابطه برای فوتون‌ها استخراج شده است و در مورد الکترون‌هایی که مومنت $p = m.v$ دارند نیز به کار می‌آید. بنابراین او پیشنهاد کرد که طول موج یک الکترون عبارت از $\lambda = \frac{h}{mv}$ می‌باشد. طبق فرضیه دی بروگلی و تجارب متعدد، ثابت شده است که خاصیت دوگانه‌گی (موج- ذره) یک خاصیت عمومی نه تنها برای نور بلکه برای ماده نیز است، و امروز فقط معمول این است که کلمه ذره را برای الکترون‌ها و فوتون‌ها به کار می‌بریم و هر دوی آنها (با وجود این که تفاوت‌های بسیار مهمی میان آنها وجود دارد)، هم خواص ذرات و هم خواص امواج را دارا هستند.

3-6-5: سرعت امواج دی بروگلی

با کشف نیوتن مبنی بر اینکه امواج نورگاهی مانند فوتون‌ها عمل می‌کند، این سوال مطرح گردید که آیا ممکن است که ذرات هم گاه گاه مانند امواج عمل کنند؟ بعداً معلوم گردید که در واقع ذرات نیز یک نوع خواص موج‌گونه را دارند. این نکته در سال 1913 کشف گردید، در این سال لوئی دی بروگلی نظریه‌یی ارائه کرد که بر اساس آن، هر ذره به طول موجی وابسته است که ما این طول موج را به روش ساده بر مبنای استدلال به دست آورده می‌توانیم. طول موج و ابسته به هر ذره را می‌توان به کمک تشبیه آن ذره، به فوتون حدس زد. در مورد فوتون می‌دانیم که:

$$\text{طول موج } (\lambda) \text{ فوتون} = \frac{hc}{\text{انرژی فوتون}}$$

$$\text{یا: } \text{انرژی فوتون} = \frac{hc}{\lambda}$$

از نسبیت می‌دانیم که رابطه بین کتله و انرژی به صورت $\Delta E = (\Delta m)c^2$ است. اگرچه فوتون کتله سکون ندارد، ولی کتله معادل انرژی دارد. اگر کتله معادل انرژی فوتون را به m_{ph} نشان دهیم (ph مخفف فوتون است) می‌توان نوشت که: $m_{ph}c^2 =$ انرژی فوتون این مقدار را رابطه بالا قرار داده، طول موج فوتون را چنین به دست می‌آوریم:

$$\text{طول موج فوتون} = \frac{hc}{m_{ph}c^2} = \frac{h}{m_{ph}c} = \frac{h}{mv}$$

زیرا که mc همان mv یا مومنتم فوتون است. هرگاه هر ذره، طول موج وابسته‌یی داشته باشد، پس این طول موج را از روی استدلال می‌توانیم به صورت ذیل نوشت:

$$\text{طول موج (}\lambda\text{) ذره} = \frac{h}{\text{مومنتم ذره}} = \frac{h}{mv}$$

این طول موج فرضی ذره را طول موج دی بروگلی می‌گویند. پس طول موج دی بروگلی برای یک ذره با کتله m و سرعت v عبارت از، $(\lambda) = \frac{h}{mv}$ ذره و سرعت موج دی بروگلی عبارت از $v = \frac{h}{\lambda m}$ می‌باشد.

5-7: اصول عدم قطعیت هایزنبرگ

ما همواره چنین گفته‌ایم که می‌توانیم هر خاصیت فیزیکی را با هر صحتا که خواسته باشیم، اندازه‌گیری کنیم، و برای رسیدن به صحت اندازه‌گیری به درجه مطلوب، کافی است که وسیله حساس‌تر و دقیق‌تری طرح کنیم. ولی میخانیک موجی نشان داده است که حتا در آزمایش‌های فکری، و یا وسایل اندازه‌گیری ایده‌آل هم محدودیت‌هایی در صحت اندازه‌گیری وجود دارد.

به طور مثال، چگونه ما می‌توانیم مواضع و سرعت موتوری را که در روی جاده به آهسته‌گی حرکت می‌کند، اندازه‌گیری کنیم. برای تعیین یک موقعیت در لحظه معین، موضع قسمت پیشروی مسیر موتر را با کشیدن خطی نشانی می‌کنیم. در همان لحظه یک ستاپ واچ (ساعت توقف کننده) را سویچ می‌نماییم. موتر مسیر مورد نظر را طی می‌نماید و در لحظه‌یی که به قسمت آخر جاده رسیده، بازهم نشانی می‌کنیم و ساعت را متوقف می‌سازیم. بعداً چون جهت حرکت موتر هم معلوم است، فاصله میان دو نشانی را اندازه می‌کنیم و از تقسیم فاصله طی شده بر زمان سپری شده، سرعت متوسط موتر را به دست می‌آوریم.

پس می‌دانیم که در لحظه‌یی که موتر به قسمت نشانی شده دوم رسید، در فاصله معین از نقطه شروع در حرکت بوده و با سرعت متوسط معین مسیر خود را پیموده است. اگر عمل مذکور را در فاصله‌های کوتاه‌تری تکرار کنیم، همچنان می‌توانیم سرعت لحظه‌یی را در هر لحظه مسیر به دست آوریم.

حالا جاده و موتر را یک طرف می‌گذاریم و الکترونی را که از میان یک لامپ (گروپ) تخلیه می‌گذرد، در نظر می‌گیریم. ما کوشش می‌کنیم که موقعیت و سرعت الکترون را اندازه‌گیری کنیم. ما باید تغییراتی را در طریقه اندازه‌گیری خود به عمل بیاوریم. ما می‌دانیم که الکترون به قدری کوچک است که نمی‌توانیم جای آن را به کمک نور مرئی معین کنیم. (طول موج نور مرئی با آنکه کوچک است، ولی هنوز هم 10^4 بار بزرگ‌تر از قطر یک اتم است).

برای دریافت مکان یک الکترون در ساحه‌یی به اندازه قطر یک اتم (از یک سر تا سر دیگر در حدود $10^{-10} m$) باید از اشعه نوری استفاده کنیم که طول موج آن در حدود $10^{-10} m$ یا حتی کوتاه‌تر از آن باشد. اما فوتون که با چنین طول موج کوتاه (λ) (فریکوئسی زیاد f)، مومنتم $\frac{h}{\lambda}$ و انرژی (hf) فوق‌العاده زیادی دارد، با توجه به این می‌دانیم که این فوتون‌ها هنگامی که به وسیله الکترون‌ها پراکنده می‌شوند، مانند آنست که لگد سختی به آن زده می‌شود. در نتیجه تیزی الکترون، تغییر بسیار زیادی در جهت جدید و نامعلومی خواهد کرد. (که این مسأله جدیدی است، مسأله‌یی که در هنگام بحث درباره اندازه‌گیری موقعیت موتر، حتی درباره آن فکر هم نمی‌کردیم). از این رو وقتی ما فوتون پراکنده نشده را دریافت می‌کنیم، می‌توانیم از جهتی که دارد، نتیجه بگیریم که الکترون کجا بوده است و در این صورت در واقع، مکان الکترون را یافته‌ایم. اما در این پروسه سرعت الکترون را هم از نظر بزرگی و هم از نظر جهت تغییر داده ایم. واضح بگوییم، اگر چه می‌توانیم جای الکترون را (با استفاده از طول موج کوتاه‌تر) با صحت بیشتری معین کنیم، ولی سرعت آن با صحت کمتری معلوم می‌شود. ما می‌توانیم با فوتون‌های کم‌انرژی‌تر، برانگیخته‌گی الکترون را کمتر کنیم. ولی چون نور به صورت کوانتم‌های hf انرژی وجود دارد، فوتون‌های کم‌انرژی‌تر، طول موج‌های بزرگ‌تری خواهند داشت. بنابراین عدم قطعیت بیشتری در دقت موقعیت الکترون حاصل می‌شود.

خلاصه آنکه ما نمی‌توانیم همزمان هم مکان و هم سرعت یک الکترون را با صحت و دقت کامل اندازه‌گیری کنیم، این نتیجه‌گیری را اصل عدم قطعیت می‌گویند که نخستین بار به وسیلهٔ ورنرهایزنبرگ (1901-1976) Werner Heisenberg فزیکدان جرمنی بیان شده است. اصل عدم قطعیت را می‌توان به طور کمی با فورمول ساده‌یی که از معادلهٔ موجی شرودینگر برای حرکت ذرات استخراج شده است، بیان کرد. هرگاه Δx عدم قطعیت در مکان و (Δp) عدم قطعیت در مومنتم باشد، به سویه‌های بالا ثبوت خواهید کرد که حاصل ضرب دو عدم قطعیت باید برابر یا بزرگ‌تر از ثابت پلانک بر 2π باشد، یعنی: $\Delta x = \frac{\lambda}{2\pi}$

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$

همین استدلال و معادله در مورد تجارب موتر صادق است، ولی محدودیت آن برای جسم‌هایی که کتله‌های زیاد دارند، نتیجهٔ عملی ندارد. فقط در مقیاس اتمی است که این محدودیت آشکار و حایز اهمیت می‌باشد.

خلاصه فصل پنجم

- اساس فزیک جدید را نظریه‌های نسبیت و کوانتومی تشکیل می‌دهد. نظریات نسبیت مربوط مطالعه پدیده‌ها در سرعت‌های بسیار زیاد (نزدیک به سرعت نور) است.
- نظریات کوانتومی به مطالعه پدیده‌هایی در اندازه‌های بسیار کوچک مانند مالیکول‌ها، اتم‌ها و ذره‌های کوچکی که اتم‌ها را می‌سازند، می‌پردازد. ذراتی که اتم‌ها را می‌سازد، به نام ذرات تحت اتمی یاد می‌شوند.
- امواج الکترومقناطیسی که از سطح اجسام در هر درجه حرارت پخش می‌شود، تابش حرارتی از سطح اجسام گفته می‌شود. اگر در یک طیف بین طول موج‌ها فاصله نباشد، آن طیف را طیف پیوسته می‌گویند.
- جسمی که بتواند همه طول موج‌های وارده را به طور کامل جذب کند، جسم سیاه گفته می‌شود. نسبت مقدار انرژی تابشی جذب شده توسط هر جسم بر انرژی تابشی وارده بر جسم را ضریب جذب آن جسم می‌نامند که به $a\lambda$ نمایش داده می‌شود.
- شدت تابشی یک جسم مساوی است با مقدار مجموع انرژی امواج الکترومقناطیسی که در یک ثانیه از واحد سطح آن جسم پخش می‌شود.
- تابنده گی (درخشنده گی) یک جسم در هر طول موج مساوی است با مقدار انرژی موج‌های الکترومقناطیسی با طول موج‌های بین λ و $\lambda + \Delta\lambda$ که در واحد زمان از واحد سطح جسم پخش می‌شود.
- طیف نور پخش شده از بخار هر عنصر را طیف اتمی آن عنصر می‌نامند و طیف حاصل از نور پخش شده از بخار عناصر را طیف پخش و یا نشری آن اتم می‌نامند. طیف نور سفیدی را که بعضی از خط‌ها یا طول موج‌های آن جذب شده باشد، طیف جذبی می‌نامند.
- بنابر نظریه ماکس پلانک، مقدار انرژی‌یی که جسم به صورت موج‌های الکترومقناطیسی منتشر می‌کند، همواره مضرب تامی از یک مقدار ثابت است که این مقدار ثابت به فریکونسی موج الکترومقناطیسی بسته گی دارد. مطابق این نظریه، انرژی یک موج الکترومقناطیسی با فریکونسی ν برابر است. $E = nh\nu$ در این رابطه n یک عدد تام مثبت است و ضریب h مقدار ثابتی است که به نام ثابت پلانک یاد می‌شود و n تعداد کوانتم‌ها را مشخص می‌سازد که به نام عدد کوانتومی یاد می‌شود.
- در سال 1988 میلادی هانریچ هرترز دانشمند آلمانی مشاهده کرد، وقتی نوری با طول موج بسیار کوتاه مانند نور بنفش، به کلاhek فلزی یک برق‌نما که دارای چارج منفی است بتابد، باعث تخلیه برق‌نما می‌شود، که این تخلیه الکتریکی (برقی) به دلیل جدا شدن الکترون‌ها از سطح یک فلز توسط تابانیدن نور به آن را پدیده فوتوالکتریک، و الکترون‌های منتشر شده از سطح فلز را فوتوالکترئون می‌نامند.

• بور مودل خود را برای اتموم هایدروجن که یک الکترون دارد، ارایه کرد که این مودل مبتنی بر آن است.

1. الکترون‌ها تنها روی مدارهای دایره‌یی با شعاع‌های معینی حرکت می‌کنند که این مدارها، مدارهای ثابت (stationary orbits) نامیده می‌شود.

2. در اتم بعضی حالت‌های خاص حرکتی به نام حالت‌های ثابت وجود دارد که در این حالت‌ها، دیگر طبق معمولی (اصول فزیک کلاسیک) الکترون انرژی الکترومقناطیسی بخش نمی‌کند، که در این وضعیت می‌گوییم: الکترون در یک حالت ثابت است.

3. شعاع مدارهای ثابت، مقدارهای مشخص گسسته‌یی می‌توانند داشته باشند. اگر شعاع اولین مدار را برابر به a_0 بگیریم، شعاع‌های مجاز ممکنه از رابطه ذیل به دست می‌آید.

$$r_n = a_0 n^2$$
$$r = 2.3.....$$

که در این رابطه، توان n یک عدد صحیح است.

4. بور هم‌چنین فرض کرد که اگرچه الکترون ثابتی که در یک حالت ثابت خاص، با انرژی E_m نمی‌تابد، اما می‌تواند با رفتن به سطح (سویه) انرژی پایین‌تر E_{n2} ، بتابد. در این صورت در سویه پایین‌تر، انرژی الکترون کم‌تر از انرژی سویه اولی آن است، یعنی $E_{n2} < E_{n1}$ و اختلاف انرژی به صورت کوانتم یا فوتون نوری ظاهر می‌شود، که این اختلاف انرژی بین سویه‌ها برابر است با: $h\nu = E_{n1} - E_{n2}$

• در 8 نوامبر سال 1893 رونتگن فزیکدان مشهور جهان که مصروف تجربه با شعاع‌های کتود بود، شعاع جدید و ناشناخته‌یی را کشف کرد. او در تجربه خود نور ضعیفی بر روی دستگاه کوچکی که در نزدیکی‌اش بود، مشاهده کرد. رونتگن نشان داد که شعاع X از محل تولید به خط مستقیم منتشر می‌شود و صفحه عکاسی را نیز سیاه می‌کند. او به تفصیل توانایی نفوذ شعاع X را در مواد مختلف مانند کاغذ، چوب، المونیم، پلاتین و سرب شرح کرد. او گفت که توانایی نفوذ این شعاع‌ها از مواد سبک مانند کاغذ، چوب، گوشت بیشتر از مواد متراکم مانند پلاتین، سرب و استخوان است. از این شعاع زیاده‌تر در طبابت استفاده می‌شود.

• نظریه نسبیت انشتاین بیان می‌دارد که:

1- هیچ نوع جسم یا انرژی را نمی‌توان با سرعتی بالاتر از سرعت نور (C) در خلاء به حرکت آورد.

2- کتله هر جسمی همرا با زیاد شدن سرعت آن زیاد می شود، کتله جسم را هنگامی که سرعت آن

برابر $v = 0$ باشد، کتله سکون را m_0 می نامند. انشتاین نشان داد که: $m = m_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ است.

3- فرض کنید که یک وسیله اندازه گیری زمان (هر نوع ساعت) با سرعت زیاد از مقابل شخصی در حرکت است. اندازه گیری این را نشان خواهد داد که کار تک تک ساعت در مقایسه با کار همان ساعت که نسبت به شخصی در حال سکون است، کندتر می شود.

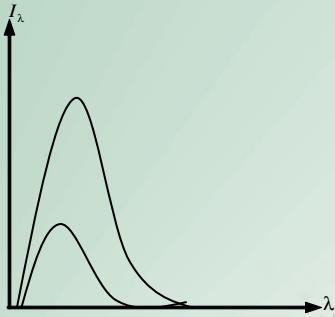
• کامپتون در اثر تجربه خود نشان داد که یک فوتون را می توان مانند یک ذره دانست که دارای اندازه حرکت و هم چنان دارای انرژی معین است و همچنان او نشان داد که برخوردهای میان فوتون ها و الکترون ها از قانون تحفظ مومنتم (اندازه حرکت) و انرژی پیروی می کند. همچنان کامپتون گفت که فوتون ها در حال سکون وجود ندارند. بنابراین کتله سکون برای فوتون ها نمی تواند وجود داشته باشد. همچنان او گفت که فوتون ها در بعضی جهت ها مانند ذرات ماده عمل می کنند، با اندازه حرکت و انرژی معین و در بعضی حالت ها مانند امواج عمل می کنند که دارای فریکانس و طول موج هستند، همچنان رفتار الکترومقناطیسی دارند. دی بروگلی فزیکدان فرانسوی پیشنهاد کرد که خاصیت دوگانه گی موجی - ذره یی تابش را در مورد الکترون ها و دیگر ذرات اتمی نیز می توان به کار برد. او گفت که احتمالاً خاصیت دوگانه گی (موجی - ذره یی) یک خاصیت بنیادی برای تمام پروسه های کوانتمی است و آنچه را ما همواره ذرات مادی می دانیم، در بعضی شرایط می توانند مانند موج عمل کنند.

