جزوه حفظیات به همراه مجموعه تست حفظیات

همایش
فیزیک کنکور ۱۴۰۳

مهندس مجید ساکی

فیزیک و اندازه‌گیری

فیزیک یک علم تجربی (مبتنی بر آزمایش) است که الگوها و نظم بین پدیده‌ها را اغلب براساس ۱ قوانین ۲ نظریه‌ها ۳ مدل‌ها توضیح می‌دهد.

چند عبارت مهم | ۱ قوانین، اصول، نظریه‌ها و مدل‌ها توسط **آزمایش‌ها** مورد آزمون قرار می‌گیرند.

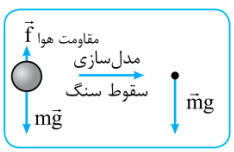
۲ مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان ممکن است دچار تغییر شوند یا حتی توسط نظریه‌های جدید جایگزین شوند. دلیل این تغییرات نتایج آزمایش‌های جدید است. به عنوان نمونه در زیر نمایی از سیر تکامل مدل اتمی را می‌توانید مشاهده کنید:

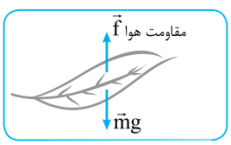
شرودینگر
مدل ابر الکترونی
→ بور
مدل سیاره‌ای
→ رادرفورد
مدل هسته‌ای
→ تامسون
مدل کیک کشمشی
→ دالتون
مدل توپ بیلیارد

۳ ویژگی **آزمون‌پذیری** و **اصلاح** نظریه‌های فیزیکی **نقطهٔ قوت** دانش فیزیک است.

۴ **تفکر نقادانه** و **اندیشه‌ورزی فعال** نسبت به پدیده‌ها، بیشترین نقش را در پیشبرد و تکامل فیزیک داشته است.

مدل‌سازی درفیزیک





مدل‌سازی: فرایندی که طی آن یک پدیدهٔ فیزیکی، آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

نکته در مدل‌سازی **اثرهای جزئی** را نادیده می‌گیریم ولی نباید اثرهای مهم و تعیین‌کننده را نادیده بگیریم.

مثلاً در بررسی پدیدهٔ سقوط یک سنگ، از مقاومت هوا، تغییر شتاب گرانش بر اثر تغییر ارتفاع و ابعاد سنگ صرف‌نظر کرده و با این کار تحلیل سقوط سنگ را راحت‌تر می‌کنیم. در پدیدهٔ سقوط سنگ از مقاومت هوا چشم‌پوشی می‌کنیم اما در پدیدهٔ سقوط یک پَر نمی‌توانیم از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنیم؛ چرا که مقاومت هوا بر سقوط پر تأثیر زیادی دارد.

در فیزیک به هر آن‌چه که بتوانیم اندازه بگیریم، **کمیت فیزیکی** می‌گوییم. برای اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی و مقایسهٔ آن‌ها به **یکای** اندازه‌گیری نیاز داریم.

یکای اندازه‌گیری: به مقدار معین و قراردادی از یک کمیت، یکای اندازه‌گیری آن کمیت می‌گوییم.

نکته یکای استاندارد باید: ۱ تغییرناپذیر باشد. ۲ قابلیت بازتولید در مکان‌های مختلف را داشته باشد.

دسته‌بندی کمیت‌های فیزیکی | کمیت‌های فیزیکی را به دو صورت دسته‌بندی می‌کنیم.

دسته‌بندی اول

- **کمیت‌های نرده‌ای:** کمیت‌هایی هستند که **جهت ندارند** و برای بیان آن‌ها فقط به یک عدد و یکای اندازه‌گیری مناسب نیاز داریم. کمیت‌هایی مانند جرم، زمان، تندی، مسافت، انرژی، جریان الکتریکی و فشار، کمیت نرده‌ای هستند.
- **کمیت‌های برداری:** کمیت‌هایی هستند که برای بیان آن‌ها علاوه بر یک عدد و یکای اندازه‌گیری مناسب باید جهت آن را نیز مشخص کنیم. کمیت‌های برداری که در کنکور با آن‌ها سروکار دارید، عبارت‌اند از: جابه‌جایی، سرعت، شتاب، نیرو، میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی، تکانه.

دسته‌بندی دوم

- **کمیت‌های اصلی:** مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها، هفت کمیت فیزیکی **جرم**، **طول**، **زمان**، **دما**، **جریان الکتریکی**، **مقدار ماده** و **شدت روشنایی** را به عنوان کمیت‌های اصلی معرفی کرده است. برای این کمیت‌ها، یکاهای مستقلی تعریف شده است.
- **کمیت‌های فرعی:** کمیت‌هایی هستند که یکای اندازه‌گیری آن‌ها توسط یکاهای اصلی تعریف می‌شوند و به یکاهای آن‌ها نیز یکای فرعی می‌گوییم. هر کمیتی به‌جز هفت کمیت اصلی، کمیت فرعی محسوب می‌شود. مانند: تندی، شتاب، نیرو، فشار، بار الکتریکی و انرژی.

یکاهای اصلی: به یکاهای اندازه‌گیری هفت کمیت اصلی، یکاهای اصلی می‌گوییم که در جدول زیر آن‌ها را مشاهده می‌کنید.

کمیت‌های اصلی و یکای آن‌ها	کمیت	طول	جرم	زمان	دما	مقدار ماده	جریان الکتریکی	شدت روشنایی
	نام یکا	متر	کیلوگرم	ثانیه	کلوین	مول	آمپر	کَندِلا (شمع)
	نماد یکا	m	kg	s	K	mol	A	cd

معرفی یکاهای SI چند کمیت اصلی

متر: یک متر مسافتی است که نور در مدت‌زمان $\frac{1}{299792458}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند.

کیلوگرم: یک کیلوگرم (kg) جرم استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین ـ ایریدیوم است که در موزهٔ سِور فرانسه نگه‌داری می‌شود.

ثانیه: امروزه یک ثانیه براساس کارکرد ساعت‌های اتمی بسیار دقیق تعریف شده است؛ اما در گذشته یک ثانیه $\frac{1}{86400}$ میانگین یک روز خورشیدی تعریف می‌شد.

یکای فرعی: به یکای کمیت‌های فرعی که از روی یکاهای اصلی به دست می‌آید، یکای فرعی می‌گوییم.

در جدول زیر تعدادی از کمیت‌های فرعی و ارتباط یکاهای آن‌ها با یکاهای اصلی را مشاهده می‌کنید.

کمیت	تندی و سرعت	شتاب	نیرو	فشار	انرژی	بار الکتریکی
یکای SI	m/s	m/s^2	نیوتون (N)	پاسکال (Pa)	ژول (J)	کولن (C)
یکای فرعی	m/s	m/s^2	$kg.m/s^2$	$kg/m.s^2$	$kg.m^2/s^2$	$A.s$

نکته در بعضی از موارد ترکیبی از کمیت‌های اصلی که سازندهٔ یک کمیت فرعی هستند را به نام دانشمندی نام‌گذاری کرده‌اند؛ مانند $kg/m.s^2$ که به نام پاسکال نام‌گذاری شده است.

چند یکای خاص

۱ **سال نوری** (ly) یکای طول است و طبق تعریف مسافتی است که نور در مدت یک سال در خلأ طی می‌کند.

۲ **یکای نجومی** (AU) یکای طول است و برابر با میانگین فاصلهٔ زمین تا خورشید است، که معادل $1/5\times10^{11}\ m$ است.

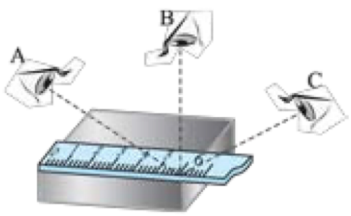
۳ برای حجم مایعات و گازها از واحد **لیتر** (L) استفاده می‌شود. هر لیتر معادل $10^{-3}\ m^3$ یا $10^3\ cm^3$ است.

۴ **آنگستروم** یکای طول است که $1\mathring{A}$ معادل $10^{-10}\ m$ می‌باشد.

در اندازه‌گیری‌های فیزیکی و مقادیر گزارش‌شده هیچ‌گاه قطعیتی وجود ندارد و اندازه‌گیری‌ها در فیزیک همواره با خطا همراه است.

راه‌های افزایش دقت اندازه‌گیری

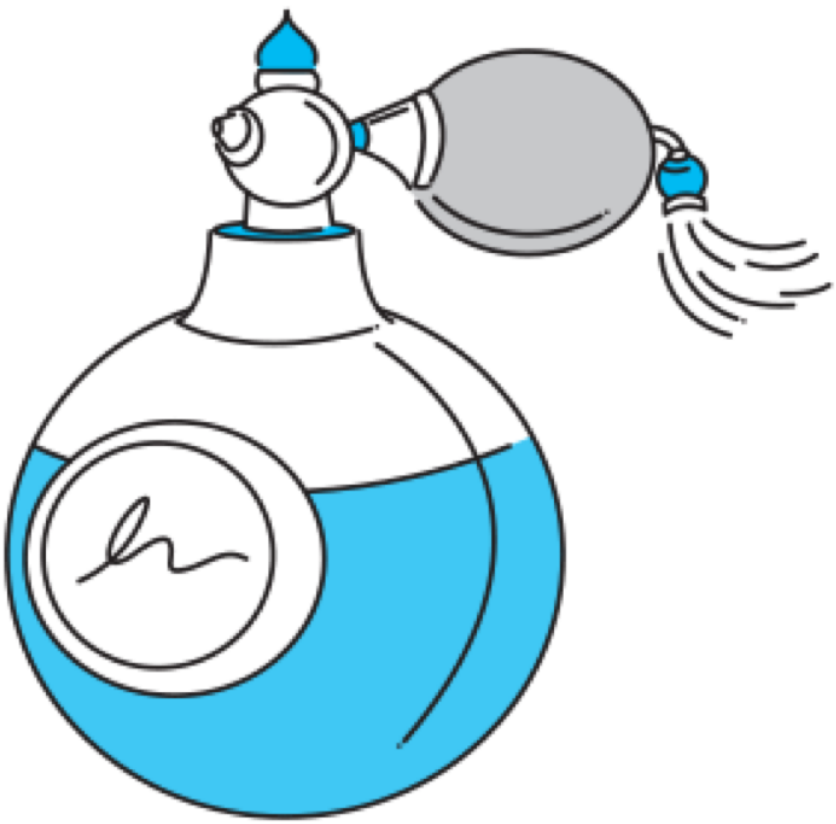
۱ **استفاده از وسیلهٔ اندازه‌گیری با دقت مناسب**: مثلاً برای اندازه‌گیری عرض یک صفحهٔ کاغذ بهتر است از خط‌کشی با دقت ۱ mm و برای اندازه‌گیری ضخامت کاغذ از ریزسنجی به دقت ۰/۰۱ mm استفاده کنیم.