نظریه دی بروگلی چنین بود که هر ذره به طول موجی وابسته است. طول موج موج وابسته به هر ذره را به کمک تشبه آن با ذره فوتون می توان حدس زد. طول موج دی بروگلی برای ذره یی با کتله m و سرعت v عبارت از: $h/mv = \text{طول موج ذره } (\lambda)$

• مکان الکترونی که دارای سرعت زیاد است، در نتیجه تیزی الکترون تغییر بسیار زیادی در جهت جدید و نامعلوم پیدا می کند. ما می توانیم از جهتی که دارد نتیجه گیری کنیم که الکترون ها کجا بوده و جهت آن کدام است. خلاصه اینکه ما نمی توانیم هم مکان و هم سرعت یک الکترون را با صحت محدود اندازه گیری کنیم. این نتیجه گیری در اصل عدم قطعیت نخستین بار توسط ورنر هایزنبرگ بیان شد. اصل عدم قطعیت را می توان به طور کمی یا فورمول ساده یی که از معادله موجی شرودینگر برای حرکت ذرات استخراج شده است، بیان کنیم.

هرگاه Δx عدم قطعیت در مکان و Δp عدم قطعیت در اندازه حرکت باشد، در این صورت حاصل ضرب دو عدم قطعیت برابر یا بزرگ تر از ثابت پلانک بر 2π است، یعنی: $\Delta x \Delta p \geq h/2\pi$

سؤال‌های فصل پنجم



1- در شکل مقابل، تابنده‌گی دو جسم سیاه و غیر سیاه با عین درجه حرارت نشان داده شده است، با دلیل توضیح دهید که کدام یک از منحنی‌ها مربوط به جسم سیاه و کدام یک مربوط به جسم غیرسیاه است.

- 2- تابش پخش شده از سطح هر جسم به کدام عوامل بسته‌گی دارد؟ توضیح دهید.
 3- نخستین نظریه از نظریه‌هایی که مبانی میخانیک کوانتومی را تشکیل می‌دهد، توسط کدام دانشمند فزیک ارائه شد؟
 4- نارسایی‌های فزیک کلاسیک در توجیه پدیده‌ها چه بود؟ از آنچه در مورد آموخته‌اید، چند سطر بنویسید.
 5- چه چیز سبب شد که تحقیقات تازه در مورد شناخت ماده و ساختمان اتم آغاز شود؟

- 6- شعاع ایکس (x) برای اولین بار توسط کی و چطور کشف گردید؟
 7- نظریه کامپتون را راجع به طبیعت دوگانه نور بنویسید
 8- بنابر اصول قطعیت، موقعیت و سرعت الکترون‌ها را چگونه تعیین می‌نماییم؟

سؤالات چهار جوابه:

1- واحد ثابت ماکس پلانگ عبارت از:

الف: الکترون ولت ev ب: الکترون ولت فی ثانیه ev/s

ج: ژول ثانیه $J.s$ د: ژول فی ثانیه J/s

2- در پدیده فوتوالکتریک مقدار ولتاژ متوقف کننده به چه عامل‌هایی بسته‌گی دارد؟

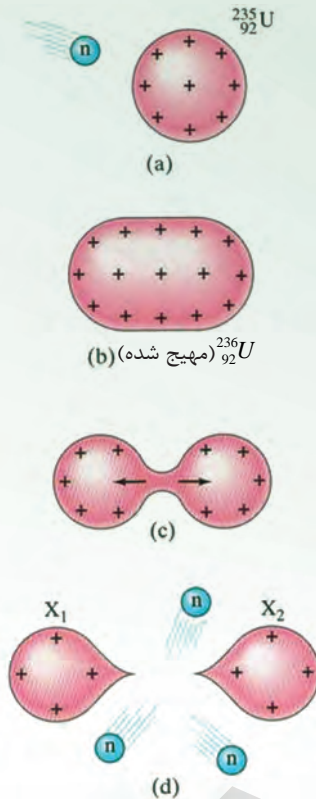
الف: بزرگی سطح الکتروود فلزی و شدت نور وارده ب: فریکونسی نور وارده

ج: فریکونسی نور وارده و جنس الکتروود فلز

3- معادله سرعت دوپروگلی عبارت از:

الف - $h\nu$ ب - h/mv ج - $h/\lambda m$ د - $v = d/t$

فیزیک هسته‌ای



قبلاً با برخی از مفهومی‌های فیزیک اتمی جدید آشنا شدیم. نظریه‌های نسبیت و کوانتومی در سده بیستم میلادی، فیزیک را به طور کامل متحول ساخت. امروز دانشمندان به کمک مفهومی‌ها و نظریه‌های مکاتب کوانتومی، برای بسیاری از پدیده‌ها به توجیه‌های کاملاً سازگار با تجربه دست یافته‌اند.

اولین تجارب را، رادرفورد در بمباردمان اتم‌ها توسط اشعه‌ی الفا (α)، نشان داد که هسته‌ی اتم بسیار کوچک اما دارای بخش اعظم کتله است. او نتیجه گرفت که همه‌ی هسته‌ها دارای پروتون‌اند. اما کتله‌ی هسته‌ها بیشتر و چارج آن‌ها کمتر از مقداری است که با توجه به تشکیل آن‌ها از پروتون در هسته انتظار می‌رود. پس باید در هسته، نوعی ذرات خنثایی یا ترکیب برقی خنثا از ذرات با چارج مخالف وجود داشته باشد. معمای ذرات خنثا تا سال 1932 حل نشده باقی ماند.

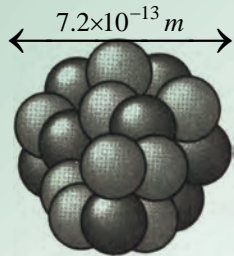
فاصله متوسط میان پروتون‌ها در هسته خیلی کم است، بنابراین قوه دافعه برقی میان آن‌ها بسیار بزرگ است. اگر یک قوه جاذبه بزرگ‌تر برای اتصال پروتون‌ها و نیوترون‌ها وجود نداشته باشد، این قوه به شدت پروتون‌ها را از هم دور خواهد کرد.

در این فصل، یکی از موضوع‌های اساسی که در فیزیک جدید اتمی مطرح می‌شود، یعنی ساختار هسته‌ی اتم و برخی از ویژگی‌ها و عکس‌العمل‌های مربوط به آن را مورد مطالعه قرار می‌دهیم و شما با مفاهیمی از قبیل انرژی بسته‌گی هسته‌یی، رادیواکتیو طبیعی، رادیواکتیو مصنوعی، ایزوتوب‌های رادیواکتیو، انشقاق هسته، تعامل زنجیره‌یی، گداز هسته‌یی و ریکتور هسته‌یی آشنایی حاصل خواهید کرد.

1-1-6: اندازه و ساختار هسته

آیا می‌دانید که چه وقت و توسط کدام شخص مطالعهٔ اندازه و ساختار هسته آغاز یافت؟ و چه نتیجه‌یی از آن به‌دست آمد؟

سال 1896 میلادی را می‌توان زمان آغاز مبحث فزیک هسته‌یی دانست. زیرا در این سال بود که هنری بیکورل (Becquerel Henri) تشعشعات رادیواکتیو (Radio Active) و ترکیب‌های یورانیوم (U) را کشف کرد.



شکل (6-1)

از آن پس، دانشمندان دیگری با انجام تجارب متعدد و ارائهٔ مدل‌ها و نظریه‌های به‌خصوص در مورد میخانیک کوانتم،

به گسترش و تکمیل این بحث پرداختند.

محاسبات رادرفورد (Rutherford) آشکار ساخت که شعاع هسته‌ها بزرگ‌تر از حدود $10^{-14} m$ نمی‌باشد که بنابر کوچکی طول شعاع آنها در فزیک هسته، فیمتومتر fm به‌حیث واحد مناسب قبول شده است، که آن‌را بعضی اوقات فرمی ($fermi$) هم می‌گویند و فرمی برابر به $10^{-15} m$ می‌باشد.



فعالیت

در یک میدان ورزشی ناحیه‌یی را مشخص کنید که ابعاد آن به همان اندازه کوچک‌تر از ابعاد سطح میدان است که ابعاد هستهٔ اتوم کوچک‌تر از ابعاد خود اتوم می‌باشد. فکر کنید و دربارهٔ با گروپ‌ها به بحث بپردازند.

هستهٔ هر اتوم شامل تعداد معینی پروتون و نیوترون است، به جز هستهٔ اتوم هایدروجن معمولی که تنها یک پروتون دارد. پروتون (Proton) ذره‌یی است با چارج $+e$ ، ولی نیوترون (Neutron) از نظر برقی خنثا می‌باشد. پروتون‌ها و نیوترون‌ها را به طور کلی ذرات هسته می‌نامند. مقدار چارج و کتلهٔ ذره‌های سازندهٔ اتوم‌ها در صفحهٔ یک‌صد و چهل و سوم کتاب نمایش داده شده است.

تعداد پروتون‌های هسته هر اتم را عدد (نمبر) اتمی می‌نامند و آن را با Z نشان می‌دهند. به این ترتیب، چارج کل هسته $+ze$ است. می‌دانیم که اتم از نظر چارج برقی خنثا است. از این رو باید تعداد پروتون‌های موجود در هسته یک اتم با تعداد الکترون‌های آن اتم برابر باشد. همان‌گونه که گفتیم، هر هسته علاوه بر پروتون‌ها، تعدادی نیوترون نیز دارد. تعداد نیوترون‌های موجود در یک هسته را عدد نیوترونی آن هسته می‌نامند و آن را N با نمایش می‌دهند. به این ترتیب، تعداد کل نوکلئون‌های هر هسته برابر است با $Z + N$ است که این مقدار را عدد (نمبر) کتله اتمی می‌نامند و آن را با A نمایش می‌دهند، یعنی:

$$A = Z + N \dots\dots\dots(1)$$

با توجه به آنچه گفته شد، در فیزیک هسته‌یی، علامهٔ کیمیایی یک اتم X را به صورت زیر نمایش می‌دهند:

$$x \cong {}_Z^AX^N \text{ (هسته اتم)}$$

واضح است که اگر مقدار N را ننویسیم، باز هم می‌توانیم علامهٔ کیمیایی X را با ${}_Z^AX$ نمایش دهیم.

مثال: ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ هستهٔ اتم آهن است که 26 پروتون و $N = 56 - 26 = 30$ نیوترون دارد. همچنان به مثال‌های زیر دقت شود:

$${}_1^1H \text{ یا } {}_1^0H \cong \text{اتم هایدروجن}$$

$${}_2^4He \text{ یا } {}_2^4He^2 \cong \text{هسته اتم هلیوم}$$

$${}_{29}^{63}\text{Cu} \text{ یا } {}_{29}^{63}\text{Cu}^{34} \cong \text{هسته اتم مس}$$

اتم هر عنصر، تعداد پروتون‌های مشخص دارد، به این معنی که هیچ دو اتمی که از یک جنس نباشند، تعداد پروتون‌های برابر با هم ندارند. از این رو عدد Z به طور کامل مشخص می‌کند که هسته، مربوط به کدام عنصر است. به همین دلیل گاهی برای ساده‌گی بیشتر، از مقدار N در علامهٔ هسته صرف نظر می‌کنند؛ زیرا با مشخص شدن علامهٔ کیمیایی مربوط، مقدار N هم مشخص می‌شود.



سوالات

- 1- ابعاد هستهٔ اتوم به چه اندازه از ابعاد اتوم کوچک تر است.
- 2- در فزیک هسته‌یی، علامهٔ کیمیایی یک اتوم را به کدام شکل می‌توان نمایش داد؟ مثال بیاورید.

مثال: ماده‌یی که در نخستین بمب هسته‌یی به کار رفت، یورانیوم 235 بود. فراوانی این ایزوتوپ یورانیوم طبیعی فقط در حدود 0.715 درصد است. یورانیوم، عنصر شماره 92 در جدول دوره‌یی عناصر است. تعداد هر کدام از نیوترون‌ها و پروتون‌های موجود در یورانیوم 235 چقدر است؟

حل: نظر به سوال داریم که: $Z = 92$ و $A = 235$
 پس تعداد پروتون‌های موجود در هر هسته برابر به 92 است. چون نیوترون‌ها از تفاضل $(A - Z)$ به دست می‌آید، پس تعداد آنها برابر به 143 می‌شود و علامهٔ مشخصهٔ این ایزوتوت به صورت $({}_{92}^{235}U)$ نشان داده می‌شود.

2-1-6: قوهٔ هسته‌یی

دیدیم که هسته از نیوترون‌های بی‌چارج و پروتون‌های دارای چارج مثبت تشکیل شده است. اکنون این سوال مطرح می‌شود که چه قوه‌یی این ذرات هسته را در کنار یک دیگر نگه می‌دارد؟

در فصل قبل دیدیم که قوه‌یی که بر الکترون‌ها در مدارهای اتمی وارد می‌شود، قوهٔ شناخته شدهٔ جاذبهٔ برقی بین چارج‌های مخالف است. اما واضح است که این قوه‌یی نیست که ذرات را در هسته نگه می‌دارد. زیرا اولاً، نیوترون بی‌چارج است و قوهٔ برقی بر آن اثر نمی‌کند. ثانیاً پروتون‌ها چارج مثبت دارند و قوهٔ برقی بین آنها دافعه‌یی است. ممکن است تصور شود که قوهٔ جاذبه‌یی بین ذرات هسته، آنها را در کنار یک‌دیگر نگه می‌دارد. در حالی که چنین هم نیست، زیرا قوه‌های جاذبه‌یی موجود بین ذرات هسته، آن قدر کوچک‌تر از قوه‌های دافعهٔ برقی بین پروتون‌ها است، که می‌توان آنها را نادیده گرفت. دانشمندان از مجموع مطالعات و آزمایش‌های موجود نتیجه گرفته‌اند که باید قوهٔ دیگری بین ذرات هسته وجود داشته باشد تا آنها را در کنار یک‌دیگر نگه‌دارد و این قوه را قوهٔ هسته‌یی نامیده‌اند.

قوة هسته‌یی در فاصله بسیار کوچک، یعنی تنها بین ذره‌های هسته که به فاصله خیلی کم (در حدود 2 fm) از یکدیگر قرار دارند، عمل می‌کند. مقدار این قوه زیاد و قابل ملاحظه است. قوه جاذبه هسته‌یی بین دو پروتون با چنین فاصله کم از یکدیگر، بسیار قوی‌تر از قوه دافعه برقی بین آنهاست. از این رو قوه هسته‌یی را قوه عظیم نیز می‌نامند.



سوالات

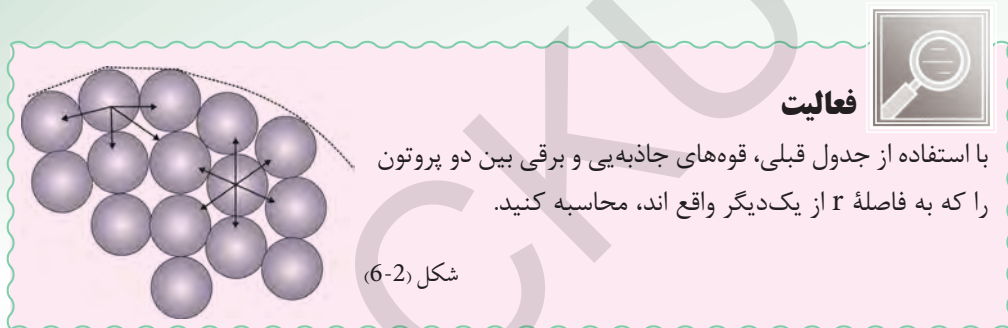
1. قوه هسته‌یی کدام قوه را گویند؟
2. پروتون و نیوترون از هم چه فرقی دارند؟

6-1-3: ایزوتوپ یعنی چی؟

هسته‌های یک عنصر کیمیایی معین را که تعداد نیوترون‌های متفاوت و در نتیجه نمبر کتله اتمی متفاوت دارند، ایزوتوپ‌های آن عنصر می‌نامند. تعداد نیوترون‌های موجود در هسته اتم یک ماده کیمیایی معین (برخلاف تعداد پروتون‌های آن) ثابت نیست. به‌طور مثال: هسته‌های عنصر کربن دارای سه ایزوتوپ ${}^6_{12}\text{C}$ ، ${}^7_{13}\text{C}$ ، ${}^8_{14}\text{C}$ است که در این میان، فراوانی ${}^{12}\text{C}$ در طبیعت 98.9 درصد و فراوانی کربن ${}^{13}\text{C}$ برابر به 1.1 درصد است، اما کربن ${}^{14}\text{C}$ به کلی در طبیعت یافت نمی‌شود. لذا آن را در آزمایشگاه و در حین برخی از پروسه‌های هسته‌یی به دست می‌آورند. اتم هایدروجن سه ایزوتوپ دارد که عبارتند از: ${}^1_1\text{H}$ ، ${}^2_1\text{H}$ و ${}^3_1\text{H}$ این ایزوتوپ‌ها دارای خاصیت‌های بسیار متفاوتی هستند.

نام ذره	چارج (کولمب)	كتله (Kg)	شعاع (fm)
الکترون	$-1.6 \times 10^{-19} = -e$	$9.1 \times 10^{-31} = Me$	غیر قابل اندازه‌گیری با وسیله‌های موجود
پروتون	$+1.6 \times 10^{-19} = +e$	$1.67 \times 10^{-27} = Mp$	1.2
نیوترون	صفر	$1.68 \times 10^{-27} = Mn$	1.2

از این رو آن‌ها را به نام‌های متفاوت می‌خوانند. هایدروجن معمولی (که تنها یک پروتون داشته و نیوترون ندارد)، سبک‌ترین و متداول‌ترین ایزوتوپ هایدروجن است. 99.985 درصد هایدروجنی که در طبیعت یافت می‌شود، از این نوع است. ایزوتوپ بعدی (2_1H) که دوتریوم نامیده می‌شود، با علامه 2_1D نیز نشان داده می‌شود. دوتریوم یک پروتون و یک نیوترون دارد و بسیار نادر است، چنان‌چه محض 0.015 درصد هایدروجنی که در طبیعت یافت می‌شود، از این نوع می‌باشد. ایزوتوپ نوع سوم هایدروجن (3_1H) بوده و ترینیوم نام دارد که با علامه 3_1T نشان داده می‌شود و در طبیعت در مقابل هر 10^8 اتم هایدروجن معمولی فقط یک ایزوتوپ (3_1T) وجود دارد.

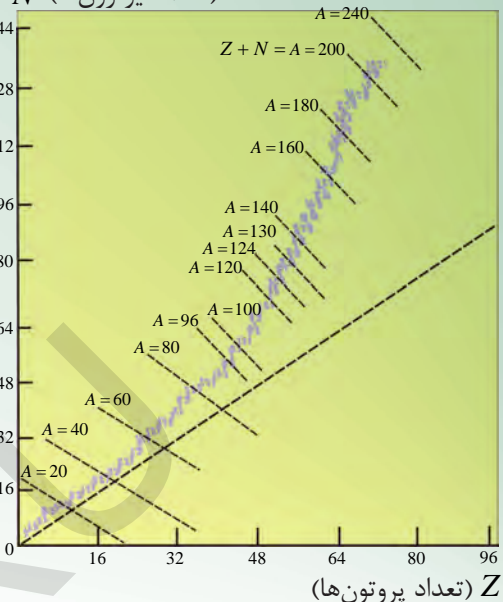


4-1-6: پایداری هسته‌ها

به تصور شما، هسته چه وقت پایدار بوده می‌تواند؟ می‌دانیم که قوه دافعه برقی بین پروتون‌ها سعی بر از هم پاشیدن یا متلاشی شدن هسته‌ها را دارد؛ اما چون قوه جذب هسته‌یی بر این قوه غلبه دارد، هسته پایدار می‌ماند. هر چه تعداد ذره‌های داخل یک هسته بیش‌تر باشد، هسته بزرگ‌تر و فاصله بین ذرات هسته زیادتر می‌شود و در نتیجه تعادل بین قوه‌ها، ضعیف و هسته ناپایدارتر می‌گردد. این گونه ایزوتوپ‌ها را ناپایدار می‌نامند. با گذشت زمان، در هسته ایزوتوپ‌های ناپایدار تغییراتی صورت می‌گیرد که در نتیجه، آن‌ها به هسته‌های پایدار تبدیل می‌شوند. این گونه تغییرات، به صورت خود به خود رخ می‌دهد. بیشتر ایزوتوپ‌هایی که اکنون در طبیعت وجود دارند، ایزوتوپ‌های پایدار اند.

اما در هنگام تشکیل منظومه آفتاب (در حدود 4 میلیارد سال قبل) تعداد ایزوتوپ‌های ناپایدار موجود در زمین، بیشتر از تعداد کنونی آنها بوده است. در واقع بسیاری از آن ایزوتوپ‌ها در طول زمان، در اثر متلاشی شدن، به عنصرهای دیگر تبدیل شده اند. متلاشی شدن بر خی از ایزوتوپ‌ها بسیار سریع است. در حالی که متلاشی شدن برخی دیگر به قدری بطی و کند است که تعدادی از آنها از آغاز پیدایش زمین تا کنون هم کاملاً از بین نرفته اند. عدد اتمی عنصرهایی که در طبیعت وجود دارند، در محدوده $1 \leq Z \leq 92$ و عدد نیوترونی آن در محدوده $0 < N \leq 146$ قرار دارد. Z و N هسته‌های طبیعی در شکل (3-6) نشان داده شده است.

(تعداد نیوترون‌ها) N



Z (تعداد پروتون‌ها)
شکل (3-6)

فعالیت



- با توجه به شکل قبلی و مباحثه با گروه خود، به سوال‌های زیر جواب بدهید.
- خط راست (خط نقط چین) به چه مقدارهایی از ذرات N ، Z و A مربوط می‌شود.
 - آیا نسبت تعداد نیوترون بر تعداد پروتون برای هسته‌های پایدار مختلف ثابت است یا تغییر می‌کند؟ اگر تغییر می‌کند، این تغییر چگونه است؟
 - ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از شکل تشخیص داد؟

تمام عنصرهایی که نمبر اتمی آنها بزرگ‌تر از $Z = 83$ است، ناپایدار اند. این عنصرها به تدریج از کره زمین ناپدید می‌شوند. رادیوم، تورיום و یورانیوم از جمله این عنصرها هستند. ایزوتوپ‌های ناپایدار را می‌توان در ریاکتورهای هسته‌ای به طور مصنوعی تولید کرد. علاوه بر این، ذره‌های پرنرژی فضایی هم که به آنها اشعه کیهانی می‌گویند، هنگام رسیدن به زمین و برخورد با هسته‌های پایدار، به صورت ناپایدار درمی‌آیند.



سوالات

1. چطور هسته ناپایدار می گردد؟
2. معلومات خویش را در مورد N و Z هسته های طبیعی با هم درمیان بگذارید و نتیجه بگیرید.

1-2-6: انرژی بسته گی هسته

اندازه گیری دقیق کتله هسته، نشان داده است که کتله هسته از مجموع کتله ذرات تشکیل دهنده آن کمتر است. یعنی اگر کتله هسته را با M_x نشان دهیم، داریم:

$$M_x < ZM_p + NMn.....(2)$$

اگر این اختلاف کتله را ΔM بنامیم، پس: $\Delta M = (ZM_p + NMn) - M_x$ بوده و می توانیم

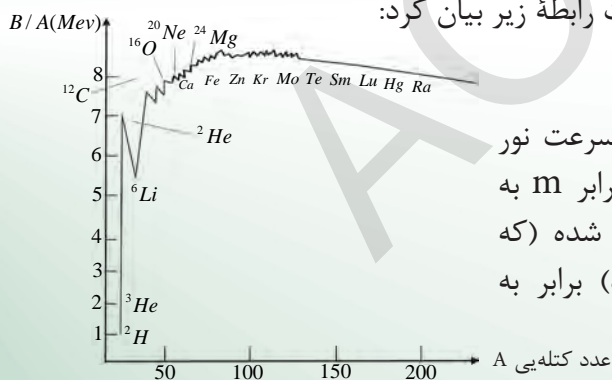
$$M_x = (ZM_p + NMn) - \Delta M(3)$$

بنویسیم:

حال سوال می شود که این اختلاف کتله به چه دلیل وجود دارد و کتله کم شده کجا رفته است؟ جواب این سوال را نظریه نسبیت انشتین می دهد. بنا بر نظریه انشتین، کتله و انرژی شکل های مختلفی از یک کیمت فیزیکی اند، بنا بر این می توانند تحت شرایطی به یکدیگر تبدیل شوند. وی نظریه خود را به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$E = mc^2(4)$$

در این رابطه E انرژی، m کتله و c سرعت نور است. براساس این رابطه اگر کتله یی برابر m به انرژی تبدیل شود، مقدار انرژی ایجاد شده (که انرژی معادل آن کتله نامیده می شود) برابر به $E = mc^2$ خواهد بود.



شکل (4-6)



سؤال

انرژی معادل کتله یک پروتون را بر حسب ژول و الکترون ولت حساب کنید.

حل: برای کتله پروتون داریم:

$$m = M_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = mc^2 = (1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \quad \text{پس}$$

$$E = 1.503 \times 10^{-10} \text{ J}$$

با توجه به آن که یک ژول برابر به 6.25×10^{18} الکترون ولت است داریم:

$$E = 1.503 \times 10^{-10} \times 6.25 \times 10^{18} \text{ ev} = 939.375 \times 10^6 \text{ ev}$$

بنا بر نظریه نسبیت و با توجه به رابطه انشتین، دو اصل تحفظ کتله و تحفظ انرژی، در یک اصل به صورت زیر بیان می‌شود:

مجموع تمام کتله و انرژی در تأثیرات متقابل ثابت می‌ماند.

واضح است که در محاسبه این مجموع، باید کتله را برحسب انرژی معادل آن در نظر بگیریم. اکنون می‌توانیم جواب این سوال که اختلاف کتله بین هسته و ذرات موجود در آن (ΔM) کجا رفته است را این طور توضیح دهیم که این تفاوت کتله به انرژی تبدیل شده است. به عبارت دیگر، هنگامی که ذرات در هسته گرد هم آمده اند، مقداری انرژی از دست داده اند که اندازه این انرژی از رابطه زیر که آن را انرژی بسته‌گی هسته‌یی می‌نامند و با B نشان می‌دهند، به دست می‌آید.

$$B = \Delta Mc^2 \dots\dots\dots(5)$$

اگر بخواهیم ذرات تشکیل دهنده هسته را از یکدیگر دور کنیم، باید مقدار انرژی برابر با انرژی بسته‌گی هسته، به هسته بدهیم. هر چه انرژی بسته‌گی یک هسته بیش‌تر باشد، آن هسته پایدارتر است. با توجه به مطالب بالا می‌توانیم بنویسیم:

$$B = (ZM_p + NMn - M_x) c^2 \dots\dots\dots(6)$$

انرژی بسته‌گی هسته را معمولاً بر حسب Mev (میگا الکترون ولت) که برابر با 10^6 ev است حساب می‌کنند.

مثال: هسته اتوم دوتریوم، یک پروتون و یک نیوترون دارد. این هسته که دوتریوم نامیده می‌شود، کتله‌یی برابر به $3,34 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$ دارد، انرژی بسته‌گی دوتریوم را محاسبه کنید.

حل: با استفاده از رابطه $B = (ZM_p + NM_n - M_x)c^2$ داریم:

$$B = (1,67 \cdot 10^{-27} + 1,68 \cdot 10^{-27} - 3,34 \cdot 10^{-27}) \times (3 \cdot 10^8)^2$$

$$B = 0,01 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 9 \cdot 10^{-13} J$$

$$1J = 6,25 \cdot 10^{18} ev$$

چون:

$$B = (9 \cdot 10^{-13} \cdot 6,25 \cdot 10^{18}) ev = 56,25 \cdot 10^5 ev = 5,625 Mev$$

پس:

2-2-6: سطوح انرژی یا ترازهای انرژی هسته

انرژی ذرات در هسته نیز مانند انرژی الکترون‌ها در اتم، کوانتیده (تابنده) است. ولی اختلاف بین سطوح انرژی ذرات در هسته بسیار بیش‌تر از اختلاف بین سطوح انرژی الکترون‌ها در اتم است. قبلاً دیدیم که اختلاف ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم در حدود چند الکترون‌ولت است. در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی ذرات در هسته‌های سنگین معمولاً در حدود ده‌ها کیلو الکترون‌ولت (Kev) یا بیش‌تر از آن است.

همان گونه که الکترون‌ها در اتم می‌توانند با جذب فوتون‌ها و دریافت انرژی برابر با اختلاف انرژی بین دو سطح، به سطح بالاتر بروند و در نتیجه اتم برانگیخته شود، ذرات هسته هم می‌توانند با دریافت انرژی از نیوترون‌ها یا پروتون‌های پرانرژی به سطح بالاتر بروند و هسته برانگیخته شود. هسته برانگیخته شده نیز مانند اتم برانگیخته شده، می‌تواند با خروج فوتون به حالت پایه باز گردد. انرژی فوتون گسیل شده از هسته برانگیخته، برابر با اختلاف انرژی بین تراز ذرات برانگیخته و تراز پایه آن است. یک هسته برانگیخته شده را با علامه $^A_Z X$ نمایش می‌دهند. این علامه نمایانگر حالت برانگیخته هسته است.



فعالیت

با استفاده از طیف موج‌های الکترومغناطیسی در فصل قبلی، نوع تشعشع گسیل شده از هسته‌ها را مشخص کنید.

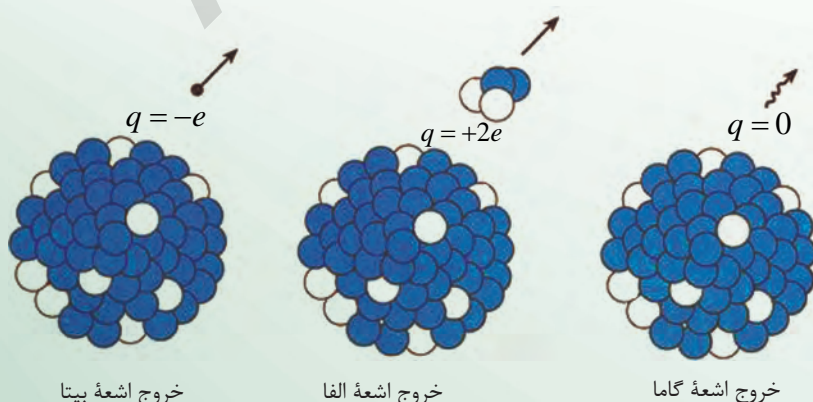
با توجه به خوبی‌های مدل اتمی بور، می‌دانیم که اگر به الکترون، انرژی‌یی بیش از انرژی بسته‌گی آن به اتم داده شود، الکترون از اتم جدا می‌شود. همین طور در هسته نیز اگر به ذرات هسته انرژی‌یی بیش از انرژی بسته‌گی آن به هسته داده شود، آن ذرات می‌توانند از هسته جدا شوند.

انرژی تعاملات کیمیایی در حدود چند الکترون ولت است، به همین دلیل هسته اتم‌ها در تعاملات کیمیایی برانگیخته نمی‌شوند. بنا بر آن، هسته‌ها در تعاملات کیمیایی دخالت ندارند.

برای ثبات انرژی در تعاملات هسته‌یی، تأکید بر تبادلات هسته‌ها و ذرات شده بود؛ اما این تعاملات خاصیت دیگری نیز دارند که حائز اهمیت است و آن عبارت از جذب یا آزاد کردن انرژی است. می‌دانید که در بعضی از تعاملات کیمیایی، می‌باید انرژی لازم از خارج تأمین گردد تا تعامل ادامه یابد؛ در حالی که در بعضی تعاملات دیگر، انرژی آزاد می‌شود. تشکیل آب از اکسیجن و هیدروجن، نمونه‌یی از تعاملی است که در آن انرژی آزاد می‌شود. تعامل بین این دو گاز معمولاً شدید است و حرارت حاصل می‌شود. بنا بر این، انرژی آبی‌یی که تشکیل می‌شود، کمتر از انرژی موادی است که آب را به وجود می‌آورند. از طرف دیگر، وقتی آب به وسیله الکترولیز تجزیه می‌شود، از عبور جریان برقی از آب، انرژی برقی فراهم می‌گردد، و محصولات تعامل یعنی اکسیجن و هیدروجن آزاد شده، انرژی بیشتری نسبت به آب دارند. تعاملات هسته‌یی نیز ممکن است انرژی جذب یا آزاد کنند، یک دلیل عمده قابل توجه در تعاملات هسته‌یی این واقعیت است که مقدار انرژی جذب شده یا آزاد شده در برابر هر هسته درگیر در تعامل با ضریبی در حدود یک میلیون چند یا بزرگ‌تر، بیشتر از مقدار انرژی جذب شده یا آزاد شده در برابر هر اتم درگیر در تعامل کیمیایی است. انشقاق هسته‌یی و پیوند تعاملات هسته‌یی (که بعداً در این بخش مورد بحث قرار می‌گیرد) دو نوع خاص از تعاملات هسته‌یی اند که در آن‌ها رهایی انرژی، فوق العاده زیاد است. بنا بر آن، این نوع تعاملات در کاربردهای صنعتی و نظامی اهمیت به‌سزایی دارند.

6-3: رادیواکتیو طبیعی

تا حال دانستیم که وقتی نوکلئون‌ها (Nuclions) برای تشکیل ثبات در هسته با همدیگر اتصال پیدا می‌کنند، چه چیز به وقوع می‌پیوندد. تمام هسته‌ها با ثبات نیستند. در حدود 400 هسته با ثبات و صدها هسته بی‌ثبات وجود دارند که میل دارند بشکنند و به ذرات دیگر تبدیل شوند، که مراحل شکستن هسته‌ها را متلاشی شدن هسته (Nuclear decay) می‌گویند. جریان متلاشی شدن هسته می‌تواند یک حادثه طبیعی باشد و یا اینکه به شکل مصنوعی و اجباری صورت پذیرد. در هر دو حالت، وقتی یک هسته متلاشی می‌شود، در نتیجه آن تشعشعات به اشکال ذره‌ها، فوتون‌ها و یا هر دو می‌تواند از هسته مذکور بتابد که همین عملیه تابش ذره‌ها و فوتون‌ها به نام تشعشع (Radiation) و مراحل و یا جریان عملیه تشعشع به نام رادیواکتیویته (Radioactivity) یاد می‌شود. به طور مثال عقربه‌ها و شماره‌های ساعتی که در تاریکی روشنی می‌دهد، دارای مقدار کمی نمک‌های رادیوم است. در اثر متلاشی شدن هسته در این نمک‌ها، انرژی نوری آزاد شده و سبب می‌شود که ساعت در تاریکی بدرخشد. هسته قبل از متلاشی شدن به نام هسته اصلی و یا هسته مادر، و هسته باقی مانده بعد از متلاشی شدن به نام هسته دختر یا نوزاد یاد می‌شود.