۲ **بالابردن مهارت شخص آزمایشگر در انجام آزمایش**: مثلاً در شکل مقابل آزمایشگر B که به طور عمود به خط‌کش نگاه می‌کند مهارت بیشتری دارد و خطای حاصل از اندازه‌گیری این شخص کم‌تر از دو شخص دیگر است.

۳ **تکرار اندازه‌گیری**: اندازه‌گیری را به دفعات تکرار می‌کنیم. اگر یک یا چند گزارش اندازه‌گیری با بقیه متفاوت بود، آن‌ها را حذف کرده و میانگین بقیهٔ گزارش‌ها را به عنوان نتیجهٔ اندازه‌گیری گزارش می‌کنیم.

ویژگی‌های فیزیکی مواد

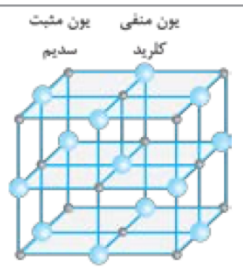
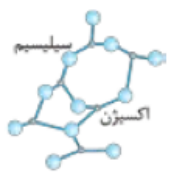


مواد از اتم‌ها یا مولکول‌ها ساخته شده‌اند. ابعاد یک مولکول به تعداد اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ آن بستگی دارد که می‌تواند در محدودهٔ ۱ Å(یک آنگستروم) تا ۱۰۰۰ Å، مانند **بسپارها** (پلیمرها) باشد. $(1\ \text{Å} = 10^{-10}\ \text{m})$

حالت‌های ماده | حالت ماده به **چگونگی حرکت** ذره‌های تشکیل‌دهندهٔ ماده و **اندازهٔ نیروی** بین آن‌ها بستگی دارد. در طبیعت ماده در چهار حالت یافت می‌شود: ۱ جامد ۲ مایع ۳ گاز ۴ پلاسما

حالت ماده	فاصلهٔ ذره‌ها	چگونگی حرکت ذره‌ها	شکل ماده	قابلیت متراکم‌شدن
جامد	حدود ۱ Å	حرکت نوسانی سر جای خود	شکل و حجم ثابتی دارند.	تا حد زیادی تراکم‌ناپذیرند.
مایع	تقریباً برابر جامد حدود ۱ Å	روی یکدیگر سُر می‌خورند.	شکل ظرف را به خود می‌گیرند.	تا حد زیادی تراکم‌ناپذیرند.
گاز	بسیار بیشتر از ابعاد مولکول‌ها حدود ۳۵ Å	کاتوره‌ای و نامنظم با تندی بسیار زیاد	در تمام فضای محفظه پخش می‌شوند.	تراکم‌پذیرند.
پلاسما	اغلب در دماهای بسیار بالا ایجاد می‌شود. مادهٔ درون ستاره‌ها، فضای بین ستاره‌ای، آذرخش، شفق‌های قطبی، آتش و مادهٔ درون لولهٔ تابان لامپ‌های مهتابی از جنس پلاسما هستند.			

انواع جامدها | جامدها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

جامدهای بلورین	شبکهٔ اتمی منظمی از الگوهای سه‌بعدی تکرارشونده دارند.	از سردشدن بسیار آرام مایع، جامد بلورین به دست می‌آید.	نقطهٔ ذوب مشخصی دارند.	نمک طعام، یخ، الماس، فلزها و بیشتر مواد معدنی نمونه‌هایی از جامد بلورین هستند.	 ساختار بلورین NaCl
جامدهای بی‌شکل یا آمورف	شبکهٔ اتمی منظمی ندارند.	با سردکردن سریع مایع، جامد بی‌شکل به دست می‌آید.	نقطهٔ ذوب مشخص ندارند؛ ابتدا حالت خمیری‌شکل شده، سپس ذوب می‌شوند.	شیشه و قیر نمونه‌هایی از جامدهای بی‌شکل یا آمورف‌ها هستند.	 ساختار شیشه

نکته علت تراکم‌ناپذیربودن مایع‌ها این است که اگر فاصلهٔ مولکول‌های مایع از حد عادی کم‌تر شود، نیروی رانشی (دافعه) بین مولکول‌ها به وجود می‌آید.

پدیدهٔ پخش | اگر یک قطرهٔ جوهر را درون آب بریزیم و یا در قسمتی از اتاق کمی عطر اسپری کنیم، بعد از مدتی جوهر در کل آب و عطر در کل فضای اتاق پخش می‌شود. پخش‌شدن مولکول‌های یک ماده درون شاره (مایع یا گاز) را **پدیدهٔ پخش** می‌نامیم.

نکته ۱ سرعت پدیدهٔ پخش درون گازها بیشتر از مایع‌ها است.
۲ علت پدیدهٔ پخش، حرکت کاتوره‌ای و نامنظم مولکول‌های شاره است.

دما و گرما

تعریف دما: کمیتی است برای تعیین میزان گرمی و سردی اجسام. دما کمیتی **نرده‌ای** و **اصلی** است.

نکته میانگین انرژی جنبشی مولکول‌های یک جسم متناسب با دمای آن است.

مقیاس‌های دما

سه مقیاس معروف برای دما وجود دارد:

۱ **سلسیوس:** این یکا مبتنی بر دو نقطهٔ ثابت است. یکی دمای جوش آب خالص در فشار ۱atm که عدد ۱۰۰ به آن اختصاص یافته است و دیگری دمای انجماد آب خالص که عدد صفر به آن اختصاص یافته است. بازهٔ بین این دو دما به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است و هر قسمت برابر یک درجهٔ سلسیوس نام‌گذاری شده است. یکای درجهٔ سلسیوس را با $^{\circ}C$ و معمولاً دما برحسب سلسیوس را با θ نشان می‌دهیم.

۲ **کلوین:** یکای SI دما، کلوین (K) است. معمولاً برای نمایش دمایی که برحسب کلوین گزارش می‌شود از T استفاده می‌شود.

۳ **فارنهایت:** دما برحسب فارنهایت را با F و یکای درجهٔ فارنهایت را با $^{\circ}F$ نشان می‌دهیم.

کمیت دماسنجی و دماسنج‌ها

برای اندازه‌گیری دما از کمیت‌هایی که با تغییر دما تغییر می‌کنند، استفاده می‌کنیم. به این کمیت‌ها، **کمیت دماسنجی** می‌گوییم. وسیله‌ای که دما را اندازه‌گیری می‌کند، دماسنج می‌نامیم. تغییر کمیت دماسنجی اساس کار دماسنج‌ها است.

در جدول روبه‌رو چند دماسنج و کمیت دماسنجی آن‌ها آورده شده است.

دماسنج	کمیت دماسنجی
جیوه‌ای و الکلی	ارتفاع مایع درون لوله
ترموکوپل	ولتاژ
مقاومت پلاتینی	مقاومت الکتریکی
گازی	حجم یا فشار گاز

دماسنج‌های معیار

برای اندازه‌گیری دقیق دما، سه نوع دماسنج به عنوان دماسنج‌های معیار در نظر گرفته شده‌اند. در جدول زیر این دماسنج‌ها و اساس کار آن‌ها آورده شده است که حفظ آن واجب است.

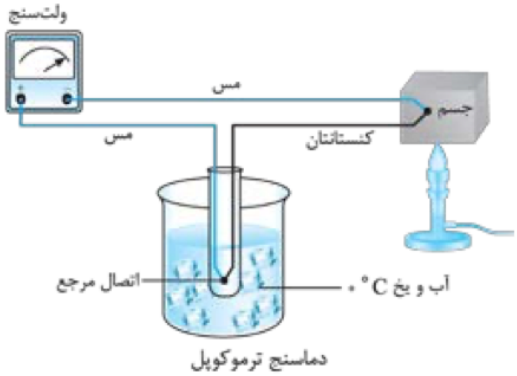
نام دماسنج	اساس کار
گازی	مبتنی بر قانون گازهای کامل (تغییر حجم یا تغییر فشار گاز)
مقاومت پلاتینی	مبتنی بر تغییر مقاومت الکتریکی فلز پلاتین
تف‌سنج (پیرومتر)	مبتنی بر اندازه‌گیری مشخصه‌های تابش گرمایی جسم

دو دماسنج خاص

● **ترموکوپل**: ترموکوپل یکی از دماسنج‌هایی است که در صنعت و آزمایشگاه‌ها کاربرد زیادی دارد. ترموکوپل قبلاً جزء دماسنج‌های معیار بود، اما به دلیل دقت کم‌تری که نسبت به سه دماسنج معیار داشت، از لیست دماسنج‌های معیار کنار گذاشته شد.

ساختار دماسنج ترموکوپل و نحوهٔ کارکردن آن:

دماسنج ترموکوپل شامل دو سیم نازک رسانا است که **جنس‌های متفاوتی** (مانند مس و کنستانتان) دارند و از دو سمت به هم متصل شده‌اند (پس دو نقطهٔ اتصال داریم). اگر نقاط اتصال سیم‌ها را در دو محیط با دماهای متفاوت قرار دهیم، بین آن دو نقطه اختلاف‌پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌شود. با اندازه‌گیری اختلاف‌پتانسیل الکتریکی آن دو نقطه (به وسیلهٔ یک ولت‌سنج) می‌توانیم اختلاف دمای دو محیط را اندازه‌گیری کنیم.



دماسنج ترموکوپل

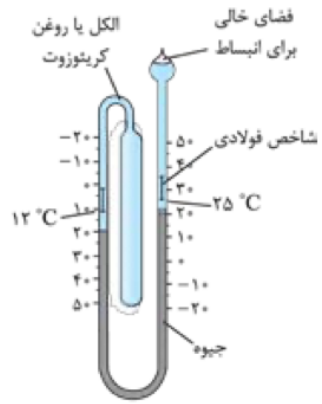
نکات ترموکوپل:

۱ کمیت دماسنجی دماسنج ترموکوپل، **ولتاژ** است.