شکل (6-5)

در تمام تعاملات هسته‌ای انرژی آزاد شده از معادله $E = mc^2$ به دست می‌آید. همهٔ عنصرهای سنگین‌تر از هایدروجن و هلیوم به اثر انفجار هسته، در قسمت داخلی ستاره‌گان تولید شده‌اند. این نوع انفجارات نه تنها عنصرهای پایدار، بلکه عنصرهای رادیواکتیو را نیز به وجود آورده‌اند. نیم عمر بیشتر عنصرهای رادیواکتیو در حدود مرتبهٔ روز یا سال است که از عمر زمین (حدود 4.5×10^9 سال) بسیار کوتاه‌تر است. بنابراین بیش‌تر عنصرهای رادیواکتیوی که در هنگام تشکیل زمین وجود داشته‌اند، به عنصرهای پایدار متلاشی شده‌اند. اما تعداد کمی از عنصرهای رادیواکتیو که در قدیم تولید شده‌اند؛ نیم عمرهایی در حدود عمر زمین دارند و هنوز هم می‌توان تشعشعات رادیواکتیو را در آن‌ها مشاهده کرد. این عنصرها بخشی از عناصر رادیواکتیو طبیعی را می‌سازند که اطراف ما را احاطه کرده است. در پروسه‌های متلاشی شدن عناصر رادیواکتیو، عدد کتلهٔ اتمی، یک هستهٔ (A) را در صورت متلاشی شدن (α)، به چهار واحد تغییر می‌دهد و در صورت متلاشی شدن β و به وجود آمدن γ عدد کتلهٔ اتمی هسته تغییر نمی‌کند.

واحد تابش اشعه در سیستم (SI) بیکیورل (*Becquerel*) است که آن را به علامهٔ B_q نمایش می‌دهند. یک بیکیورل مساوی است به یک واحد تابش اشعه بر ثانیه ($1B_q = 1\text{decay/s}$). کیوری (*Curie*) که به Ci نمایش داده می‌شود، واحد اصلی تابش بوده و تقریباً برابر با تابش اشعهٔ یک گرام رادیوم (*Radium*) متلاشی شده می‌باشد. $1\text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} B_q$

سوال‌ها



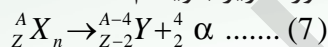
1. عنصرهای سنگین‌تر از هایدروجن و هلیوم در کجا و چطور تولید شده‌اند؟
2. طول نیم عمر عنصرهای رادیواکتیو به چه اندازه از عمر زمین کم‌تر است؟
3. در اثر متلاشی شدن (α)، عدد کتلهٔ اتمی (A) یک هسته را به چند واحد تغییر می‌دهد.

علاوه بر آنچه گفته شد، همان‌طوری که دیدیم یکی از ویژه‌گی‌های بارز هسته‌های ناپایدار، متلاشی شدن خود به خودی آن‌ها به هسته‌های سبک‌تر است که با گذشت زمان، متلاشی و به هسته‌های سبک‌تر تبدیل می‌شوند. در این پروسه (روش) Z و N هسته‌ها از مقدار اولی به مقدار کم‌تر تبدیل می‌شوند. روش متلاشی شدن هسته‌های ناپایدار، همواره باخارج شدن اشعهٔ رادیواکتیو همراه است.

علاوه بر هسته‌های ناپایدار، هسته‌های برانگیخته نیز با گسیل اشعه، متلاشی می‌شوند. به طور کلی این نوع هسته‌ها را، هسته‌های رادیواکتیو می‌نامند. یک ماده رادیواکتیو می‌تواند سه نوع تشعشع را از خود بتاباند، یعنی هسته‌های ناپایدار به سه نوع متفاوت متلاشی می‌شوند که در نتیجه آن Z و N هسته را تغییر داده و به هسته‌های دیگر عوض می‌شوند. این سه نوع عبارتند از متلاشی شدن ذره الفا (α)، متلاشی شدن ذره بتا (β) و نیز خارج ساختن فوتون‌هایی که اشعه گاما (γ) نامیده می‌شوند توسط هسته‌های اصلی، که در ادامه بحث به تحقیق هر یک از این سه نوع ذره متلاشی شده می‌پردازیم.

4-6: متلاشی شدن همراه با خروج اشعه الفا (α)

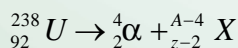
اشعه α ، همان هسته هلیوم (${}^4_2\text{He}$) است، که از دو پروتون و دو نیوترون تشکیل شده است. یعنی با گسیل اشعه الفا، با توجه به آن که اشعه α خود دارای عدد اتمی برابر 2 و عدد نیوترونی برابر به 2 است، 2 واحد از نمبر اتمی و 4 واحد از عدد کتله هسته ناپایدار کاسته می‌شود. این تعامل را می‌توانیم به صورت زیر بنویسیم:



یعنی محصول این متلاشی شدن، هسته یک عنصر جدید است. پروسه متلاشی شدن الفا با آزادسازی انرژی همراه است. زیرا انرژی اتصالی محصول‌های عملیه متلاشی شدن، قوی‌تر از انرژی اتصالی هسته اولیه است. انرژی آزاد شده در این پروسه، به صورت انرژی حرکی ذره الفا و هسته Y ظاهر می‌شود.

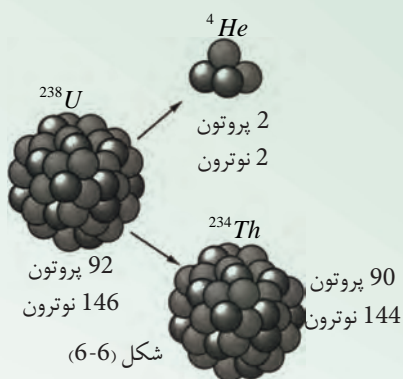
مثال: با متلاشی شدن هسته یورانیوم $({}^{238}_{92}\text{U})$ ، یک ذره الفا (α) خارج می‌شود. معادله این تعامل را بنویسید و تعیین کنید که در اثر این متلاشی شدن چه عنصری ایجاد می‌شود؟

حل: معادله متلاشی شدن به صورت زیر است:



با استفاده از قاعده دوم یعنی برابری مجموع عددهای کتله اتمی در دو طرف تعامل داریم:

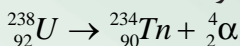
$$238 = 4 + A \rightarrow A = 234$$



و از برابری مجموع نمبرهای اتمی در دو طرف داریم:

$$92 = 2 + Z \rightarrow Z = 90$$

با مراجعه به جدول تناوبی معلوم می‌شود که ${}_{90}^{238}X$ ، عنصر شماره 90 یعنی توریم است. بنابراین، تعامل بالا به صورت زیر نوشته می‌شود:



تمرین:

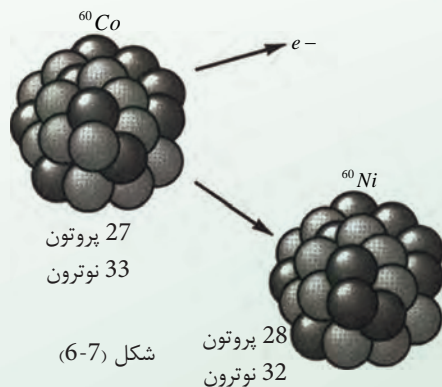
رادون (${}_{86}^{226}Rn$) یک عنصر رادیواکتیو است که اشعه‌ی الفا خارج می‌کند. معادله‌ی این تعامل را بنویسید و عنصر تولید شده را تعیین کنید.

فکر کنید

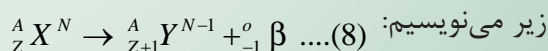
خروج الکترون از هسته، متلاشی شدنی بسیار حیرت انگیز است؛ زیرا هسته‌ی اتم الکترون ندارد که خارج کند. لذا این سوال مطرح می‌شود که این الکترون از کجا آمده است؟

5-6: متلاشی شدن همراه با خروج اشعه‌ی بیتا β

متلاشی شدن بیتا نخستین مورد رادیواکتیویتی بود که بیکپورل مشاهده کرد. در این متلاشی شدن، یک نیوترون در هسته به یک پروتون تبدیل می‌شود. Z و N هر کدام یک واحد تغییر می‌کند، اما در A تغییری پدید نمی‌آید. وقتی این متلاشی شدن برای اولین بار مطالعه می‌شد، ذرات خروجی را ذرات بیتا β نامیدند. بعداً معلوم شد که این ذرات، الکترون‌ها اند. متلاشی شدن بیتا یعنی خارج شدن الکترون از هسته، بسیار تعجب‌آور است.



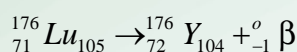
زیرا همان طور که پیش از این دیدیم، الکترون در هسته‌ی اتم وجود ندارد. الکترون خارج شده در متلاشی شدن β ، یکی از الکترون‌های مداری اتم نیست، این الکترون را هسته با انرژی موجود در خودش می‌سازد، از این رو، خروج اشعه‌ی بیتا به این دلیل است که یک نیوترون در هسته به یک پروتون تبدیل می‌شود، که این تعامل را به صورت



محصول متلاشی شدن بی‌تا β ، عنصر جدیدی است که در جدول تناوبی بلافاصله بعد از عنصر X قرار دارد.

مثال: لیتوم ($^{176}_{71}\text{Lu}$) عنصر رادیواکتیو است که با خروج ذره بتای منفی ($-\beta$) متلاشی می‌شود. معادله امکان تعامل را بنویسید و عنصر جدیدی را که تولید می‌شود، تعیین کنید.

جواب: به‌رویت معادله ($^A_Z X \rightarrow ^A_{Z+1} Y + ^0_{-1} \beta$) می‌توانیم بنویسیم:

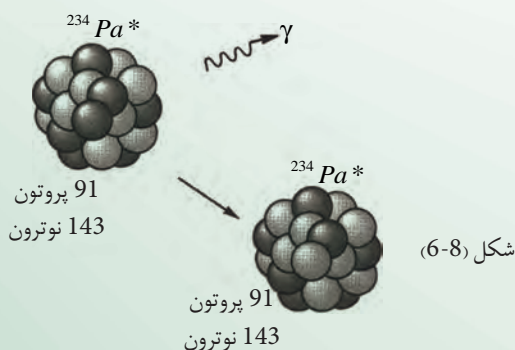


تمرین:

فاسفورس ($^{32}_{15}\text{P}$)، عنصر رادیواکتیو است که ذره β خارج می‌کند، معادله عکس‌العمل مربوط را بنویسید و تعیین کنید در این متلاشی شدن چه عنصری تولید می‌شود؟

6-6: متلاشی شدن اشعه گاما (γ)

هرگاه هسته اتمی در حالت برانگیخته شده قرار داشته باشد، با خروج یک یا چند فوتون که به آن‌ها اشعه گامای هسته‌ای می‌گویند، به حالت استقرار (ثابت) می‌رسد، که این روش روش متلاشی شدن گاما نامیده می‌شود؛ یعنی با خروج اشعه گاما نه عدد کتله‌ای تغییر می‌کند و نه نمبر اتمی، بلکه هسته تنها مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهد. تعامل خروج اشعه گاما را با معادله زیر نمایش می‌دهیم: (9) $^A_Z X \rightarrow ^A_Z X + \gamma$



معادلات (7)، (8) و (9) از دو قاعده زیر پیروی می کنند:

1. مجموع نمبرهای اتمی Z در دو طرف تعامل یکسان است.
 2. مجموع عددهای کتله ای A در دو طرف تعامل یکسان است.
- این دو قاعده در تمام تعامل های هسته ای قابل تطبیق می باشد.



فعالیت

با بحث در گروه خود مشخص کنید که کدام یک از دو قاعده فوق از تحفظ (ثبات و یا پایش) چارج برقی نتیجه می شود؟

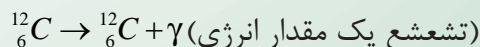
جدول خلاصه تشعشعات الفای، بیتا و گاما

ذره	سمبول	ترکیب	چارج	تأثیر بالای هسته مادر
الفا	$\alpha (^4_2He)$	2 پروتون 2 نیوترون	+2	کاهش کتله تولید عنصر جدید
بیتا	$\beta (-^0_1e)$	الکترون پوزیترون	-1 +	عدم تغییر در عدد کتله ای تولید عنصر جدید
گاما	(γ)	فوتون	0	باخت انرژی

مثال:

در یک حالت برانگیخته شدن، کربن $^{12}_6C$ ، با خروج اشعه گاما، $4.43MeV$ انرژی باخته به حالت ثبات می رود. معادله تعامل این متلاشی شدن را بنویسید.

جواب: با توجه به آنچه درباره متلاشی شدن گاما دیدیم، تعامل را می توان نوشت:



تمرین: پروتاکتینوم $^{234}_{91}Pa$ اشعه ای با انرژی $92Kev$ را گسیل می کند. معادله این تعامل را بنویسید.



سوالات

1. اشعه الفای (α) مربوط به کدام عنصر است؟
a - هایدروجن b - نایتروجن c - هلیوم d - یورانیوم
2. ذره (اشعه) بیثا از جنس () است.
3. اشعه گاما از کدام نوع موج است و چطور؟
4. دو ماده رادیواکتیو که خاصیت رادیواکتیو در هر دو یکسان است، دارای نیمه عمر متفاوت اند. در کدام یک از این دو ماده، شدت تابش اشعه رادیواکتیو بیشتر است؟
5. آیا می توان با استفاده از خاصیت جذب اشعه گاما (γ)، یکنواخت بودن ضخامت ورقه های فلزی را کنترل کرد؟ چگونه، توضیح دهید.
6. چه رابطه ای بین نمبر اتمی و تعداد الکترون های مداری اتم برقرار است؟

1-7-6: نیم عمر ماده رادیواکتیو

در یک قطعه از ماده رادیواکتیو تعداد بسیار زیادی هسته رادیواکتیو وجود دارد. این هسته ها با گذشت زمان به تدریج تغییر می کنند. هر چه زمان بگذرد، تعداد هسته های ماده رادیواکتیو اولی باقی مانده کمتر می شود که چگونه گی این تغییرات را می توانیم با معر فی کمیتی به نام نیم عمر بیان کنیم.

بنا بر تعریف: نیم عمر یک ماده رادیواکتیو، مدت زمانی است که طی آن نیمی از هسته های رادیواکتیو موجود در آن متلاشی (Decay) می شوند. نیم عمر را با $t = \frac{1}{2}T$ نشان می دهند.

به طور نمونه، در سؤال فوق دیدیم که هسته های یورانیوم 238 با گسیل ذره الفای به هسته های توریم 234 تبدیل می شوند. محاسبات مبتنی بر تجربه نشان می دهد که در یک قطعه یورانیوم، $4,5 \cdot 10^9$ سال طول می کشد که نیمی از هسته های آن به هسته توریم تبدیل شوند. به این ترتیب می گوئیم که نیم عمر یورانیوم، $4,5 \cdot 10^9$ سال است. از آن جا که این نیم عمر از عمر زمین بیشتر است، هنوز هم مقدار قابل ملاحظه ای یورانیوم 238 در طبیعت وجود دارد. دیدیم که نیم عمر یورانیوم 238 بسیار طولانی است. ولی نیم عمر برخی دیگر از ایزوتوپ های آن تنها در حدود چند دقیقه است. به همین دلیل این نوع ایزوتوپ ها در طبیعت یافت نمی شود.

مثال:

کوبالت 60 به عنوان منبع تولید اشعه گاما (γ) در صنایع مختلف به کار برده می‌شود. این ایزوتوپ که می‌توان آن را در ریاکتورهای تحقیقاتی تولید کرد، دارای نیم عمر 5,25 سال است. پس از 26 سال چه کسری از هسته‌های کوبالت 60 در نمونه اولیه باقی خواهد ماند؟

حل: 26 سال تقریباً 5 برابر نیم عمر کوبالت 60 است، زیرا:

$$26 \div 5,25 = 4,95 \approx 5$$

پس اگر مقدار m گرام کوبالت 60 در نمونه اولیه وجود داشته باشد، پس از گذشت هر نیم عمر مقدار آن نصف می‌شود که می‌توانیم آن را در جدول ذیل تنظیم کنیم.

تعداد نیم عمرها	0	1	2	3	4	5
مقدار باقی مانده از کوبالت 60	m	$\frac{m}{2}$	$\frac{m}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{m}{4}$	$\frac{m}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{m}{8}$	$\frac{m}{16}$	$\frac{m}{32}$

بنابراین پس از 26 سال یعنی گذشت 5 نیم عمر، تنها کسری برابر به $\frac{1}{32}$ یا حدود 3 درصد ($\frac{1}{32} = 0,03,52$) از مقدار اولیه کوبالت (m گرام)، باقی می‌ماند و 97 درصد دیگر آن متلاشی می‌شود.

6-7-2: حفاظت در برابر اشعه

اشعه کیهانی و اشعه‌یی که از مواد رادیواکتیو خارج می‌شوند، در برخورد با اتم‌ها و مالیکول‌ها می‌توانند آن‌ها را به آیون تبدیل کنند و یا موجب شکسته شدن پیوندهای کیمیایی شوند. این پروسه غالباً منجر به تخریب ساختار ماده می‌شود و به اجسام زنده آسیب می‌رساند؛ به طور مثال: فوتون‌های ماورای بنفشی که از نور آفتاب به بدن می‌رسند، به مالیکول‌های پوست آسیب می‌رسانند و باعث آفتاب سوخته‌گی می‌شوند. اشعه پرقدرتی مانند اشعه X و ذرات بسیار سریع، حتی می‌توانند از سطح پوست بگذرند و به بدن صدمه برسانند. چنانچه از همین خاصیت برای تخریب و از میان بردن غده‌های سرطانی از اشعه X و γ استفاده می‌کنند.

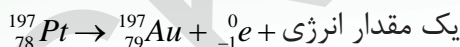
این اشعه به تشکل اعضای نوزادان آسیب می‌رساند و حتا باعث تشکل غیرمنظم اعضای شان می‌گردد.

اتوم‌های ذرات رادیواکتیو، در سنگ، خاک، چوب و در محل کار و زنده‌گی ما وجود دارند. علاوه بر آن اشعه کیهانی، یعنی ذره‌های پرانرژی‌یی که از فضای خارج از جو زمین به کره زمین می‌رسند، از منابع اجتناب ناپذیر این اشعه خطرناک هستند.