۲ مزیت دماسنج ترموکوپل این است که به خاطر جرم کوچک محل اتصال، **خیلی سریع** با دستگاهی که دمای آن اندازه‌گیری می‌شود، به حالت تعادل گرمایی می‌رسد.

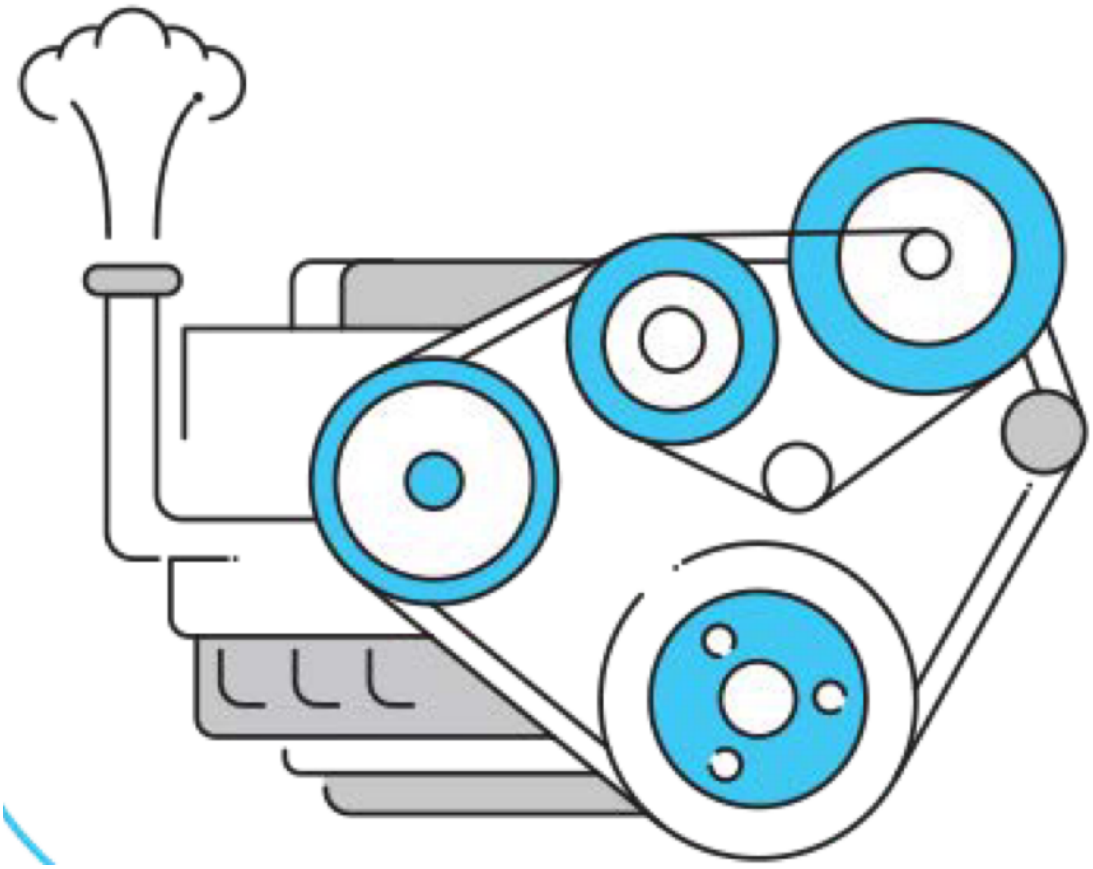
۳ گسترهٔ دماسنجی ترموکوپل به **جنس سیم‌های** استفاده‌شده در آن بستگی دارد.

● **دماسنج بیشینه ـ کمینه**: این دماسنج، بیشینه و کمینهٔ دما را در یک مدت‌زمان معین نشان می‌دهد. این دماسنج دارای دو شاخص فولادی است که در اثر حرکت جیوه جابه‌جا می‌شوند و یکی از آن‌ها بیشینهٔ دما و دیگری کمینهٔ دما را نشان می‌دهد. از این دماسنج‌ها معمولاً در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری و هواشناسی استفاده می‌شود.



دماسنج بیشینه ـ کمینه

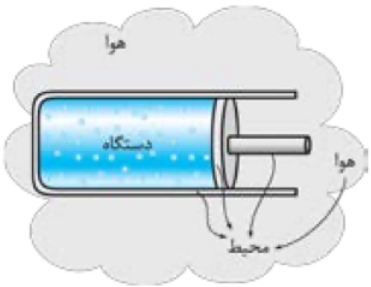
ترمودینامیک



چندتعریف

- **ترمودینامیک:** علمی که به مطالعهٔ رابطهٔ بین کار و گرما و تبدیل گرما به کار مکانیکی می‌پردازد.
- **دستگاه:** جسم خاصی معمولاً گاز (یا در بعضی مواقع مایع) است که مبادلهٔ گرما و کار توسط آن انجام می‌شود.
- **محیط:** به هر آن‌چه که اطراف دستگاه است و با آن تبادل انرژی دارد محیط می‌گوییم.

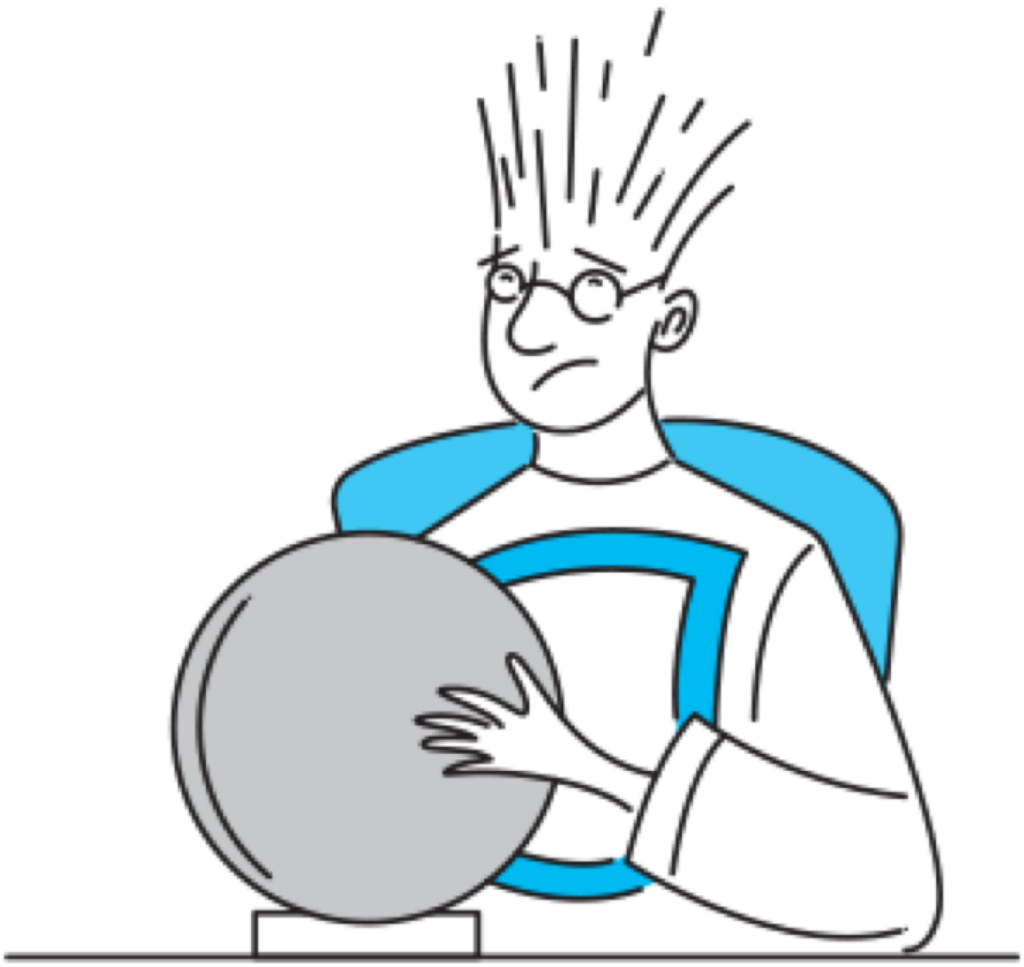
به عنوان مثال در شکل روبه‌رو اگر گاز درون سیلندر به عنوان دستگاه انتخاب شود، دیواره‌های سیلندر، پیستون، هوای اطراف سیلندر و میله‌ای که به پیستون وصل است را محیط در نظر می‌گیریم.



- **کمیت ماکروسکوپیک:** به کمیت‌های مشاهده‌پذیر مانند حجم، فشار، دما و گرمای ویژه که درگیر جزئیات رفتار تک‌تک مولکول‌ها نمی‌باشند، کمیت‌های ماکروسکوپی می‌گوییم.
- **متغیرهای ترمودینامیکی:** برای توصیف حالت گاز از کمیت‌های ماکروسکوپی حجم (V)، فشار (P) و دما (T) استفاده می‌کنیم. به این کمیت‌ها متغیرهای ترمودینامیکی می‌گوییم.
- **تعادل ترمودینامیکی:** به وضعیتی که در آن تمام متغیرهای ترمودینامیکی (V، P و T) ثابت هستند و مقدار مشخصی دارند، تعادل ترمودینامیکی می‌گوییم.

اگر برای مدت‌زمان قابل توجهی متغیرهای ترمودینامیکی گاز ثابت باشند، گاز در حالت **تعادل ترمودینامیکی** قرار دارد. هنگامی که دستگاه از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگری می‌رود، **فرایند ترمودینامیکی** انجام شده است. اگر در طول یک فرایند، دستگاه به حالت تعادل بسیار نزدیک باشد و سریع به تعادل برسد، فرایند را **ایستاوار** می‌نامیم.

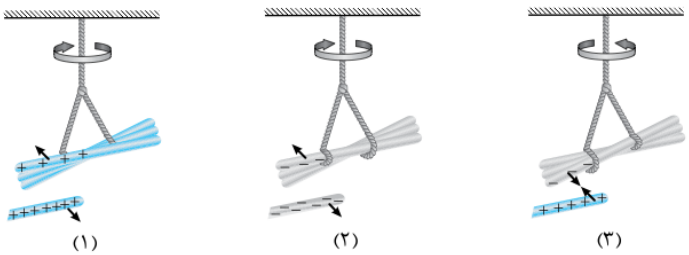
الكتريسيتة ساكن



اجسام از اتم‌ها تشکیل شده‌اند. اتم شامل الکترون با بار منفی، پروتون با بار مثبت و نوترون که بدون بار است، می‌باشد. اگر تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های یک جسم برابر نباشد، جسم بار الکتریکی خالص دارد.

- جسم خنثی است ← تعداد الکترون = تعداد پروتون
- بار جسم مثبت است ← تعداد الکترون < تعداد پروتون
- بار جسم منفی است ← تعداد الکترون > تعداد پروتون

نکته دو جسم باردار به هم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. اگر بارهای دو جسم همنام باشند، همدیگر را دفع (شکل‌های (۱) و (۲)) و اگر ناهمنام باشد، همدیگر را جذب می‌کنند. (شکل (۳))


(۱) (۲) (۳)

توجه کنید در جسم خنثی جمع جبری بارهای جسم برابر صفر است.

روش‌های باردارشدن اجسام

اجسام را می‌توان به سه روش مالش، تماس و القا باردار کرد.

مالش: اگر دو جسم به هم مالش داده شوند، تعدادی الکترون از یکی از آن‌ها به دیگری منتقل می‌شود. بعد از مالش دو جسم خنثی به هم، بار آن‌ها **ناهمنام** و **هم‌اندازه** با یکدیگر خواهد شد.

سری الکتریسیتهٔ مالشی به کمک جدول روبه‌رو که به آن جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک) گفته می‌شود می‌توانیم نوع بار هر یک از جسم‌ها را پس از مالش مشخص کنیم. با توجه به این جدول، در مالش دو جسم به یکدیگر، جسمی که به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است، الکترون‌خواهی بیشتری دارد و دریافت‌کنندهٔ الکترون است، بنابراین بار آن منفی می‌شود و جسمی که به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر است، الکترون از دست داده و بار آن مثبت می‌شود.

سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک)
انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
پشم
موی گربه
شرب
ابریشم
آلومینیم
پوست انسان
کاغذ
چوب
پارچهٔ کتان
کهربا
برنج، نقره
پلاستیک، پلی‌اتیلن
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

«نیازی به حفظ کردن جدول نیست.»

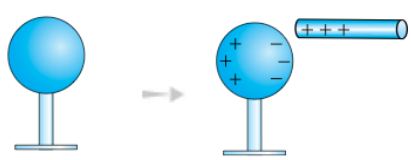
نمونه: ۱ در اثر مالش پارچهٔ پشمی به میلهٔ شیشه‌ای، بار پارچهٔ پشمی منفی و بار میلهٔ شیشه‌ای مثبت می‌شود.

۲ در اثر مالش پارچهٔ پشمی به یک قطعه کهربا، بار پارچهٔ پشمی مثبت و بار قطعهٔ کهربا منفی می‌شود.

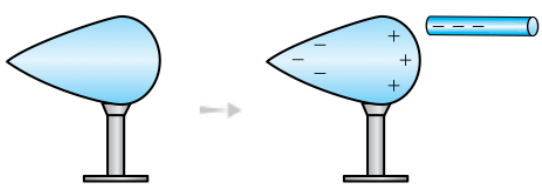
تماس: با تماس یک جسم رسانای خنثی به یک جسم رسانای باردار، بخشی از بار الکتریکی جسم باردار به رسانای خنثی منتقل شده و آن را باردار می‌کند. پس از تماس، این دو جسم دارای بارهای همنام می‌شوند.

القای الکتریکی در رسانا: اجسام رسانا دارای الکترون آزاد هستند. با توجه به این‌که بارهای همنام همدیگر را دفع و بارهای ناهمنام همدیگر را جذب می‌کنند، اگر جسم بارداری را به یک رسانای خنثی نزدیک کنیم، آرایش بارهای رسانا تغییر می‌کند. (در شکل‌های (۱) و (۲) دو حالت از حالت‌های ممکن را نشان داده‌ایم.)

شکل (۱): جسم باردار با بار مثبت را به کرهٔ رسانای خنثی نزدیک می‌کنیم.


(۱)

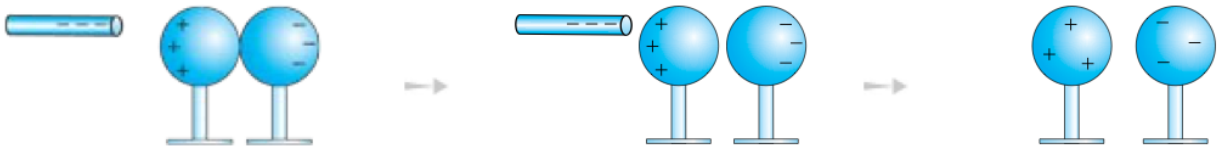
شکل (۲): جسم باردار با بار منفی را به جسم رسانای خنثی نزدیک می‌کنیم.


(۲)

نکته با نزدیک‌کردن یک جسم باردار به یک رسانای خنثی، نیروی جاذبهٔ الکتریکی بین آن‌ها ایجاد می‌شود.

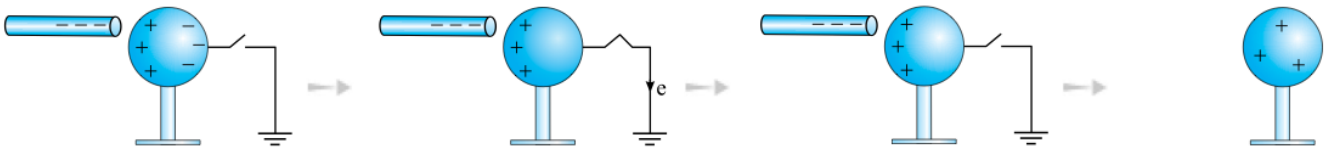
دو نمونهٔ باردارکردن به روش القا

۱ باردارکردن دو کرهٔ رسانای خنثی:



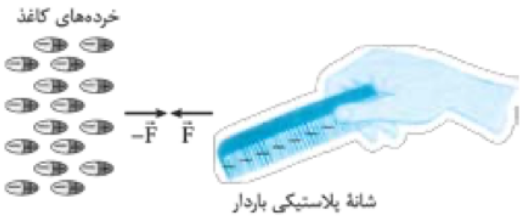
دو کرهٔ باردار، با بار ناهمنام و هم‌اندازه داریم. | در حضور میله، کره‌ها را از هم دور می‌کنیم. | میلهٔ باردار را به کره‌های به هم چسبیده نزدیک می‌کنیم.

۲ باردارکردن یک کرهٔ رسانای خنثی:



یک کرهٔ رسانای باردار با بار مخالف میله داریم. | در حضور میله اتصال کره به زمین را قطع می‌کنیم. | با حضور میله کرهٔ رسانا را به زمین وصل می‌کنیم. | میلهٔ باردار به کرهٔ رسانا نزدیک می‌کنیم.

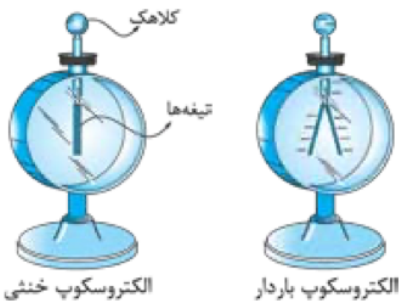
اثر جسم باردار بر روی نارسانا اجسام نارسانا الکترون آزاد ندارند و در آن‌ها الکترون‌ها جابه‌جا نمی‌شوند، بنابراین القای الکتریکی در آن‌ها مانند رساناها نیست و در اثر القای الکتریکی فقط ذرات تشکیل‌دهنده در مکان خود جهت‌گیری می‌کنند. مانند شکل روبه‌رو که در آن ذرات خرده‌های کاغذ بر اثر القا دچار قطبیدگی شده و جذب شانهٔ پلاستیکی می‌شوند.



دقت کنید اجسام نارسانا را نمی‌توانیم به وسیلهٔ القا باردار کنیم چون از این طریق امکان کم یا زیاد کردن الکترون در جسم وجود ندارد.

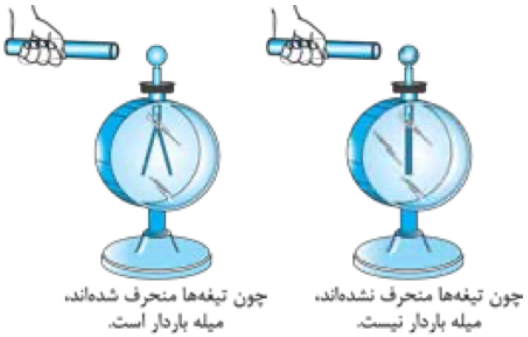
الکتروسکوپ

وسیله‌ای است که از آن برای ۱) **تشخیص باردار‌بودن اجسام**، و ۲) **تشخیص نوع بار جسم** (مثبت یا منفی) استفاده می‌شود. این وسیله از دو تیغهٔ فلزی که به یک کلاهک رسانا متصل‌اند، ساخته شده است. اگر الکتروسکوپ باردار باشد، تیغه‌های آن از هم دور می‌شوند.



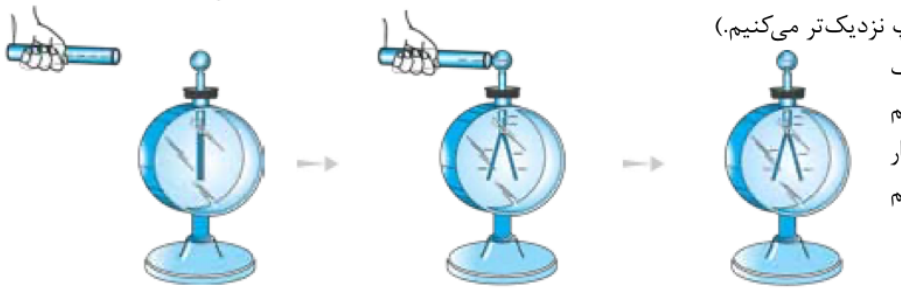
۱ **تشخیص باردار بودن یا نبودن یک جسم:** اگر جسمی را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی تماس دهیم و یا بسیار نزدیک کنیم، اگر تیغه‌های الکتروسکوپ از هم دور شوند، نتیجه می‌گیریم که جسم باردار است. اگر تیغه‌ها حرکت نکنند، نتیجه می‌گیریم که جسم خنثی است.