3-7-6: رادیواکتیویته مصنوعی (Artificial Radio activity)

بحث تعاملات هسته‌یی، حاکی از کشف جالب دیگری نیز بوده است: می‌دانیم که تعامل یک نیوترون به وسیله پلاتین 196، به تولید پلاتین 197 و پخش یک اشعه γ می‌انجامد. در طبیعت شش ایزوتوپ متفاوت از پلاتین یافت شده است.

اکنون این پرسش مطرح می‌شود که: آیا پلاتین 197 که با تعامل نیوترون تولید می‌شود پایدار است؟ پاسخ منفی است، زیرا این محصول رادیواکتیو است و با پخش یک ذره β با طلای 197 (تنها ایزوتوپ پایدار طلا) از بین می‌رود.



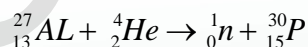
باید متذکر شد که نیم عمر پلاتین 197، 20 ساعت است.

تولید پلاتین 197 (رادیواکتیو) در یک تعامل هسته‌یی، نمونه‌یی از رادیواکتیف مصنوعی است. این پدیده در سال 1934 به وسیله ایرن کیوری وف. ژولیو کشف شد. آنها آثار ذرات α را بر هسته‌های فلزات سبک بررسی می‌کردند. وقتی آنان عناصر مگنیزیم و المونیم را با ذرات الفای حاصل از پلوتونیم بمباران کردند، دیدند بلافاصله پروتون‌ها و نیوترون‌هایی از هسته بمباران شده بیرون می‌افتد. اما شاهد آن بودند که علاوه بر این ذرات، الکترون‌های مثبت یا پوزیترون‌ها نیز پخش می‌شود. (پوزیترون ذره‌یی است که کتله آن برابر با کتله الکترون و بزرگی چارج آن برابر با بزرگی چارج الکترون می‌باشد، ولی چارج آن مثبت است). پوزیترون را فزیکدان امریکایی ک. د. آندرسن در سال 1932 در جریان مطالعه شعاع کیهانی کشف کرد. (شعاع کیهانی تابش‌های بسیار نفوذ کننده‌یی است که منشای آن در ماورای هوای زمین بوده و مرکب از پروتون‌ها، الکترون‌ها، نیوترون‌ها، فوتون‌ها و دیگر ذرات می‌باشد).

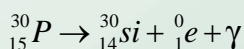
اندرسن با استفاده از یک اتاق کوچک که در یک ساحةٔ مقناطیسی قرار گرفته بود، خطوطی را مشاهده کرد که فقط می‌توانست در طول مسیر به اثر ایونایز شدن (برقی شدن)، ذراتی با سرعت زیاد و با کتله و اندازهٔ چارج برابر با کتله و چارج یک الکترون، لیکن انحنای خطوط آنها در جهت مخالف با خطوط الکترونهايي که چارج منفی داشته باشند، ایجاد شوند. به این ذرات نام پوزیترون (β^+ یا 0_1e) داده شد.

در آزمایش ژولیو و کیوری که بر اثر بمباران یک عنصر سبک با یک ذرهٔ α پوزیترون همراه با نیوترون تولید می‌شد، چنین به نظر می‌رسید که نوع جدیدی تعامل هسته‌یی صورت می‌گیرد. آزمایش‌های بیشتر بالاخره نشان داد که هسته‌های عنصر سبک، حتی پس از آنکه از منبع ذرات α هم دور شوند، به پخش پوزیترون ادامه می‌دهند. وقتی، پس از دور ساختن منبع ذرات α ، تغییر ثابت پخش پوزیترون‌ها برحسب گذشت زمان ترسیم شد، منحنی‌هایی برای هر هدف به‌دست آمد که شبیه به منحنی‌های به‌دست آمده برای رادیواکتیو بیتای طبیعی بود. (و معلوم شد که نیم عمر پوزیترون پخش شده 2.5 دقیقه است).

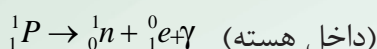
نتایج حاصل شده نشان می‌داد که ذرات هستهٔ پایدار اولیه به ذرات هستهٔ رادیواکتیو تبدیل شده است. بمباران ${}^{27}_{13}Al$ با ذرات α که نیوترون و همچنین یک مادهٔ جدید رادیواکتیو تولید می‌شود، یک تعامل هسته‌یی است که ذرات هسته‌یی با عدد کتله‌یی $(27 + 4 - 1) = 30$ و عدد اتمی $(13 + 2 - 0) = 15$ که ایزوتوپی از فاسفورس است، ایجاد می‌کند. این تعامل عبارت است از:



کیوری و ژولیو برای جدا سازی مواد حاصله شبیه همان تعاملاتی که برای جداسازی عناصر رادیواکتیو طبیعی انجام می‌دادند، تعاملات کیمیای را انجام دادند و به این وسیله نشان دادند که نتیجهٔ حاصله پس از بمباران، واقعاً شامل مقدار کمی فاسفورس و یا ایزوتوپی است که رادیواکتیو می‌باشد. فاسفورس در طبیعت فقط به صورت ${}^{31}_{15}P$ یافت می‌شود، هیچ ایزوتوپی از فاسفورس با عدد کتله‌یی 30 در طبیعت یافته نشده است. پس این فرض منطقی بود که چنانچه ${}^{30}_{15}P$ در یک تعامل هسته‌یی ایجاد شود، هسته پایدار نخواهد بود، بلکه رادیواکتیو است. اگر این هسته با پخش یک پوزیترون متلاشی شود، تعامل آن به طریق زیر بیان خواهد شد:



در تعامل $^{30}_{14}\text{Si}$ ایزوتوپ شناخته شده‌یی از سیلیسیوم، 0_1e نمایانگر یک پوزیترون و γ یک نوترینو است. این نوع متلاشی شدن حاکی از آن است که یک پروتون در داخل هسته ممکن است به یک نیوترون، یک پوزیترون و یک نوترینو تبدیل شده باشد که نیوترون در هسته باقی مانده و پوزیترون پخش شده است:



به طور خلاصه پس از این کشف، که بمباران ذرات هسته سبک با ذرات α می‌تواند به محصولات رادیواکتیو منجر شود، معلوم شد که تعاملات هسته‌یی القا شده با پروتون‌ها، دوترون‌ها، نیوترون‌ها، فوتون‌ها نیز می‌توانند محصولات رادیواکتیو را تولید کنند. ذرات هسته‌یی رادیواکتیو مصنوعی، مانند ذرات هسته‌یی رادیواکتیو طبیعی با نیم عمر و نوع اشعه‌یی که پخش می‌کنند، مشخص می‌شوند.

اگر محصولات تعاملات هسته‌یی رادیواکتیو باشند، می‌توان مسیر آنها را در جریان جداسازی کیمیاوی به وسیله نیم عمرهای اختصاصی آنها یا محصولات متلاشی شدن شان را تعیین کرد. (آنها را از لحاظ کیمیاوی نمی‌توان دنبال کرد، زیرا مقدارشان بسیار کم و غالباً کمتر از یک میلیونم گرام است). ولی توسط شاخه خاصی از کیمیا که با جداسازی و تشخیص محصولات رادیواکتیو در تعاملات هسته‌یی سروکار دارد، که امروزه بخش مهمی از علم هسته‌یی شده است. این رشته به حدی توسعه یافته که از سال 1935 تاکنون در حدود 1200 ذره هسته مصنوعی رادیواکتیو ساخته و مشخص شده است که بسیاری از آنها در صنعت و تحقیقات مورد استعمال دارد.

فکر کنید



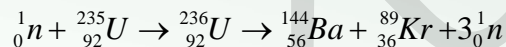
گاهی گفته می‌شود که تمام منابع از انرژی هسته حاصل شده اند. آیا سوخت‌هایی مانند ذغال سنگ و نفت هم از انرژی هسته‌یی به دست آمده اند؟

6-8: انشقاق هسته‌یی (Nuclear Fission)

طوری که دیدیم، یک هسته می‌تواند با پخش کردن اشعه‌ی الفا یا بیتا به هسته‌ی دیگری انشقاق شود. این انشقاق یا متلاشی شدن نوعی از تعامل هسته‌یی است که در ادامه‌ی این بحث به شرح مختصر این تعامل، که یکی از منابع‌های مهم تولید انرژی است، می‌پردازیم.

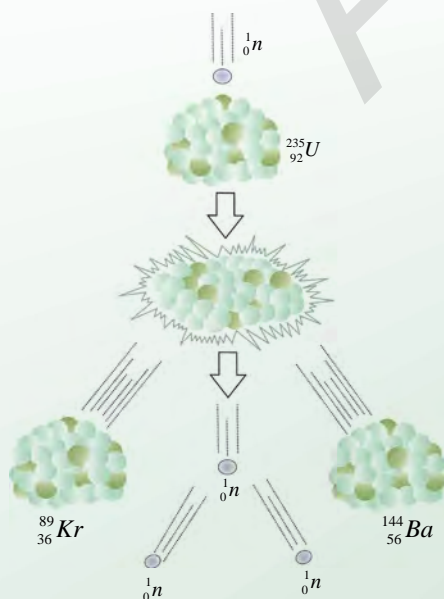
هسته‌ی یورانیوم $^{235}_{92}\text{U}$ دارای این ویژه‌گی است که اگر یک نیوترون به آن برخورد کند، احتمال زیاد می‌رود که آن را جذب کند و به یورانیوم $^{236}_{92}\text{U}$ تبدیل شود. یورانیوم $^{236}_{92}\text{U}$ ناپایدار است و تمایل زیادی به زوال و تجزیه به دو یا چند هسته با کتله کمتر دارد. پروسه جذب نیوترون توسط یورانیوم $^{235}_{92}\text{U}$ و تشکیل هسته سنگین‌تر پایدار و تجزیه آن به دو یا چند هسته سبک‌تر را متلاشی شدن و یا انشقاق هسته‌یی می‌نامند.

یکی از این پروسه‌های متلاشی شدن یورانیوم $^{235}_{92}\text{U}$ در شکل (6-9) نشان داده شده و معادله آن قرار ذیل است:



در پروسه تعامل هسته‌یی $^{235}_{92}\text{U}$ ممکن است مجموعه‌های گوناگون از محصولات متلاشی شده تولید شوند. به طور مثال در تعامل هسته‌یی یورانیوم $^{235}_{92}\text{U}$ حدود 90 محصول مختلف به دست می‌آید. هسته‌های حاصل شده از اثر متلاشی شدن را پارچه‌های متلاشی شده نیز می‌گویند. بدین ترتیب، انشقاق هسته‌یی را چنین می‌توان تعریف کرد:

«انشقاق هسته‌یی یک تعامل هسته‌یی است که طی آن یک هسته سنگین به دو هسته با کتله کمتر متلاشی می‌شود».



وقتی یک هسته سنگین متلاشی می‌گردد، کتله‌های حاصل متلاشی شده، از مجموع کتله اولیه هسته و کتله نیوترون که با آن برخورد نموده، کمتر است. این تفاوت کتله به انرژی تبدیل می‌شود، که قسمت عمده این انرژی در آغاز به صورت انرژی جنبشی یا اهتزازی پارچه‌های متلاشی شده به ظهور می‌رسد و به سرعت انرژی خود را به محیط اطراف منتقل می‌کنند و در نهایت سبب افزایش بسیار زیاد درجه حرارت محیط می‌شود؛ به طور مثال، مقدار انرژی آزاد شده در متلاشی شدن یورانیوم $^{235}_{92}\text{U}$ به اندازه‌ی زیاد است که انرژی حاصل از

شکل (6-9)

متلاشی شدن 1 کیلوگرام یورانیم 235 معادل انرژی حاصله از سوختن 10^7 کیلوگرام (ده هزار تن) ذغال سنگ و یا $2,25 \cdot 10^6$ لیتر نفت است. به همین لحاظ می‌توان از یورانیم به حیث یک منبع سرشار از انرژی استفاده کرد.

دستگاهی که در آن تعامل هسته‌یی صورت می‌گیرد و انرژی آزاد شده در پروسه تعامل به شکل دیگر انرژی (مانند انرژی برقی) تبدیل می‌شود، ریکتور هسته‌یی نام دارد.

انرژی حاصل از تعامل هسته‌یی را به اختصار، انرژی هسته‌یی می‌نامند. استفاده از انرژی حاصل از تعامل هسته‌یی، نقاط ضعیف و مشکلاتی نیز دارد که باعث مخالفت بسیاری با تولید آن شده است.

این نقاط ضعیف از آن‌جا ناشی می‌شود که پارچه‌های متلاشی شده، خود به شدت ناپایدار هستند و برای رسیدن به حالت پایداری، مقدار زیادی اشعه پخش می‌کنند. علت ناپایداری هم آن است که هسته‌ها (پارچه‌های متلاشی شده) برای پایدار بودن به تعداد نیوترون کم‌تری نیاز دارند، و همین وجود نیوترون‌های اضافی است که باعث ناپایداری آنها می‌شود و در نتیجه این هسته‌ها به اثر واپاشی بی‌تا به هسته‌های پایدارتر تبدیل می‌شوند.

بنابراین پارچه‌های متلاشی شده ناچار رادیواکتیو هستند. مشکل اساسی دیگر آن است که برخی از این پارچه‌های ناپایدار که پسمانده‌های متلاشی شده هستند، نیم عمر بسیار طولانی دارند و در نتیجه انباشته شدن، تشعشعات آنها مشکلات فراوانی را نه تنها برای نسل حاضر، بلکه برای نسل‌های بعدی به وجود می‌آورند.

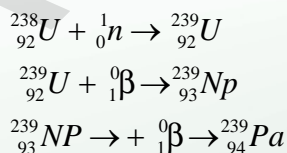
فکر کنید



گاهی گفته می‌شود که «کته را نمی‌توان تولید و یا نابود کرد»، این گفته را تحلیل کنید.

9-6: غنی سازی یورانیوم

- یگانه عنصر طبیعی که با جذب نیوترون پس از زمان بسیار کوتاه 10^{-12} s متلاشی می‌شود و مقدار زیادی انرژی آزاد می‌کند، یورانیوم 235 است.
- در یورانیوم طبیعی تنها 0.7 درصد ^{236}U و بقیه یعنی 99.3 درصد آن ^{238}U است که برای تمام هدف‌های عملی، متلاشی‌پذیر نمی‌باشد.
- برای تهیه سوخت ریکتور یا جنگ افزار هسته‌یی، باید غلظت ^{235}U به مقدار قابل ملاحظه‌یی افزایش یابد، که این پروسه را به نام غنی‌سازی یاد می‌کنند.
- ^{235}U و ^{238}U از لحاظ کیمیایی یکسان هستند، ولی در پروسه غنی‌سازی تنها از اختلاف کتله آنها بهره‌گیری می‌شود. این پروسه نسبتاً دشوار و پرمصرف است، اما می‌توان با مقدار زیاد یورانیوم به آن دست یافت.
- یک ماده دیگری که به آسانی متلاشی می‌شود، پلوتونیم 239 ($^{239}_{94}\text{Pu}$) است. این ماده به صورت طبیعی وجود ندارد اما می‌توان آن را با تعامل نیوترون در ^{238}U که متلاشی‌پذیر نیست، تولید کرد. یورانیوم 239 حاصل شده با پخش بیتا به نپتونیم 239 ($^{239}_{93}\text{Np}$) از بین رفته و با پخش بیتا به ^{239}Pu متلاشی می‌شود. معادله تعامل این پروسه مانند ذیل است:



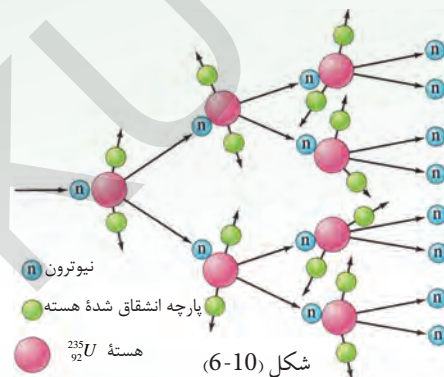
- پلوتونیم را می‌توان با روش‌های کیمیای از یورانیوم جدا کرد. این پروسه تولید سوخت پلوتونیم از یورانیوم، به زاینده‌گی معروف است و ریکتوری را که برای تولید سوخت پلوتونیم طراحی شده است، زاینده می‌نامند. در بمب‌های متلاشی شده، اغلباً پلوتونیم نقش یک ماده فعال را دارد.

6-10: تعامل زنجیری (Chain Reaction)

برای آنکه تعامل زنجیری در یک نمونه یورانیوم با سرعت یکنواخت ادامه یابد، باید توازن مناسبی بین تولید خالص نیوترون‌های حاصل از عمل متلاشی شدن و از دست رفتن نیوترون‌ها در جریان سه پروسه زیر وجود داشته باشد:

1. جذب نیوترون به وسیله یورانیوم بدون صورت گرفتن انشقاق
2. جذب نیوترون به وسیله مواد موجود دیگر در دستگاه تجربی
3. فرار نیوترون از دستگاه تجربی بدون اینکه جذب شود.

اگر نیوترون‌ها به حد بسیار زیادی فرار نمایند و در دستگاه (که ریکتور نامیده می‌شود) جذب شوند، نیوترون کافی باقی نمی‌ماند تا تعامل زنجیری ادامه یابد. برعکس، هرگاه نیوترون‌ها به حد بسیار کم فرار نمایند یا جذب شوند، تعامل ادامه می‌یابد و نیوترون‌های بیشتر و بیشتری می‌سازد. در طراحی ریکتورهای هسته‌ای که به حیث منبع انرژی به کار می‌روند،



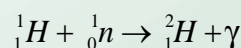
طرق مختلفی را برای یافتن اندازه‌ها، شکل‌ها و مواد مناسبی که توازن بین نیوترون تولید شده و نیوترون از دست رفته را حفظ و کنترل نماید، به کار می‌برند.

چون هسته فقط جزء ناچیزی از حجم یک اتم است، چانس برخورد یک نیوترون با یک هسته یورانیوم اندک است. یک نیوترون در حالی که چند سانتی‌متر حرکت می‌کند، می‌تواند از میان میلیون‌ها اتم یورانیوم (یا اتم‌های دیگر) بگذرد. هرگاه ریکتور کوچک باشد، فیصدی قابل توجهی از نیوترون‌های حاصل از نتیجه متلاشی شدن، بدون ایجاد عمل واپاشی بیشتر، از دستگاه فرار می‌کند و نفوذ برخورد نیوترون‌ها ممکن است آن‌قدر محدود باشد که یک تعامل زنجیری نتواند ادامه یابد. تعداد نیوترون‌های تولید شده همواره متناسب با حجم می‌باشد، اما تعداد نیوترون‌هایی که فرار می‌کنند، متناسب با مساحت سطح است. اگر L اندازه خطی دستگاه زیاد شود، حجم و مساحت به ترتیب متناسب با L^3 و L^2 افزایش می‌یابد؛

طوری که با بزرگ شدن L ، اندازه تولید نیوترون سریع تر از فرار نیوترون افزایش می یابد. طرح ریکتور با ابعاد مناسب و با مواد معین که با اندازه بحرانی مطابقت داشته باشد، بخش مهمی از تحقیق در زمینه مهندسی هسته‌ای است. موضوع مهم دیگر در طرح ریکتورهای هسته‌ای، این واقعیت است که وقتی ^{235}U با نیوترون‌های کند بمباران شود، نیوترون‌هایی که در عمل متلاشی شدن آزاد می‌شوند، عموماً با سرعت‌های بسیار زیاد خارج می‌شوند، انرژی نوسانی آنها از حدود 0.01Mev تا حدود 20Mev ، و انرژی نوسانی متوسط آنها حدود 2Mev است. نیوترون‌های سریع را می‌توان با افزودن ماده‌ای که نیوترون‌ها در برخورد با آن انرژی خود را از دست بدهند، کند کرد. چنین ماده‌ای باید کتله اتمی نسبتاً کمی داشته باشد. درین صورت نیوترون‌ها در برخورد کش‌کننده با اتم‌های این ماده، بخش قابل ملاحظه‌ای از انرژی خود را منتقل خواهند کرد، اما این ماده نباید نیوترون‌های زیادی را تولید یا جذب کند. کاربن خالص به صورت گرافیت و همچنین آب و بریلیم می‌توانند چنین ضرورت‌هایی را رفع نمایند. این مواد را تعادل‌کننده می‌نامند، زیرا حرکت نیوترون‌های تازه تولید شده را کند یا متعادل می‌کنند و تندی (تیزی) آنها را به حدی می‌رسانند که احتمال متلاشی شدن اضافی به وسیله آنها کم می‌شود.

اتم‌های هایدروجن آب در کند کردن نیوترون‌ها بسیار مؤثر اند، زیرا از طرفی کتله هسته هایدروجن تقریباً برابر با کتله نیوترون‌هاست و از طرف دیگر، تعداد اتم‌های هایدروجن در واحد حجم زیاد است. نیوترون در برخورد با هسته هایدروجن، بخش بزرگی از انرژی خود را از دست می‌دهد.

فقط حدود 20 برخورد لازم است تا به طور متوسط نیوترون سریع کند شده و اندازه انرژی آن به تحت 1ev برسد. اما نیوترون‌ها می‌توانند به وسیله هسته هایدروجن طبق عکس‌العمل زیر تعامل کنند:

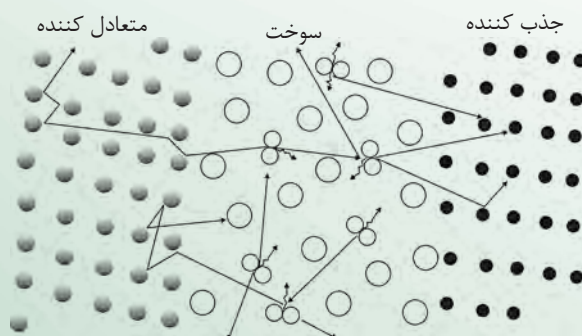


احتمال اینکه این تعامل به جای برخورد، کش‌کننده صورت گیرد، به قدر کافی زیاد است. طوری که معلوم شده، انجام تعامل زنجیری با یورانیوم طبیعی و آب معمولی غیرممکن می‌باشد.

اما برای ساختن ریکتورها راه‌های دیگری نیز وجود دارد؛ مثلاً احتمال فوق‌العاده کمی برای جذب نیوترون به وسیله هسته دوتریم، یعنی هسته ایزوتوپ هایدروجن سنگین که در آب سنگین یافت می‌شود، وجود دارد. نیوترون به اساس هر برخورد با 2_1H انرژی زیادی از دست نمی‌دهد. لیکن این نقص با میزان جذب بسیار کمتر آن جبران می‌شود. بنابراین یک تعامل زنجیری با یورانیوم طبیعی و آب سنگین به سهولت امکان‌پذیر است.

ریکتورهایی با یورانیوم طبیعی به حیث سوخت و آب سنگین به حیث متعادل‌کننده در ایالات متحده، کانادا، فرانسه و دیگر کشورها ساخته شده است.

اختلاف بین خواص هسته‌یی هایدروجن 1_1H و دوتریم (2_1D یا 2_1H) از لحاظ توسعه ریکتورهای هسته‌یی اهمیت زیادی دارد. آب سنگین بسیار گران‌تر از آب معمولی است، و وقتی با یورانیوم طبیعی (عمدتاً ${}^{238}U$) به کار برده شود، یک تعامل زنجیری به طور مؤثر صورت می‌گیرد. آب طبیعی را در صورتی می‌توان به کار برد که به جای یورانیوم طبیعی، یورانیوم غنی شده نسبت به ایزوتوپ ${}^{239}U$ به کار برده شود. در ایالات متحده ریکتورهای بسیاری که سوخت آنها یورانیوم غنی شده و متعادل‌کننده آنها آب معمولی است، ساخته شده است. تقریباً در تمام توانگاه‌های بزرگ هسته‌یی که تا کنون ساخته شده و همچنین در ریکتورهای کشتی‌هایی که با توان هسته‌یی کار می‌کنند به کاربرد این نوع ریکتور متداول است.



شکل (11-6)

کاربن به صورت گرافیت نیز در بسیاری از ریکتورها به حیث متعادل کننده به کار رفته است، از جمله در ریکتورهای اولیه. اما گرافیت، عامل گندکننده خوبی چون آب یا آب سنگین نیست، حدود 120 برخورد با اتم‌های کاربن لازم است تا یک نیوترون سریع با انرژی اولی 2Mev کند شده، به انرژی مطلوبی حدود 0.025ev برسد؛ در حالی که در آب سنگین فقط حدود 25 برخورد لازم است. گرچه کاربن به صورت گرافیت بهترین متعادل کننده نیست و تعداد محدودی نیوترون جذب می‌کند، اما وقتی قطعاتی از یورانیوم طبیعی (مثلاً به صورت میله‌های استوانه‌ای) در پارچه بزرگی از گرافیت به طور منظم قرار گیرد، یک تعامل زنجیری امکان وقوع پیدا می‌کند. چگونگی انجام این کار، یکی از مشکلات عمده‌ی بود که می‌بایست پیش از انجام نخستین تعامل زنجیری حل می‌شد. نخستین تعامل زنجیری در سال 1942 به وسیله گروپی که زیر نظر انریکوفر می‌کار می‌کردند، در دانشگاه شیکاگو عملی شد. امروزه ریکتورهای بسیاری که متعادل کننده گرافیتی دارند، در سراسر جهان کار می‌کنند، هدف کار با این نوع ریکتورها در مبحث بعدی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

کنترل یک ریکتور نسبتاً آسان است. هرگاه میزان متلاشی شدن‌ها زیاد شود، چند میله کنترل در ریکتور داخل می‌کنند. این میله‌ها مرکب از ماده‌ی چون کادمیم یا بور (چون عنصر بور توسط دانشمندی دنمارکی به نام نیلزبور کشف گردید، این عنصر به نام خودش مسما گردید) است که نیوترون‌های کند را جذب می‌کند و بدین وسیله تعداد نیوترون‌های متعادل کننده را کاهش می‌دهد. خارج ساختن میله‌های کنترل موجب می‌شود که میزان کار ریکتور بالا رود. شکل (11-6)، تعاملات اساسی یک ریکتور هسته‌ی را نشان می‌دهد که ماده متلاشی‌پذیر آن یورانیوم است.

بحث کنید



چگونه می‌توان سرعت عکس‌العمل یک ریکتور را کنترل کرد؟

رهایی انرژی به مقیاس زیاد و بعضی از پیامدهای آن:

در طول جنگ جهانی دوم، از ریکتورهای هسته‌یی برای تولید مواد خام نوعی بمب هسته‌یی یعنی برای ساخت ^{239}Pu از ^{238}U استفاده صورت گرفت که به قدر کافی کند می‌شدند و موجب متلاشی شدن در اتم‌های ^{235}U نمی‌شدند (در یورانیوم طبیعی فقط حدود 0.75% اتم‌های ^{235}U وجود دارد) استفاده می‌شد، و در عوض، نیوترون‌های متلاشی شده از طریق تعاملاتی که در بخش قبل بیان شد، به وسیله ^{238}U جذب شده و هسته‌های ^{239}Pu را تشکیل می‌دادند. ^{239}Pu به مانند ^{235}Pu عمل می‌کند، هر دوی آنها می‌توانند تعامل زنجیری کنترل نشده سریع ایجاد کنند. بمب‌های هسته‌یی از هر دوی این مواد ساخته می‌شدند. تنها یک بمب اتمی که از ^{235}U ساخته شده بود، شهر هیروشیما در جاپان را در 6 اگست سال 1945 ویران کرد، بمب دیگر که در آن از ^{239}Pu استفاده شده بود، سه روز بعد شهر ناگاساکی را منهدم ساخت.

از پایان جنگ جهانی دوم یعنی از سال 1945 به بعد تکنالوژی اژهم‌پاشی (متلاشی شدن) در دو جهت متفاوت توسعه یافت است. یکی جهت نظامی بوده است که در این جهت علاوه بر ایالات متحده، کشورهای دیگر از جمله بریتانیا، روسیه، فرانسه، هند و چین سلاح‌های هسته‌یی ساخته‌اند. توانایی عظیم مرگبار این سلاح‌ها و تعداد روزافزون بمب‌های متنوعی که در چهار گوشه جهان انباشته شده، تنش‌های خطرناک موجود در سراسر جهان افرونی بخشیده و نیاز به فرونشانی صلح‌آمیز مشاجرات بین‌المللی را امری مهم و قاطع ساخته است.

مسأله اساسی خطرناک دیگر، تشعشعات رادیواکتیو در آزمایش‌های بمب هسته‌یی است. در انفجار بمب هسته‌یی مقدار قابل توجهی محصولات متلاشی شده رادیواکتیو پراکنده می‌شوند. این مواد به وسیله وزش باد از یک بخش جهان به نقاط دیگر آن منتقل می‌شوند و به وسیله برف و باران از هوا فرو می‌ریزند. بعضی از مواد رادیواکتیو طول عمر زیادی دارند، آنها به وسیله مواد غذایی روینده جذب و به وسیله انسان‌ها و حیوانات خورده می‌شوند.

معلوم شده است که این گونه مواد رادیواکتیو آثار جنیتیکی و همچنین آثار زیان‌آور جسمانی دارند. یکی از فراوان‌ترین محصولات در تعامل متلاشی شدن ^{235}U یا ^{239}U که طول عمر زیادی نیز دارد، ایزوتوپ استرانسیم $^{90}_{38}\text{Sr}$ است. این ایزوتوپ از لحاظ خواص کیمیاوی شبیه به $^{40}_{20}\text{Ca}$ است.

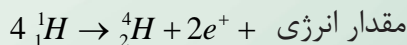
بنابراین وقتی ^{90}Sr از تشعشعات رادیواکتیو وارد بدن می‌شود، به ماده استخوانی بدن راه می‌یابد. ^{90}Sr با پخش کردن ذرات β با انرژی 0.54Mev (نیم عمر 28 سال) از بین می‌رود که می‌تواند به سلول‌ها آسیب رساند و موجب امراض دیگری مانند تومور استخوان و احتمالاً صدماتی به اشکال دیگر به خصوص در کودکان در حال رشد شود.

درباره آسیب‌های ممکن برای نسل حاضر و نسل‌های آینده، بحث‌ها و پژوهش‌های بسیار به عمل آمده است. تا حدی در نتیجه درخواست‌ها و اعتراض‌های سازمان‌یافته دانشمندان، ایالات متحده، بریتانیا، شوروی و ملت‌های دیگر (به جز فرانسه و چین) در سال 1963 درباره به تعویق انداختن آزمایش‌های بیشتر بمب هسته‌یی در فضا به توافق رسیدند. همچنان درین معاهده ملت‌ها موافقت نمودند که سلاح‌های هسته‌یی در اختیار ملت‌های فاقد کوره‌های هسته‌یی قرار نگیرد. و بدین ترتیب، از سال 1970 زمینه برای گفتگو درباره محدودیت تسلیحاتی آماده شد و با موفقیت نسبی ادامه یافت. همچنان حرارت بدون مصرف پخش تشعشعات رادیواکتیو و فصولات رادیواکتیو حاصل از مراکز هسته‌یی، امکان ایجاد مخاطراتی در محیط زیست دارند؛ مثلاً: مراکزی که به واسطه بخار، برق تولید می‌کنند، خواه هسته‌یی باشد یا فوسیلی، بین 30% و 40% قابل استفاده می‌باشد. این بدان معنی است که از هر سه واحدی که حرارت آن به توان محرکه تبدیل می‌شود، یک واحد آن برق تولید می‌کند و تقریباً دو واحد دیگر آن بدون مصرف باقی می‌ماند. ذخیره‌گاه‌هایی که سوخت‌های فوسیلی (ذغال سنگ، نفت، گاز) مصرف می‌کنند، همواره مقداری از حرارت بی‌مصرف خود را به هوا می‌فرستند و سبب آلوده‌گی محیط زیست می‌شوند، که همین عمل را آلوده‌گی حرارتی می‌نامند. اگر همین حرارت به دریاها و دریاچه‌ها هم وارد گردد، حیات موجودات بحری را با خط مواجه می‌کند.

11-6: همجوشی یا گداز هسته‌یی (Nuclear Fusion)

در تعامل انفجار (متلاشی شدن) هسته‌یی دیدیم که یک هسته سنگین با جذب یک نیوترون به دو هسته سبک‌تر پراکنده شده و مقداری انرژی آزاد می‌شود.

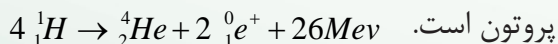
یک نوع تعامل هسته‌یی دیگر نیز وجود دارد که گداز هسته‌یی نامیده می‌شود و آن وقتی صورت می‌گیرد که دو هسته سبک با یک‌دیگر ترکیب شوند و هسته سنگین‌تری تولید کنند. در این تعامل، کتله هسته تولید شده کم‌تر از کتله هسته‌های اولیه است و در نتیجه مقداری انرژی آزاد می‌شود. از این نوع تعاملات، به طور مثال می‌توان تعامل زیر را نام برد:



در این تعامل، چهار هسته اتم هایدروجن (یعنی چهار پروتون) با هم ترکیب می‌شوند. و یک هسته هیلیم 4 (یعنی یک ذره الفا) به اضافه یک پوزیترون ($+e$) تولید می‌کنند و مقداری انرژی نیز آزاد می‌نمایند. پوزیترون ذره‌یی مشابه الکترون است که کتله آن با کتله الکترون برابر و چارج آن مثبت است. تعامل همجوشی هسته‌یی با یک مشکل بزرگ همراه است و آن اینکه ذره‌هایی که درین تعامل باید با هم ترکیب شوند، چارج مثبت دارند و برای آن که با هم ترکیب شوند (به هم جوش بخورند)، باید بر قوه دافعه برقی غلبه کنند. برای این کار در ابتدای پروسه باید مقدار زیادی انرژی صرف کرد. به طور مثال برای اینکه دو پروتون را به اندازه کافی به هم نزدیک کنیم، باید به آنها انرژی‌یی حدود 0.1Mev بدهیم تا به هم نزدیک شوند. این کار را می‌توان به کمک دستگاه‌هایی به نام شتاب دهنده انجام داد. اما دادن انرژی لازم برای آغاز فعالیت چنین دستگاهی، خیلی بیشتر از انرژی حاصل از تعامل همجوشی است. راه دیگری که برای تأمین این انرژی وجود دارد، حرارت دادن به هسته‌ها تا درجه حرارت $10^7\text{ }^\circ\text{C}$ است که در چنین درجه حرارتی، انرژی حرکتی هسته‌ها برای غلبه قوه دافعه برقی بین آنها کافی خواهد بود. چنین درجه حرارت بالایی در ستاره‌گان و آفتاب وجود دارد؛ مثلاً: درجه حرارت داخلی آفتاب در حدود $2 \times 10^7\text{ }^\circ\text{C}$ است، پس تعامل گداز هسته‌یی در آفتاب و ستاره‌گان به طور عادی و طبیعی صورت می‌گیرد. بخش عمده انرژی آفتابی از طریق تعامل همجوشی تأمین می‌شود. این انرژی به اندازه‌یی است که هم آفتاب را داغ نگه می‌دارد و هم انرژی لازم را برای اقمار و سیاره‌های منظومه شمسی و از آن جمله سیاره زمین فراهم می‌کند.