۲ **تشخیص نوع بار یک جسم باردار:** جسمی را که بار آن نامشخص است، از راه دور به تدریج به کلاهک الکتروسکوپی که بار آن برای ما مشخص است نزدیک می‌کنیم. اگر تیغه‌های الکتروسکوپ دورتر شدند یعنی بار جسم همنام با بار الکتروسکوپ است و اگر تیغه‌های الکتروسکوپ ابتدا به هم نزدیک شدند یعنی بار جسم با بار الکتروسکوپ ناهمنام است.

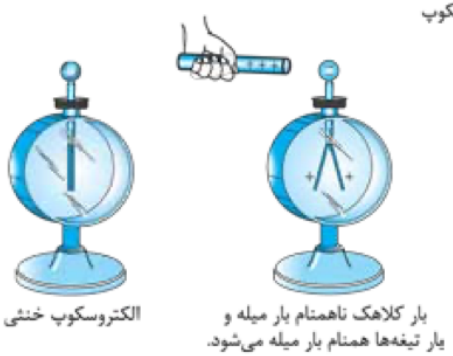


توجه کنید اگر بار جسم ناهمنام با الکتروسکوپ و نسبتاً بزرگ باشد، ورقه‌های الکتروسکوپ ابتدا بسته و سپس باز می‌شود. (برای همین است که جسم را از راه دور به تدریج به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک‌تر می‌کنیم.)

نکته اگر یک جسم رسانای باردار را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی تماس دهیم، بخشی از بار جسم رسانا به الکتروسکوپ منتقل می‌شود. پس از تماس بار روی کلاهک و تیغه‌های الکتروسکوپ همنام با بار جسم رسانا است.



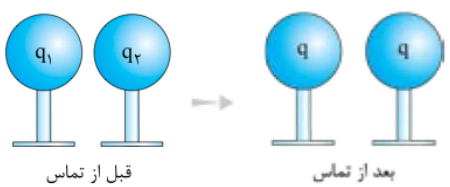
نکته وقتی جسم بارداری را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم تیغه‌های الکتروسکوپ بر اثر القای الکتریکی باردار می‌شوند. در این حالت بار القاشده بر روی کلاهک الکتروسکوپ ناهمنام با بار جسم و بار القاشده بر روی تیغه‌ها با بار جسم، همنام هستند.



دو اصل مهم دربارهٔ بار الکتریکی

اصل پایستگی بار الکتریکی: مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی یک دستگاه منزوی ثابت است. یعنی بار الکتریکی می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود اما تولید یا نابود نمی‌شود.

نکته اگر مانند شکل روبه‌رو دو کرهٔ رسانای مشابه با بارهای q_1 و q_2 را به هم تماس دهیم، بعد از تماس، بار کره‌ها برابر می‌شود و مقدار بار هر کره از رابطهٔ $q = \frac{q_1 + q_2}{2}$ به دست می‌آید. (اگر دو کره هم‌اندازه نباشند، بعد از تماس بار الکتریکی آن‌ها برابر نمی‌شود.)



اصل کوانتیده‌بودن بار الکتریکی: بار الکتریکی یک جسم همواره مضرب درستی از مقدار بار پایه (مقدار بار یک الکترون) است. یعنی: $q = \pm ne$

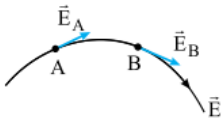
در این رابطه e برابر $1/6\times10^{-19}$ C است که به آن بار پایه(بار بنیادی) می‌گوییم. n تعداد الکترون‌های مبادله‌شدهٔ جسم با اجسام اطراف آن است که عددی طبیعی و یا صفر است و نمی‌تواند اعشاری باشد. اگر جسم الکترون بگیرد از علامت منفی و اگر الکترون از دست بدهد از علامت مثبت استفاده می‌شود.

هر بار الکتریکی در فضای اطراف خود خاصیتی ایجاد می‌کند که به واسطهٔ آن به بارهای الکتریکی دیگری که در آن فضا هستند، نیرو وارد می‌کند. به این خاصیت **میدان الکتریکی** می‌گوییم. میدان الکتریکی کمیتی **برداری** است که آن را با نماد $\vec{E}$ نشان می‌دهیم و یکای آن در SI **نیوتون بر کولن** است.

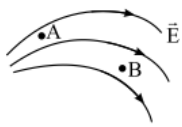
برای تجسم‌کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف یک جسم باردار، از خط‌های جهت‌داری به نام **خطوط میدان الکتریکی** استفاده می‌کنیم.

ویژگی‌های خطوط میدان الکتریکی

۱ در هر نقطه، بردار میدان الکتریکی **مماس** بر خط میدان الکتریکی در آن نقطه و در همان جهت است.

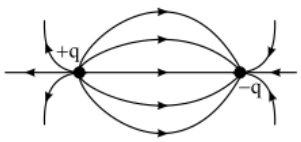


۲ میزان تراکم خطوط میدان الکتریکی در هر ناحیه، نشان‌دهندهٔ اندازهٔ میدان الکتریکی در آن ناحیه است.



$E_A > E_B$

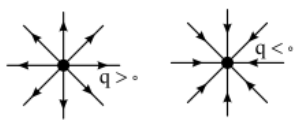
۳ در آرایشی از بارها، خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت خارج و به بارهای منفی وارد می‌شوند.



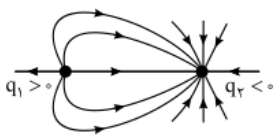
۴ خطوط میدان الکتریکی، هرگز همدیگر را قطع نمی‌کنند. به عبارت دیگر در هر نقطه از فضا، فقط یک خط میدان وجود دارد که آن هم حاصل برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی در آن نقطه است.

چند شکل مهم از خطوط میدان

۱ خطوط میدان در اطراف ذرهٔ باردار منفرد مطابق شکل زیر به صورت شعاعی است.

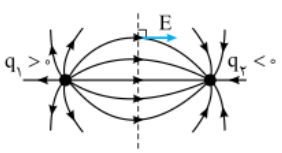


۲ در اطراف بار الکتریکی بزرگ‌تر تراکم خطوط میدان الکتریکی بیشتر و در نتیجه اندازهٔ میدان بزرگ‌تر است.



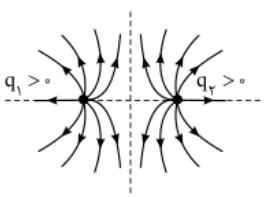
$|q_2| > |q_1|$

۳ اگر در اطراف دو بار الکتریکی خطوط میدان الکتریکی مانند شکل‌های (۱) و (۲) نسبت به عمودمنصف خطی که بارها را به هم وصل می‌کند متقارن باشند، بارها هم‌اندازه هستند.



شکل (۱)

$|q_1| = |q_2|$

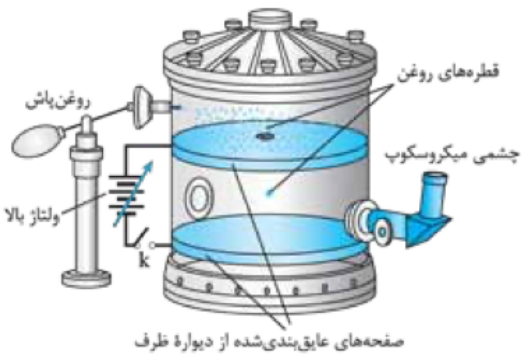


شکل (۲)

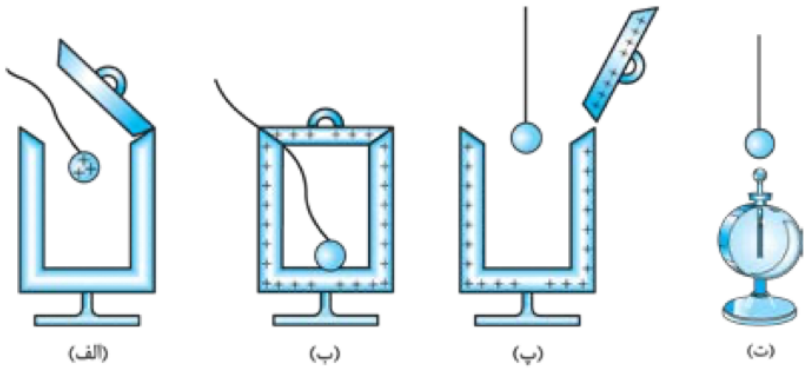
$|q_1| = |q_2|$

نکته به آرایش بارها در شکل (۱) مورد ۳ که دو بار هم‌اندازه و ناهمنام در فاصلهٔ معینی از هم قرار دارند، **دوقطبی الکتریکی** می‌گوییم.

آزمایش قطره‌ـروغن میلیکان در این آزمایش، قطره‌های ریز روغن را باردار کرده و آن‌ها را وارد میدان الکتریکی یکنواخت قائمی می‌کنند. با بررسی چگونگی حرکت قطره‌ها، بار آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند. این آزمایش با هدف اثبات **کوانتیده‌بودن بار الکتریکی** طراحی شده است.

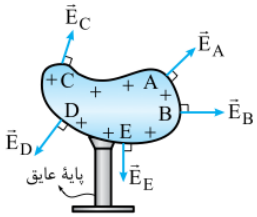


آزمایشی که فاراده انجام داد (شکل زیر)، نشان می‌دهد که اگر جسم رسانایی را باردار کنیم، در شرایط الکتروستاتیکی (حالتی که در آن بارها به تعادل رسیده‌اند)، تمام بار الکتریکی جسم بر **سطح خارجی آن** توزیع می‌شود. مثلاً همان‌طور که در شکل‌های زیر می‌بینید بار گوی فلزی پس از تماس با سطح داخلی ظرف فلزی، بر روی سطح خارجی ظرف فلزی پخش می‌شود و بار گوی فلزی صفر می‌شود.



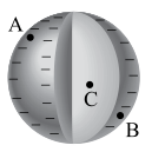
میدان الکتریکی رسانا در حالت تعادل الکتروستاتیکی، میدان الکتریکی داخل رسانا **صفر** است. چون اگر میدان صفر نباشد به بارها نیرو وارد و باعث جابه‌جایی آن‌ها می‌شود و در این حالت دیگر نمی‌توانیم بگوییم که بارها در حال تعادل هستند.

نکته خط‌های میدان الکتریکی در اطراف یک جسم باردار در تمام نقاط بر سطح آن عمود است.

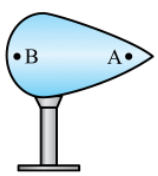


پتانسیل الکتریکی رسانا در حالت تعادل الکتروستاتیکی، تمام نقاط داخل و روی سطح خارجی رسانا هم‌پتانسیل هستند و هیچ اختلاف پتانسیلی بین آن‌ها وجود ندارد.

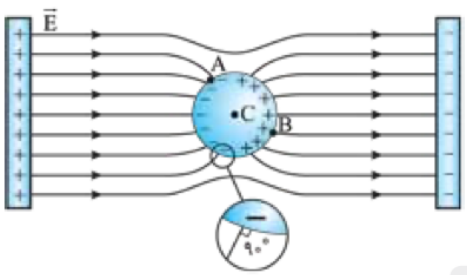
$$V_A = V_B = V_C$$



تراکم بار در رسانا اگر جسم رسانا کروی باشد، بار در تمام نقاط سطح آن به طور یکنواخت پخش می‌شود. در غیر این صورت تراکم بار الکتریکی در نقاط نوک تیز بیشتر است. مثلاً در رسانای دوکی‌شکل باردار شکل روبه‌رو تراکم بار الکتریکی در نقطهٔ A بیشتر از نقطهٔ B است.



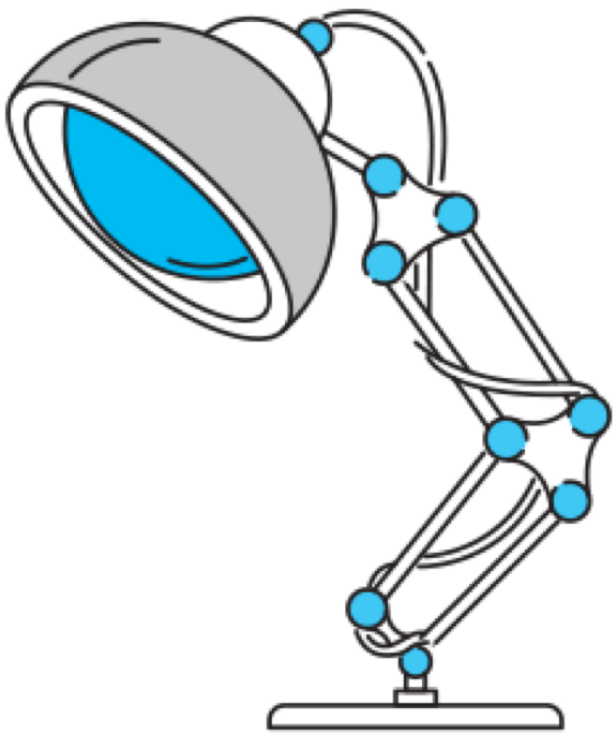
رسانای خنثی در میدان الکتریکی



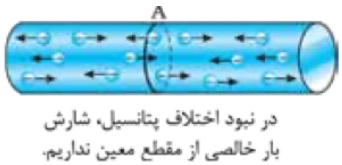
اگر مطابق شکل یک رسانای منزوی خنثی را در میدان الکتریکی قرار دهیم، الکترون‌های آزاد جسم حرکت می‌کنند و پس از مدت بسیار کوتاهی (در حدود 10^{-9} s) جسم به تعادل الکتروستاتیکی می‌رسد. در این حالت:

- بارهای مثبت و منفی در دو سمت جسم توزیع می‌شوند.
- میدان الکتریکی خالص داخل رسانا **صفر** است. (بر اثر جابه‌جایی بار، در داخل رسانا میدان الکتریکی ایجاد می‌شود که میدان خارجی را خنثی می‌کند.)
- تمام نقاط رسانا (چه داخل و چه روی سطح خارجی) **هم‌پتانسیل** می‌شوند، یعنی: $V_A = V_B = V_C$
- خط‌های میدان الکتریکی در تمام نقاط بر سطح رسانا **عمود** است.

جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم



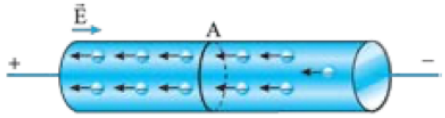
رسانای خارج از مدار الکتریکی: الکترون‌های آزاد با تندی‌هایی از مرتبهٔ $10^{6}\ m/s$، مطابق شکل به طور کاتوره‌ای و در همهٔ جهت‌ها در رسانا در حال حرکت هستند. اگر بین دو نقطه از رسانا اختلاف پتانسیل نداشته باشیم، الکترون‌ها فقط حرکت کاتوره‌ای دارند و بار الکتریکی خالص عبوری از یک مقطع فرضیِ سیم، صفر است. در این حالت جریانی در رسانا برقرار نیست.



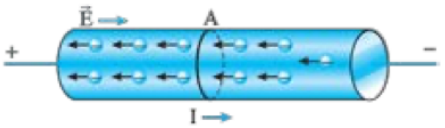
در نبود اختلاف پتانسیل، شارش بار خالصی از مقطع معین نداریم.

رسانای درون مدار الکتریکی: اگر بین دو نقطه از رسانا اختلاف پتانسیل ایجاد کنیم، الکترون‌ها علاوه بر حرکت کاتوره‌ای، در **خلاف جهت میدان** درون رسانا سوق خواهند یافت (شکل الف) که باعث می‌شود بار خالص عبوری از یک مقطع فرضی، صفر نباشد. در این حالت در سیم جریان الکتریکی داریم. (شکل ب)

(الف)



(ب)



نکته جهت قراردادی جریان درون رسانا از **پتانسیل بیشتر به پتانسیل کم‌تر، در جهت میدان الکتریکی درون رسانا** و در **خلاف جهت سوق الکترون‌ها** است.

نکته اندازهٔ سرعت سوق الکترون‌ها در یک رسانای فلزی بسیار کم و مثلاً در سیم‌های مسی از مرتبهٔ $10^{-5}\ m/s$ یا $10^{-4}\ m/s$ و جهت آن خلاف جهت میدان الکتریکی ایجادشده در سیم رسانا است.

مقاومت الکتریکی: پس از ایجاد اختلاف پتانسیل در دو سر مدار و برقراری جریان، الکترون‌های آزاد در سیم رسانا شارش می‌یابند و در حین حرکت، با اتم‌های رسانا که در حال نوسان‌اند، برخورد می‌کنند. این عامل باعث می‌شود که بخشی از انرژی آن‌ها به گرما تبدیل شود. در واقع الکترون‌های آزاد با نوعی مقاومت از طرف اتم‌های در حال ارتعاش مواجه می‌شوند که به آن **مقاومت الکتریکی** می‌گوییم.

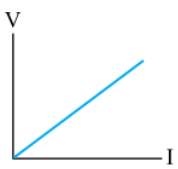
رابطهٔ مقاومت الکتریکی: مقاومت الکتریکی یک جسم را به صورت نسبت اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر آن به جریان گذرنده از آن تعریف می‌کنیم:

$$R = \frac{V}{I}$$

یکای اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی در SI، ولت بر آمپر $(\frac{V}{A})$ است که به آن **اهم** می‌گوییم و آن را با نماد Ω نمایش می‌دهیم.

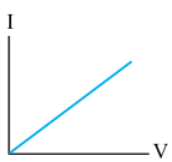
قانون اهم | طبق قانون اهم که برای فلزات و بسیاری از رساناهای غیرفلزی صدق می‌کند؛ «**در دمای ثابت، مقاومت الکتریکی به ازای ولتاژهای مختلف عدد ثابتی است**». به رساناهایی که از قانون اهم پیروی می‌کنند، **رسانای اهمی** و به رساناهایی که از این قانون پیروی نمی‌کنند، **رسانای غیراهمی** گفته می‌شود.

نمودار $I-V$ و $V-I$ برای مقاومت‌های اهمی: نمودار $V-I$ برای مقاومت‌های اهمی (مانند شکل) خطی مبدأگذر با شیب ثابت است که شیب آن برابر مقاومت الکتریکی رسانا است.



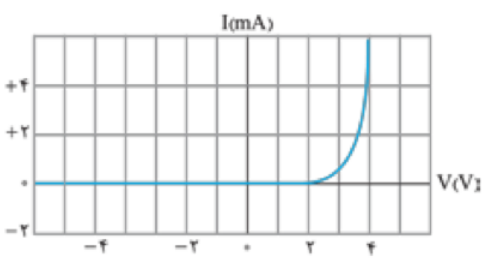
$$\text{شیب خط} = \frac{V}{I} = R$$

نمودار $I-V$ برای مقاومت‌های اهمی، مطابق شکل خطی مبدأگذر با شیب ثابت است که شیب آن برابر با وارون مقاومت الکتریکی است.



$$\text{شیب خط} = \frac{I}{V} = \frac{1}{R}$$

نکته نمودارهای $I-V$ و $V-I$ برای مقاومت‌های غیراهمی به صورت خط راست نیست. مثلاً برای یک دیود نورگسیل که یک مقاومت غیراهمی است، نمودار $I-V$ مطابق شکل روبه‌رو است.



دسته‌بندی مواد از نظر مقاومت ویژه | از نظر مقدار مقاومت ویژه در دمای معین محیط (مثلاً $20\ ^{\circ}C$) اجسام به سه دسته تقسیم می‌شوند:

اجسام رسانا: مقاومت ویژهٔ کم دارند.

اجسام نارسانا: مقاومت ویژه بسیار زیاد دارند.

اجسام نیم‌رسانا: مقاومت ویژه‌ای بین مقدار مقاومت ویژهٔ رساناها و نارساناها دارند.