تعاملات همجوشی در ستاره‌گان

یکی از دلچسپ‌ترین موضوعات فزیک هسته‌یی، مطالعه انواع گوناگون منابع انرژی ستاره‌گان است که آفتاب یکی از آنهاست. در آفتاب پروسه همجوشی، تولید یک هسته هیلیم از چهار



این تعامل در یک مرحله صورت نمی‌گیرد، بلکه طی مرحله‌های متفاوتی از تعاملات به پیش می‌رود که نتیجه کلی آنها در معادله بالا خلاصه شده است. در هر مرحله مقدار کل انرژی آزاد شده 26Mev است. منبع اصلی همجوشی چهار پروتون و تبدیل آنها به هسته هیلیم، انرژی داخلی آفتاب است. تعاملات کیمیایی نمی‌توانند آن قدر زیاد (یا آن قدر دوامدار) انرژی ایجاد کنند که جوابگوی تولید انرژی در آفتاب باشد، اما تعاملات همجوشی هسته‌ها در آفتاب از عهده این کار برمی‌آیند. هایدروجن و هیلیم مجموعاً حدود 99% کتله آفتاب را تشکیل می‌دهند که در آن تقریباً هایدروجن دو برابر هیلیم است.

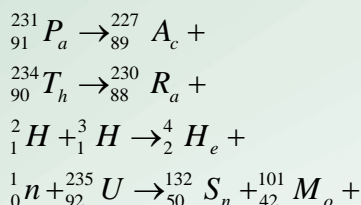
بنابراین در آفتاب ذخیره هایدروجن کافی وجود دارد که می‌تواند انرژی آفتاب را برای میلیون‌ها سال آینده تأمین نماید.

تبدیل هایدروجن به هلیوم با کدام مجموعه از تعاملات ممکن صورت می‌گیرد؟ پروسه مستقیم از نتیجه برخورد چهار پروتون برای تشکیل یک هسته هیلیم قابل قبول دانسته نشده است، زیرا احتمال چنین تعاملی در شرایط آفتاب بسیار کم است. البته ممکن است چنین تعاملی صورت گیرد مگر نه آن‌قدر زیاد که جوابگوی مقدار انرژی آزاد شده باشد.

وقتی درجه حرارت در حدود $10^7 K$ باشد، انرژی جنبشی یا ارتعاشی، آن‌قدر زیاد است که برای فایق آمدن بر قوه دافعه برقی بین پروتون‌ها کفایت می‌کند و در نتیجه همجوشی دو پروتون 1_1H صورت می‌گیرد. نتیجه این تعامل هسته‌یی یک دیوترون 2_1H ، یک پوزیترون (${}^0_{+1}e$) و یک نوترینو است. به محض آنکه یک دیوترون تولید شود، بر پروتون دیگر اثر می‌کند و نتیجه آن یک هلیوم 3 (3_2He) و یک اشعه γ است.

هسته‌های هلیوم 3 با یک‌دیگر جوش خورده، ذره α و دوپروتون به وجود می‌آورند. در هر یک از این تعاملات انرژی آزاد می‌شود و حاصل آن برای یک دوره کامل، تبدیل چهار پروتون به یک هسته هلیوم و $26Mev$ است. سرعت پیشرفت تعامل به تعداد هسته‌ها در واحد حجم و به درجه حرارت بسته‌گی دارد. به هر اندازه که درجه حرارت بیشتر باشد، حرکت و یا انرژی حرارتی ذرات بیشتر و برخورد بین ذره‌ها سریع‌تر، مکررتر و پُرانرژی‌تر خواهد بود. در حرارت هسته (داخل) آفتاب که به 10 تا 20 میلیون درجه بالغ می‌گردد، انرژی‌های جنبشی حاصل از حرکت حرارتی ذرات در حدود $1kev$ می‌باشد. آزاد شدن انرژی زیاد با پروسه تعاملات همجوشی، تا کنون فقط به وسیله انفجارهای حرارت هسته‌یی از قبیل بمب‌های هایدروجنی در روی زمین ممکن بوده است. یک بمب هایدروجنی، مخلوطی از عناصر سبک با یک بمب متلاشی شده است. ذرات پُرانرژی که به وسیله تعامل متلاشی شدن ایجاد می‌شود، به عنوان آغازگر تعامل همجوشی به کار می‌آیند. انفجار بمب متلاشی شده، درجه حرارتی در حدود $5 \times 10^7 K$ تولید می‌کند که برای ایجاد تعامل همجوشی کافی است. به دنبال آن، تعاملات همجوشی مقادیر عظیمی انرژی اضافی آزاد می‌کنند. مجموع انرژی رها شده، بسیار بیشتر از مقدار انرژی‌یی است که از بمب متلاشی شده به تنهایی آزاد می‌شود.

تمرین: تعاملات زیر را کامل کرده و برای تعیین علامه ایزتوپ‌ها از جدول مندلیف استفاده کنید:



6-12: ریکتور هسته‌ای (Nuclear Reactor)

دیدیم که در پروسه تعامل هسته‌ای، یورانیوم 235 با جذب یک نیوترون گند متلاشی می‌شود و سه نیوترون می‌فرستد، این تعامل در شکل (6-9) نشان داده شده است. نیوترون‌های فرستاده شده می‌توانند به نوبه خود موجب انجام تعامل هسته‌های دیگر یورانیوم 235 شوند. اگر این پروسه هم‌چنان ادامه پیدا کند، تعداد نیوترون‌ها به سرعت زیاد می‌شود و تعاملات بیشتری رخ می‌دهد که این روند را تعامل زنجیری می‌نامند. در شکل زیر (6-12) یک نمونه تعامل زنجیری نشان داده شده است.



شکل (6-12)

دیده می‌شود که در این نمونه تعامل، انرژی زیادی تولید می‌شود. اگر تعامل زنجیری کنترل نشود (یعنی اگر به آهسته‌گی صورت نگیرد) ممکن است به انفجار عظیمی منجر شود، از این رو ریکتورهای هسته‌ای را به گونه‌ای طراحی می‌کنند که در آن‌ها تعاملات متلاشی شدن به صورت کنترل شده انجام شود. دیدیم که در یورانیوم طبیعی تنها 0.7 درصد یورانیوم 235 وجود دارد و بقیه یورانیوم 238 است که تعامل هسته‌ای در آن روی نمی‌دهد.

برعکس یورانیوم 238 می‌تواند با جذب نیوترون‌های پُرانرژی و سریع حاصل از نتیجهٔ تعامل یورانیوم 235، به هسته‌های دیگر مانند نپتونیم تبدیل شود، ولی نمی‌تواند نیوترون‌های کند را جذب کند. در نتیجه باید گفت که یورانیوم طبیعی مادهٔ مناسبی برای تعامل زنجیری است. ولی اگر یورانیوم طبیعی را با مادهٔ دارای اتم‌های سبک مخلوط کنیم، اتم‌های سبک باعث کند کردن نیوترون‌ها و مانع جذب آنها به وسیلهٔ یورانیوم 238 می‌شوند که این نوع ماده‌های با اتم‌های سبک را کُندکننده می‌نامند.

کُندکننده‌های متداول عبارت‌اند از: آب معمولی، آب سنگین و کاربن. آب سنگین آبی است که مولیکول‌های آن به جای هایدروجن معمولی (با هستهٔ 1H) ایزتوپ آن یعنی دوتریم (با هستهٔ 2D) را دارند. اثر افزودن مادهٔ کُندکننده درست مانند کم کردن تعداد هسته‌های یورانیوم 238 است. اگر بخواهیم جریان تعامل زنجیری ادامه داشته باشد، نباید مقدار هسته‌های یورانیوم 235 خیلی کم باشد، به قسمی که نیوترون‌های حاصل از هر مرحلهٔ متلاشی شدن یا پراکنده شدن بتوانند پیش از آن که جذب شوند، به هستهٔ دیگر یورانیوم 235 برخورد کنند. از سوی دیگر، اگر تعداد هسته‌های یورانیوم 235 بسیار زیاد هم باشد، تعامل زنجیری با سرعت بسیار زیاد روی می‌دهد و انفجاری خواهد بود. بین این دو وضعیت، حالت بهتری وجود دارد که در آن تنها یک نیوترون حاصل از هر مرحله در عمل متلاشی شدن بعدی شرکت می‌کند و تعامل با زمان معین ادامه می‌یابد. این مقدار معین مادهٔ اولیه را که برای آن در هر متلاشی شدن تنها یک نیوترون برای متلاشی شدن بعدی شرکت می‌کند، کتلهٔ بحرانی می‌نامند. به این اساس، ریکتورهای هسته‌ای را به گونه‌ای طراحی و استفاده می‌کنند که عملیه‌های متلاشی شدن در آنها در شرایطی نزدیک به حالت بحرانی انجام شود. انرژی‌یی که از اثر عمل متلاشی شدن حاصل می‌شود، سرانجام به شکل حرارت ظاهر می‌شود، یعنی ریکتور هسته‌ای مانند کوره‌یی عمل می‌کند که سوخت آن به جای ذغال سنگ، نفت یا گاز، یورانیوم 235 است و می‌تواند یک توربین بخار معمولی مؤلف برق را به کار اندازد. سوخت مورد نیاز ریکتورها، یورانیوم غنی شده‌یی است که باید در حدود چند درصد یورانیوم 235 داشته باشد. شکل (13-6) نیروگاه هسته‌ای را نشان می‌دهد. مواد سوخت ریکتور در محلی به نام قلب ریکتور در داخل غلاف مخصوصی قرار می‌گیرد.

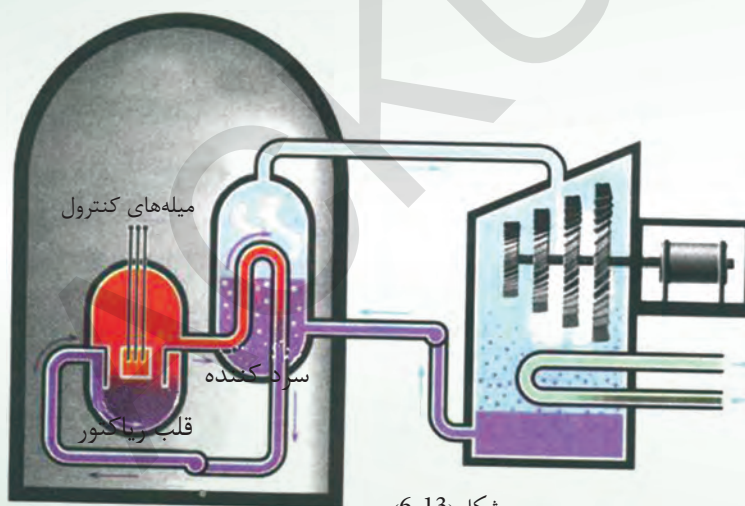
سرعت عکس‌العمل متلاشی شدن را به کمک چند میلهٔ کنترل از جنس عناصر کادیم یا بور که در قلب ریکتور قرار می‌گیرد، تنظیم می‌کنند. بدین ترتیب، اتم‌های کادیم یا بور نیوترون‌ها را به خوبی جذب می‌کنند.

برای افزایش مقدار زمان معین تعامل متلاشی شدن، میله‌های کنترل را در حد معینی از قلب ریکتور خارج می‌کنند و برای کاهش مقدار زمان معین تعامل و یا متوقف کردن، آن میله‌ها را در قلب ریکتور فرو می‌برند. حرارت تولید شده در اثر متلاشی شدن را به وسیله ساده‌یی که سرد کنند نامیده می‌شود، از ریکتور خارج می‌کنند که متداول‌ترین سردکننده، آب معمولی است. ریکتورهای هسته‌یی منبع انرژی بزرگی را به وجود می‌آورند، ولی استفاده از آنها با مسایل و مشکلات بزرگی نیز همراه است، از جمله اینکه:

- میزان ذخایر معدنی یورانیوم که سوخت ریکتورهای هسته‌یی را تشکیل می‌دهند، در طبیعت محدود است.

- غنی‌سازی یورانیوم طبیعی پروسه‌یی مشکل و بسیار پرمصرف است.

- یورانیوم ماده‌یی رادیواکتیو است و کار کردن با آن برای انسان زیان‌آور است.



شکل (6-13)

- پسماندهای سوخت ریکتورها، رادیواکتیو هستند و نگهداری و دفن آنها نه تنها عواقب ناگوار برای زیست محیطی به دنبال دارد، بلکه پرمصرف نیز است.

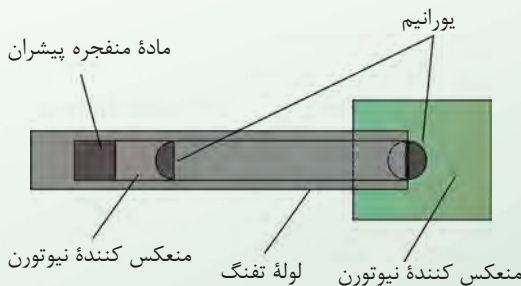
- حوادث احتمالی در ریکتورها باعث پخش ماده‌های رادیواکتیو در محیط زیست و آلوده‌گی آن می‌شود. از این رو نظارت و حفاظت از ریکتورهای متلاشی شده، بسیار مهم و کاری پرمصرف است

6-13-1: بمب‌های هسته‌ای

در یک کتله معینی از ^{235}U و ^{239}Pu (پلوتونیم)، اینکه نیوترون‌های تولید شده بر اثر متلاشی شدن، خود به‌خود با نیوترون‌های سرگردان می‌توانند یک تعامل زنجیری را آغاز نمایند و اینکه این تعامل ادامه پیدا کند یا نه، بسته‌گی به تعداد نیوترون‌هایی دارد که بر اثر جذب بدون تعامل (مانند ^{238}U) یا خارج شدن از محدوده کتله از دست می‌روند.

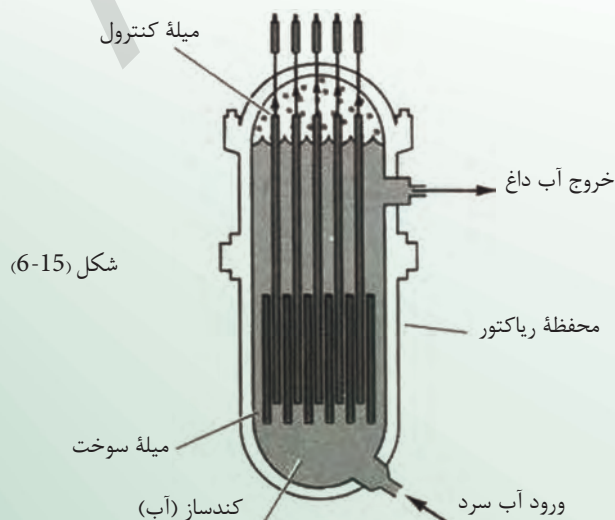
اگر کتله بزرگ باشد، تعداد کمی از نیوترون‌ها می‌توانند بدون برخورد با یک هسته به جوار کتله برسند، از این‌رو کتله بزرگ مانع فرار نیوترون‌ها می‌شود و برای تعامل زنجیری مناسب است. اگر تعداد نیوترون‌های تلف شده (بر اثر فرار یا جذب) از تعامل زنجیری برابر با تعداد نیوترون‌های آزاد شده در اثر متلاشی شدن باشد، این کتله را کتله بحرانی می‌گویند. در این حالت، تعامل زنجیری با حالت ثابت به پیش می‌رود (مانند ریکتورهای هسته‌ای) اگر تعداد نیوترون‌های تلف شده از تعامل زنجیری کمتر از تعداد نیوترون‌های آزاد شده در تعامل متلاشی شده باشد. انفجار بمب متلاشی کتله را فوق بحرانی می‌گویند. در این حالت تعامل زنجیری به طور فزاینده به پیش می‌رود و به انفجار منجر می‌شود (مانند بمب هسته‌ای). برای ^{235}U خالص که به صورت کره‌یی در آمده باشد، کتله بحرانی در حدود 50kg است. ساده‌ترین بمب اتمی متشکل است از دو قطعه ^{235}U که کتله هر یک به تنهایی کمتر از کتله بحرانی و به طور مجموعی بیشتر از کتله بحرانی است. برای اینکه بمب منفجر شود، باید دو قطعه را که ابتدا در فاصله امنی از یک‌دیگر قرار دارند، ناگهان به هم نزدیک کرد. در اولین بمب وسیله‌یی که برای به هم نزدیک شدن دو قطعه یورانیوم به کار رفت، تفنگی بود که یک قطعه را با سرعت زیاد به سمت قطعه دیگر به پیش می‌راند.

شکل (6-14)



بمب‌های متلاشی شده پیچیده‌تر متشکل اند از یک کتله تحت بحرانی ^{239}U . انرژی آزاد شده در انفجار هر بمب اتمی، نوعاً معادل انرژی آزاد شده در انفجار حدود 20 کیلو تن تی. ان. تی است. TNT مخفف (Tri Nitro Toluene) بوده و مانند دینامیک یک ماده انفجاری است، شکل (14-6). بیشترین بهره انفجاری در بمب‌های هایدروجنی به دست می‌آید که در آنها یک بمب اتمی برای شروع تعامل‌های هسته‌یی شبیه تعامل‌های هسته‌یی داخل آفتاب به کار می‌رود. انرژی آزاد شده در هر بمب هایدروجن در حدود یک یا چندین میگاتن می‌باشد. چنین انفجاری با آتش‌سوزی و انهدام کامل و نابودی زنده‌گی تا شعاع شانزده کیلومتری از مرکز انفجار، می‌تواند شهر کاملی را با خاک یکسان کند.