مقاومت ویژه علاوه بر جنس به دمای جسم نیز بستگی دارد، به طوری که:

۱ با افزایش دما مقاومت ویژهٔ **رساناها** افزایش می‌یابد. ۲ با افزایش دما مقاومت ویژهٔ **نیم‌رساناها** کاهش می‌یابد.

دلیل تغییر مقاومت رساناها و نیم‌رساناها بر اثر افزایش دما: **افزایش مقاومت رسانا بر اثر افزایش دما**: با افزایش دمای رسانا، تعداد حامل‌های بار (الکترون‌های آزاد) تقریباً ثابت مانده اما ارتعاشات کاتوره‌ای اتم‌ها یا یون‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین تعداد برخوردهای بین حامل‌های بار و اتم‌ها افزایش یافته و مقاومت رسانا در برابر شارش بارها زیاد می‌شود.

کاهش مقاومت نیم‌رسانا بر اثر افزایش دما: در نیم‌رساناها با افزایش دما، تعداد حامل‌های بار افزایش می‌یابد و از طرفی ارتعاشات اتم‌ها و یون‌ها نیز افزایش می‌یابد. تأثیر افزایش حامل‌های بار از عامل دیگر بیشتر است، بنابراین در نیم‌رساناها با افزایش دما، مقاومت کاهش می‌یابد.

در بسیاری از مدارها از مقاومت‌ها برای کنترل جریان و تقسیم ولتاژ استفاده می‌کنیم. مقاومت‌ها انواع مختلفی دارند که دو نوع اصلی آن‌ها عبارت‌اند از:

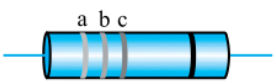
مقاومت‌های پیچه‌ای: شامل پیچه‌ای از یک سیم نازک‌اند، از این مقاومت‌ها برای به دست آوردن **مقاومت‌های پایین بسیار دقیق** و **توان‌های بالا** استفاده می‌شود. بیشینهٔ توان الکتریکی قابل تحمل این مقاومت‌ها را روی آن‌ها می‌نویسند.

مقاومت‌های ترکیبی: این مقاومت‌ها از **کربن**، **برخی نیم‌رساناها** و یا **لایه‌های نازک فلزی** ساخته می‌شوند. مقاومت‌های ترکیبی را در مقدار مقاومت‌های خاص و استانداردی تولید می‌کنند. مقدار این مقاومت‌ها یا روی آن‌ها نوشته می‌شود یا به صورت کد رنگی نشان داده می‌شود.

کدگذاری مقاومت‌های رنگی | اندازهٔ مقاومت الکتریکی مقاومت‌های ترکیبی، معمولاً به کمک ۳ یا ۴ حلقهٔ رنگی که بر روی بدنهٔ مقاومت نقش بسته، قابل خواندن است. هر حلقهٔ رنگی معرف یک عدد است. برای خواندن مقدار مقاومت:

۱ مقاومت را طوری در دست خود نگه می‌داریم که سه حلقهٔ رنگی نزدیک به هم در سمت چپ مقاومت یا در مقاومت‌های چهارحلقه‌ای، حلقهٔ طلایی یا نقره‌ای که با فاصلهٔ زیادی از سه دیگر حلقهٔ قرار دارد، در سمت راست قرار گیرد.

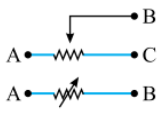
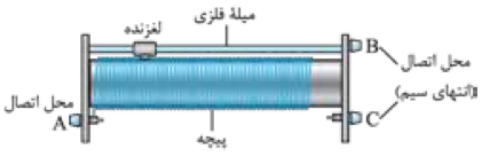
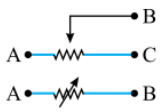
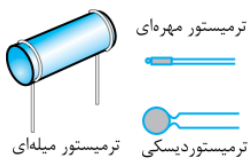
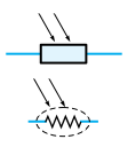
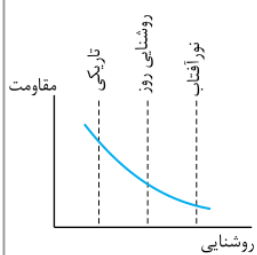
۲ دو حلقهٔ اول به ترتیب رقم اول و دوم مقاومت را نشان می‌دهند و رقم مربوط به حلقهٔ سوم (c) به صورت ۱۰^{c} در دو رقم اول ضرب می‌شود:



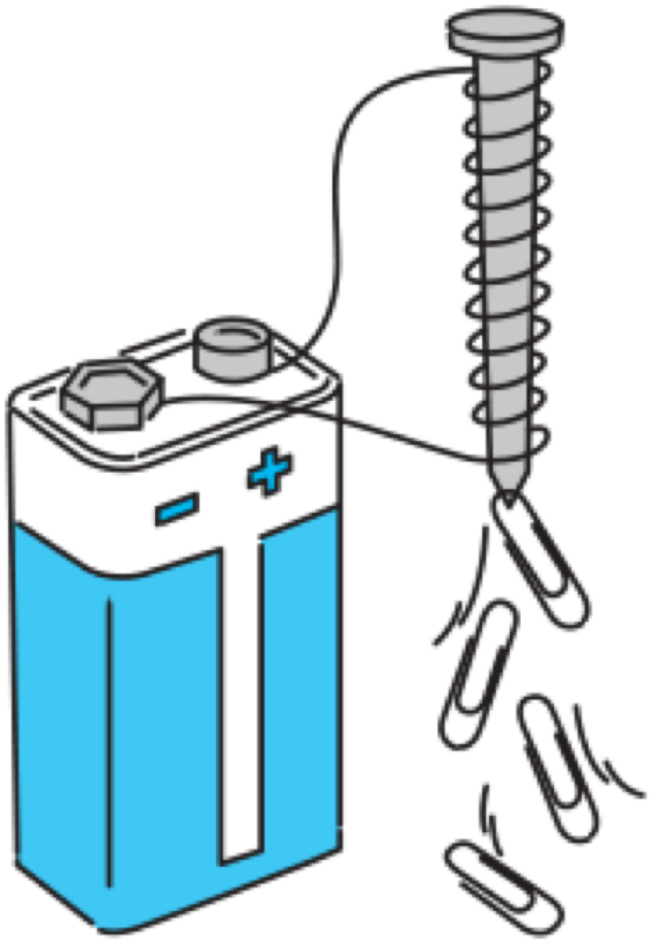
$$R = \overline{ab} \times ۱۰^{c}$$

۳ حلقهٔ چهارم که تلرانس نامیده می‌شود، میزان انحراف از مقدار دقیق مقاومت را به صورت درصد نشان می‌دهد. به طوری که حلقهٔ نقره‌ای ۱۰٪ تلرانس، حلقهٔ طلایی ۵٪ تلرانس و نبود حلقهٔ چهارم به معنی ۲۰٪ تلرانس است.

مقاومت‌های خاص | در جدول زیر مقاومت‌های خاص و ویژگی‌های آن‌ها را می‌بینید. جدول را به طور کامل حفظ کنید.

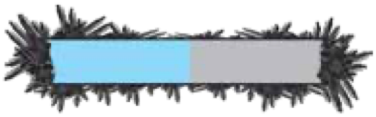
نام مقاومت	نماد یا نمادها در مدار	تصویر	نکات و کاربرد
رئوستا			۱ رئوستا یک مقاومت متغیر پیچه‌ای است. ۲ اگر ورودی جریان به رئوستا محل اتصال A و خروجی جریان از رئوستا اتصال B باشد، با حرکت لغزنده به سمت B، مقاومت رئوستا افزایش می‌یابد.
پتانسیومتر			۱ در مدارهای الکترونیکی همانند رئوستا به عنوان یک مقاومت متغیر به کار می‌رود. ۲ اگر ورودی جریان به پتاسیومتر محل اتصال A و خروجی جریان از پتاسیومتر B باشد، با حرکت لغزنده در جهت ساعتگرد، مقاومت پتاسیومتر افزایش می‌یابد.
ترمیستور			۱ بستگی مقاومت الکتریکی ترمیستور به دما با مقاومت‌های الکتریکی معمولی تفاوت دارد. ۲ اغلب، به عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما، مانند زنگ خطر آتش، دماپاها و دماسنج‌ها استفاده می‌شود. ۳ در ابعاد کوچک ساخته می‌شوند.
مقاومت‌های نوری (LDR)			۱ مقاومت الکتریکی LDR به نور تابیده‌شده به آن بستگی دارد و با افزایش شدت نور، مقاومت آن کم می‌شود. ۲ از LDR در چشم‌های الکترونیکی، دزدگیرها، کنترل‌کننده‌های خودکار و چراغ‌های روشنایی خیابان‌ها استفاده می‌شود. ۳ نمودار مقاومت برحسب روشنایی یک LDR به صورت زیر است. 
دیود			۱ جریان را تنها از یک سو عبور می‌دهد و به همین دلیل اغلب یکسوکنندهٔ جریان نامیده می‌شود. ۲ پیکان در نماد دیود، جهتی را نشان می‌دهد که جریان می‌تواند از آن عبور کند. ۳ از دیود در مدارهای یک‌سوکننده برای تبدیل جریان‌های متناوب به جریان‌های مستقیم استفاده می‌شود.
دیود نورگسیل (LED)			۱ در این دیودها از نیم‌رساناهایی استفاده می‌شود که انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می‌کنند. ۲ LEDها در مقایسه با لامپ‌های روشنایی معمولی، توان الکتریکی کمی مصرف می‌کنند و در عوض نور قابل ملاحظه‌ای تولید می‌کنند و عمر طولانی‌تری دارند. ۳ در چراغ‌های خودرو، روشنایی منازل و تابلوهای تبلیغاتی از LED استفاده می‌شود. ۴ برای روشن‌شدن LED پایهٔ بلند آن باید به قطب مثبت باتری و پایهٔ کوتاه آن باید به قطب منفی باتری وصل شود.

مغناطیس



آهنربا: مادهٔ کانی مگنتیت (Fe_3O_4) تکه‌های آهن را به خود جذب می‌کند. به خاصیتی که این سنگ دارد، **خاصیت مغناطیسی** می‌گوییم. آهنرباهای متداول امروزی تکه‌هایی از این سنگ آهن مغناطیسی هستند.