برای استفاده صلح‌آمیز از تعامل‌های هسته‌یی در ریکتور هسته‌یی، باید تعامل زنجیری را کنترل کنیم تا به قسم ثابت و یکنواخت انرژی آزاد کند. یعنی سیستم محافظتی یورانیوم یا هر سوخت هسته‌یی دیگر باید به حالت بحرانی باشد. رایج‌ترین نوع ریکتور، ریکتوری است که با یورانیوم غنی شده شامل چند درصد ^{235}U مخلوط با نودوپند درصد ^{238}U کار می‌کند. این مخلوط یورانیوم نمی‌تواند به خودی خود تعامل زنجیری را حفظ کند، زیرا ^{238}U بیشتر نیوترون‌ها را جذب می‌کند. اما اگر این مخلوط را ماده‌یی که نیوترون‌های آزاد شده در عملیه متلاشی شدن را کند می‌کند احاطه کند، تعامل زنجیری تداوم می‌یابد. ماده گندکننده نیوترون‌ها را کندساز می‌گویند. نقش ماده گندساز در هر عمل متلاشی شدن، شبیه به نقش کتلست در یک تعامل کیمیاوی است، چون نیوترون‌های کند در ایجاد متلاشی شدن ^{235}U مؤثرتر از نیوترون‌های تند (سریع) هستند و احتمال جذب آنها توسط ^{238}U نیز کمتر است. کندساز تعامل زنجیری را تقویت می‌کند.



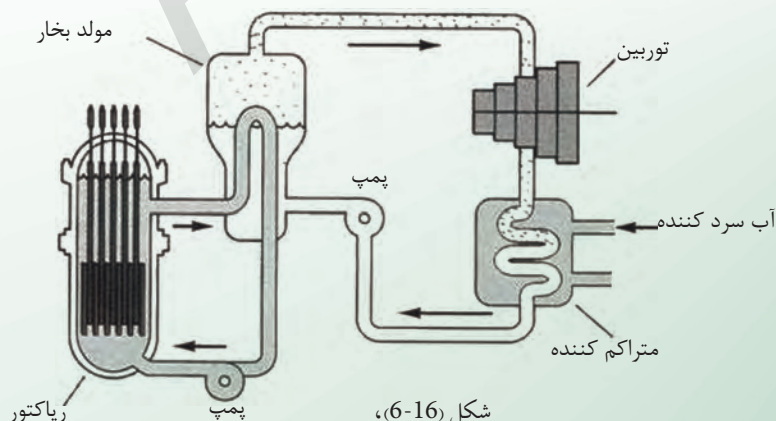
یورانیوم در داخل ریکتور، معمولاً در میله‌های سوخت بلند قرار داده می‌شود و این میله‌ها در داخل کندساز غوطه‌ور اند، شکل (6-15). نیوترون‌های سریعی که در اثر متلاشی شدن‌ها آزاد می‌شوند، از میله‌های سوخت به کندساز می‌روند و در آنجا بر اثر برخورد با هسته‌های کندساز انرژی خود را از دست می‌دهند، سپس به طرف یکی از میله‌های سوخت برمی‌گردند و سبب تولید متلاشی شدن‌های دیگری می‌شوند. سه کندساز مناسب عبارت اند از: آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (کاربن خالص).

سیستم‌بندی و ساختار ریکتور (اندازه، تعداد و محل میله‌های سوخت و شکل کندساز آن) باید طوری طراحی شوند که ریکتور تقریباً بحرانی باشد. تنظیم دقیق تعداد نیوترون‌ها در تعامل به طور ثابت با وسیله‌ای به نام میله‌های کنترل بور یا کادیم انجام می‌شود. این مواد نیوترون‌ها را به شدت جذب می‌کنند و با فشار دادن میله‌های کنترل به داخل و یا بیرون کشیدن آنها، تعامل به طور ثابت کاهش یا افزایش می‌یابد.

6-13-2: کاربردهای ریکتور هسته‌یی

در مورد شناخت ریکتور هسته‌یی در درس گذشته معلومات حاصل نمودید، اکنون در مورد کاربردهای ریکتور هسته‌یی آشنایی حاصل می‌کنید.

کاربرد عمده ریکتورها در تولید توان الکتریکی (برقی) است. در ایالات متحده، قلب بیشتر ریکتورهایی که برای این منظور به کار می‌روند پر از آب است. آب همزمان هم به حیث کندساز و هم به حیث سردکننده به کار می‌رود. آب در قلب ریکتور می‌چرخد و انرژی حرارتی آزاد شده در تعامل‌های متلاشی شدن را خارج می‌کند، شکل (6-16).



شکل (6-16)،

طرح نیروگاه هسته‌یی



این حرارت از آب به بخار منتقل می‌شود و بخار، یک توربین بخار را که به یک مؤلفه برقی متصل است، می‌چرخاند. از این رو ریکتور هسته‌ای نقش یک کوره ماشین بخار معمولی را بازی می‌کند، که سوخت آن به جای ذغال و یا نفت، یورانیوم است. منبع قوه‌های هسته‌ای می‌توانند همه نیازهای انرژی چندین صد سال، یا حتی چندین هزار سال آینده ما را تأمین کنند. متأسفانه تعاملات متلاشی شدن هسته‌ای، انرژی کثیف حاوی پسماندهای خطرناک اشعه رادیواکتیو را نیز تولید می‌کنند. منبع قوه‌های هسته‌ای باید طوری با دقت عیار شوند که بتوانند این پسماندها را محبوس نگه‌دارند.

شکل (6-17)

نیروگاه هسته‌ای

قلب ریکتور در یک محفظه سنگین قرار دارد و به حیث یک اقدام احتاطی اضافی به این محفظه، پمپ‌ها و پیپ‌های متصل به آن در جای محفوظی قرار می‌گیرد. وقتی سوخت ریکتور تمام شد، پسماندهای رادیواکتیو باید به محل امن منتقل و در آنجا صدها سال انبار شود تا اشعه رادیواکتیو آنها از بین برود. سوخت همه ریکتورهای قدرتمند در ایالات متحده ^{235}U است. متأسفانه ذخیره این سوخت هسته‌ای نسبتاً محدود است و انتظار می‌رود که در اوایل قرن آینده تمام شود. اما سوخت‌های هسته‌ای دیگر به مقدار زیاد وجود ندارد، که یکی از آنها ^{238}U است. اگر چه ادامه تعامل زنجیری در ^{238}U ممکن نیست، اما ^{238}U می‌تواند به ^{239}Pu تبدیل شود که تعامل زنجیری در آن صورت می‌گیرد. تولید ^{239}Pu یک محصول محرکه کار ریکتورهای هسته‌ای فعلی است، در همه این ریکتورها، میله‌های سوخت، حاوی مخلوطی از ^{235}U و ^{238}U هستند و به اثر برخورد نوترون‌های متلاشی شده با ^{238}U ، به تدریج آن را به ^{239}Pu تبدیل می‌کند. ریکتوری که ^{239}Pu مصرف می‌کند، نه تنها مواد بالقوه زاید را به کار می‌برد، بلکه اگر در پوششی از ^{238}U محصور شود، می‌تواند ^{239}Pu اضافی نیز تولید کند. تعداد نوترون‌های آزاد شده در متلاشی شدن ^{238}U به قدری زیاد است که در ریکتوری که خوب طراحی شده، نوترون‌ها می‌توانند بدون این که اختلالی در تعامل زنجیری به وجود آید، به طرف ^{239}Pu نیز هدایت شوند. چنین ریکتوری می‌تواند بیش از مقدار ^{239}Pu که از ذخیره اصلی آن مصرف می‌کند، تولید کند. این نوع ریکتورها را ریکتور زاینده می‌گویند. این ریکتورها به دلیل نگرانی از ایمن نبودن آنها، در ایالات متحده به کار برده نمی‌شوند. اما تعدادی از آنها به طور موفقیت‌آمیز در اروپا کار می‌کنند.

خلاصه فصل ششم

- تمام کتلهٔ اتم‌های یک عنصر در هستهٔ آن متمرکز است.
- هسته شامل پروتون‌ها و نیوترون‌هایی است که به صورت فشرده کنار هم قرار گرفته‌اند.
- عناصری که نمبر اتمی‌شان یکی، اما وزن اتمی‌شان از هم فرق داشته باشد، آیزوتوپ نامیده می‌شوند.
- قوهٔ دافعهٔ برقی پروتون‌ها سعی بر متلاشی شدن هسته‌ها را دارد اما چون قوهٔ جاذبهٔ هسته‌یی بر این قوه غلبه دارد، در نتیجه، هسته پایدار می‌ماند.
- هر قدر تعداد ذرات یک هسته بیشتر باشد، هسته بزرگ‌تر و فاصلهٔ بین ذرات هسته زیادتر می‌شود، در نتیجه تعادل قوه‌ها از بین می‌رود و هسته ناپایدار می‌گردد. این گونه آیزوتوپ‌ها را ناپایدار می‌نامند.
- با گذشت زمان در هستهٔ آیزوتوپ‌های ناپایدار تغییراتی صورت می‌گیرد و آن‌ها به هسته‌های پایدارتر تبدیل می‌شوند. این گونه تغییرات به صورت خود به خودی رخ می‌دهد.
- تمام عنصرهایی که عدد، اتمی‌شان بزرگ‌تر از $Z = 38$ است، ناپایدار اند. این عنصرها به تدریج از کرهٔ زمین ناپدید می‌شوند. ریدیم، توریم و یورانم از جملهٔ این عنصرها هستند.
- هنگامی که ذرات در هسته گرد هم آمده‌اند، مقداری انرژی از دست داده‌اند. مقدار این انرژی از رابطهٔ $B = \Delta Mc^2$ به دست می‌آید و آن را انرژی بسته‌گی هسته می‌نامند.
- ذرهٔ الفا (α)، هستهٔ هلیوم است که از دو پروتون و دو نیوترون تشکیل شده است.
- ذرهٔ بیتا (β) از جنس الکترون است.
- ذرهٔ گاما (γ) از جنس موج‌های الکترومغناطیسی با طول موج بسیار کوتاه است.
- نیم عمر یک مادهٔ را دیواکتیو، مدت زمانی است که طی آن نیمی از هسته‌های رادیواکتیو موجود در آن متلاشی می‌شوند.
- انشقاق هسته‌یی، یک عکس‌العمل هسته است که طی آن یک هستهٔ سنگین به دو هسته با کتله‌های کمتر انشقاق می‌شود.
- ریاکتور هسته‌یی ریاکتوری است که سوخت آن به جای زغال سنگ، نفت یا گاز، یورانیم 235 است و می‌تواند یک توربین بخار معمولی مولد برق را به کار اندازد. ریاکتورهای هسته‌یی، منبع انرژی بزرگی را به وجود آورده‌اند.
- تولید پلاتین 197 (مادهٔ رادیواکتیو) در یک تعامل هسته‌یی، نمونه‌یی از رادیواکتیو مصنوعی است.
- حرارت مصرف نشدهٔ بخش تشعشعات رادیواکتیو و فضولات رادیواکتیو حاصل شده از مراکز

هسته‌یی، امکان ایجاد مخا طراتی را در محیط زیست دارند.

- تعامل زنجیری در سال 1942 به وسیله گروپی که زیر نظر انریکو فرمی کار می کردند، در دانشگاه شیکاگو عملی گردید.
- وقتی که دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب شوند و هسته سنگین تری تولید کنند، در این صورت کتله هسته تولید شده کم تر از کتله هسته های اولیه است، و در نتیجه مقداری انرژی نیز آزاد می شود.

سؤال های فصل ششم

- 1) فرق بین الکترون و پوزیترون چیست؟
- 2) هسته چه بوده و دارای کدام اجزاست، واضح سازید؟
- 3) کدام هسته ها را هسته های رادیواکتیو می نامند؟
- 4) فرق بین رادیواکتیو و آیزوتوپ چیست؟
- 5) فرق بین اشعه α و β چیست؟
- 6) اشعه α و γ از هم چه فرقی دارند؟
- 7) چه وقت در هسته انشقاق صورت می گیرد؟
- 8) از ریاکتورهای هسته‌یی برای چه استفاده می کنند؟
- 9) وقتی یک اتوم تحت بمبارد مان قرار گیرد، کدام مواد را تولید می کند؟
- 10) از هسته ریدیم $^{226}_{88}Ra$ یک ذره الفا α گسیل می شود. معادله عمل متقابل را بنویسید.
- 11) از کوبالت 60 اشعه گاما (γ) گسیل می شود. معادله عمل متقابل را بنویسید.
- 12) بیسموت $^{210}_{83}Bi$ عنصر رادیواکتیو است که از آن اشعه β گسیل می شود. معادله عمل متقابل را بنویسید؟
- 13) هنگامی که از ایزوتوپی، اشعه الفا (α) گسیل می شود، چه تغییری در هسته رخ می دهد؟

وهمچنان هنگام گسیل اشعهٔ بیتا (β) و هنگام گسیل اشعهٔ گاما (γ) چگونه تغییراتی رخ می‌دهد؟

14) یورانیم 239 ایزوتوپی است؟

a : پایدار b : ناپایدار c : هر دوی آن d : بی تفاوت

15) قطر هستهٔ اتوم در کدام حدود ذیل کوچک‌تر از قطر اتوم است؟

$a - 10^2$ چند $b - 10^5$ چند $c - 10^{-2}$ چند $d - 10^{-5}$ چند

16) کدام یک از علامه‌های زیر علامهٔ کیمیایی یک اتوم X را در فزیک هسته‌یی درست نشان می‌دهد؟

${}_Z^AX_N - a$ ${}_N^AX_Z - b$ ${}_Z^AX_N - c$ ${}_A^ZX_N - d$

17) با گسیل کدام اشعه از هستهٔ اتوم، فقط چارج هسته تغییر می‌کند و عدد کتلهٔ آن ثابت می‌ماند؟

$a -$ بیتا (β) $b -$ الفا (α) $c -$ پروتون $d -$ گاما (γ)

18) کدام عبارت درست است؟

$a -$ با گذشت زمان، نیم عمر یک عنصر رادیواکتیو کاهش می‌یابد.

$b -$ بر اثر تشعشع (رادیواکتیویته) ممکن است نمبر اتمی هسته کاهش و یا افزایش یابد.

$c -$ هر چه انرژی بسته‌گی هسته بیشتر باشد، آن هسته ناپایدارتر است.

$d -$ اگر از هسته فقط اشعهٔ الفا خارج شود، عدد کتلهٔ آن یک واحد کاهش می‌یابد.

19) در اتوم ${}_{28}^{60}\text{Ni}$ تعداد پروتون‌ها در هسته چند دانه است؟

$a - 28$ $b - 32$ $c - 60$ $d - 88$

جدول دورهی عناصر

Periodic Table of Elements

جدول دوری عناصر

Periodic Table of Elements

1 1A 11A	2 IIA 2A	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 9	10 VIII 10	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A
1 H Hydrogen 1.0079	2 He Helium 4.00260	3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.0074	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403	10 Ne Neon 20.1797	11 Na Sodium 22.989769	12 Mg Magnesium 24.305	13 Al Aluminum 26.981538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.90543	56 Ba Barium 137.327	57-71 La Lanthanum 138.9055	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine 209	86 Rn Radon 222.0175
87 Fr Francium 223.0197	88 Ra Radium 226.0254	89-103 Ac Actinium 227.0278	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [265]	109 Mt Meitnerium [266]	110 Ds Darmstadtium [265]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [285]	113 Nh Nihonium [284]	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium [288]	116 Lv Livermorium [293]	117 Ts Tennessine [294]	118 Uuo Ununoctium [294]

57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.90765	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9655	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0796	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.0951	101 Md Mendelevium 258	102 No Nobelium 259	103 Lr Lawrencium [262]

- سلسله
اکتینایدها
- سلسله
لانثانایدها
- گازات
نخیه
- هلوجن ها
- غیر فلزات
- شبه فلزات
- فلزات اصلی
- فلزات انتقالی
- فلزات
آلای زمینی
- فلزات آلی

منابعی که از آن استفاده شده:

1. PHYSICS (PRINCIPLES WITH APPLICATIONS), by Douglas C. Gain coli, Published by Pearson Education Inc, 2005.
2. PHYSICS by James S. Walker, Pearson Education Inc. USA, New Jersey, 2004
3. PHYSICS by R.A. Serwey and J.S. Faughn, 2006 by Holt, Rinehart and Winston.
4. PHYSICS, A Text book, published by Surat Publishing Company, Printed in TURKEY, 1996.
5. THERMODYNAMICS and Molecular Physics, by Osman OZPALA, Ahmet ACET, Printed in Istanbul- TURKEY, 2003
6. کتاب درسی فزیک صنف دوازدهم مکاتب تعلیمات عمومی، ریاست تألیف و ترجمه، وزارت معارف، کابل، 1383. ه. ش
7. کتاب درسی فزیک صنف دهم مکاتب تعلیمات عمومی، ریاست تألیف و ترجمه، وزارت معارف، کابل، 1383. ه. ش
8. اصول فزیک جلد اول، هانس سی. اوهانیان، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، 1383
9. فزیک برای رشته‌های فنی، فردریک بیوکی، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، 1385
10. طرح فزیک‌هاروارد، واحد (5) مدل‌های اتم، هولتون، رادرفورد، واتسون، مؤسسه فرهنگی فاطمی، تهران، 1380
11. طرح فزیک‌هاروارد، واحد (6) هسته اتم، هولتون، رادرفورد، واتسون، مؤسسه فرهنگی فاطمی، تهران، 1380
12. فزیک 2 دوره پیش دانشگاهی (کتاب کار دانش آموز)، محمد علی پزشکیپور و روح الله خلیلی بروجنی، مؤسسه فرهنگی فاطمی، تهران، 1384 ه. ش
13. فزیک (1 و 2) دوره پیش دانشگاهی، احمد احمدی، اعظم پورقازی و... سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش ایران، 1384
14. فزیک (3) و آزمایشگاه، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، سال طبع 1385 ه. ش