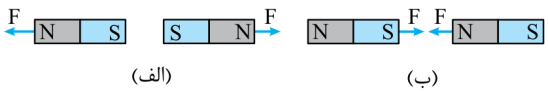
قطب‌های آهنربا: اگر یک قطعه آهنربا را در ظرف محتوی براده‌های آهن بیندازیم مشاهده می‌کنیم که در دو ناحیه براده‌های بیشتری جذب آهنربا می‌شوند. یعنی خاصیت مغناطیسی در این دو ناحیه قوی‌تر است. به این ناحیه‌ها، **قطب‌های آهنربا** می‌گوییم.



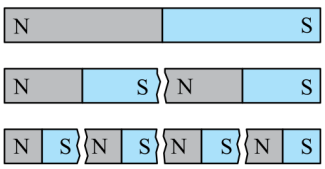
چند نکته دربارهٔ آهنربا

۱ اگر یک آهنربای میله‌ای را از وسط به نخی آویزان کنیم، میله تقریباً در جهت شمال ـ جنوب سمت‌گیری می‌کند، قطبی را که به سمت شمال است، قطب N و قطبی را که به سمت جنوب است، قطب S می‌گوییم.

۲ قطب‌های همنام دو آهنربا (همانند شکل (الف)) همدیگر را دفع و قطب‌های ناهمنام (همانند شکل (ب)) همدیگر را جذب می‌کنند.

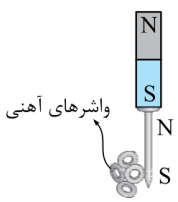


۳ تمام اجسامی که خاصیت مغناطیسی دارند، هم قطب N دارند و هم قطب S و به صورت دوقطبی مغناطیسی هستند. به همین دلیل اگر یک آهنربا را از هر کجای آن به دو قسمت تقسیم و این کار را تکرار کنیم، آهنرباهای جدید به وجود می‌آید که هر کدام قطب‌های N و S دارند.

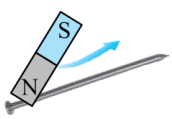


القای مغناطیسی اگر یک میلهٔ آهنی (مانند میخ یا سوزن) را به یک آهنربا نزدیک کنیم و یا به آن تماس دهیم، در میله خاصیت مغناطیسی **القا** می‌شود و برای مدتی تبدیل به آهنربا می‌شود.

نکته همان‌طور که در شکل می‌بینید در اثر القای مغناطیسی، قطب‌های میخ به گونه‌ای خواهد شد که جذب آهنربا شود.



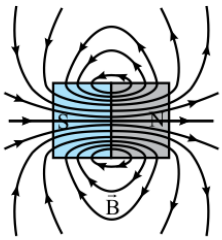
نکته وقتی یکی از قطب‌های یک آهنربای دائمی را چندین بار و در یک جهت به یک سوزن ته‌گرد بکشید، سوزن برای مدتی دارای خاصیت مغناطیسی می‌شود.



میدان مغناطیسی

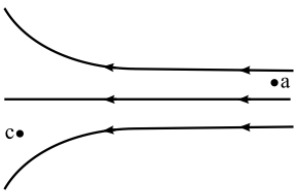
در اطراف آهنربا خاصیتی به نام **میدان مغناطیسی** وجود دارد که باعث می‌شود به آهنرباها و مواد مغناطیسی، از راه دور نیروی دافعه یا جاذبه وارد شود. میدان مغناطیسی (مانند میدان الکتریکی) یک کمیت برداری است که آن را با نماد $\vec{B}$ نمایش می‌دهیم و یکای آن در SI تسلا (T) است.

خطوط میدان مغناطیسی | برای تجسم میدان مغناطیسی از خطوط میدان مغناطیسی استفاده می‌کنیم. این خطوط دارای ویژگی‌های زیر هستند:



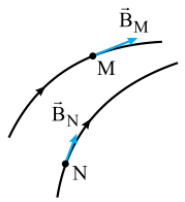
۱ خطوط میدان، خطوط بسته‌ای هستند.

۲ جهت خطوط میدان در خارج از آهنربا از N به S و در داخل آهنربا از S به N است.



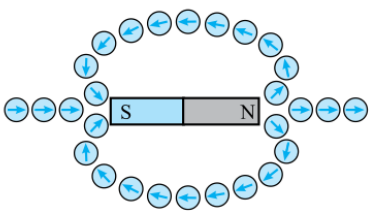
۳ تراکم خطوط میدان، نشان‌دهندهٔ بزرگی میدان مغناطیسی است. هر چه تراکم خطوط بیشتر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر است.

$$B_a > B_c$$



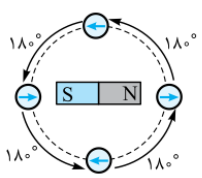
۴ بردار میدان مغناطیسی در هر نقطه، **مماس** بر خط میدانی است که از آن نقطه می‌گذرد و با خط میدان هم‌جهت است.

توجه کنید در شکل بالا، چون تراکم خطوط در نزدیکی نقطهٔ N کم‌تر از نقطهٔ M است، میدان در این نقطه ضعیف‌تر است و طول بردار میدان نیز کوچک‌تر رسم شده است.



۵ خطوط میدان برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؛ یعنی از هر نقطهٔ فضا یک خط میدان مغناطیسی می‌گذرد.

نکته قطب N عقربهٔ مغناطیسی در هر نقطه، جهت میدان مغناطیسی در آن نقطه را نشان می‌دهد.



نکته اگر قطب‌نمایی را در اطراف یک آهنربا مطابق شکل روی محیط دایرهٔ خط‌چین یک دور کامل حرکت دهیم، عقربهٔ قطب‌نما 720° دوران می‌کند.

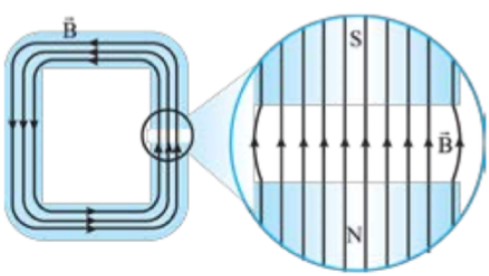
میدان مغناطیسی یکنواخت | اگر بردارهای میدان مغناطیسی در تمام نقاط یک ناحیه برابر باشند، آن میدان، میدان مغناطیسی یکنواخت است. در میدان مغناطیسی یکنواخت، خطوط میدان:

۱ موازی‌اند.

۲ هم‌جهت‌اند.

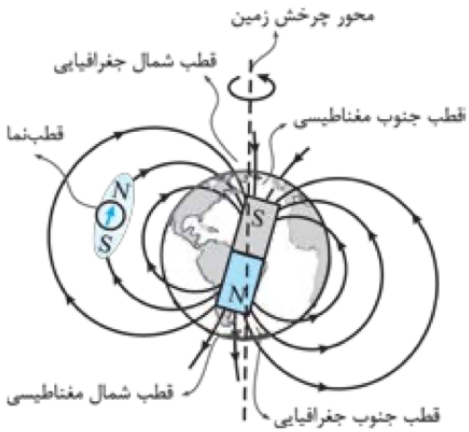
۳ مستقیم‌اند.

۴ با فاصلهٔ یکسان از هم قرار دارند.



میدان مغناطیسی یکنواخت بین قطب‌های آهنربای C شکل

نکته در تمام نقاط فضایی که در آن میدان مغناطیسی یکنواخت برقرار است، بزرگی میدان و جهت آن ثابت است.



میدان مغناطیسی زمین | زمین نیز مانند یک آهنربای قوی است که قطب N آن نزدیک قطب جنوب جغرافیایی و قطب S آن نزدیک قطب شمال جغرافیایی است.

نکته ۱ با توجه به شکل، قطب N عقربهٔ مغناطیسی به سمت قطب جنوب مغناطیسی زمین (که نزدیک قطب شمال جغرافیایی است) می‌ایستد. ۲ قطب‌های مغناطیسی زمین کاملاً بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند و از هم فاصلهٔ زیادی دارند مثلاً قطب جنوب مغناطیسی زمین تقریباً در فاصلهٔ ۱۸۰۰کیلومتری قطب شمال جغرافیایی واقع است. ۳ اندازهٔ میدان مغناطیسی در نزدیکی سطح زمین در قطب‌ها در حدود ۰/۶۵ G و در نزدیکی استوا در حدود ۰/۲۵ G است. پس تراکم خطوط میدان مغناطیسی زمین در نزدیکی قطب‌ها بیشتر از استوا است. ۴ بزرگی میدان مغناطیسی در نزدیکی آهنرباهای میله‌ای کوچک بین ۰/۰۱ T تا ۰/۱ T است. پس اگر یک عقربهٔ مغناطیسی در نزدیکی یک آهنربای میله‌ای باشد، نمی‌تواند قطب‌های جغرافیایی را به درستی نشان دهد زیرا اندازهٔ میدان آهنربا قوی‌تر از میدان مغناطیسی زمین است.

۵ خطوط میدان مغناطیسی زمین در بیشتر مناطق آن موازی سطح افقی زمین نیستند. به زاویه‌ای که خط میدان مغناطیسی (عقربهٔ مغناطیسی) در هر مکان با سطح افقی زمین می‌سازد، **شیب مغناطیسی** می‌گوییم.

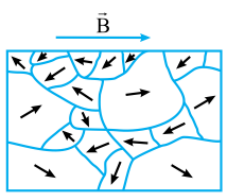
مواد مغناطیسی: موادی که اتم‌ها یا مولکول‌های سازندهٔ آن‌ها خاصیت مغناطیسی داشته باشند را مواد مغناطیسی می‌نامیم. هر اتم یا مولکول این مواد یک آهنربای میکروسکوپی است.

حوزه‌های مغناطیسی: اگر در ناحیهٔ مشخصی از یک ماده جهت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی یکسان باشند آن ناحیه را حوزهٔ مغناطیسی می‌نامیم.

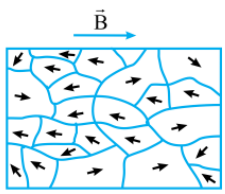
جدول دسته‌بندی مواد از نظر مغناطیسی

نام	نمونه	دوقطبی مغناطیسی	حوزهٔ مغناطیسی	ویژگی‌ها	کاربرد
پارامغناطیس	اورانیم، پلاتین، آلومینیم، سدیم، اکسیژن و اکسید نیتروژن	دارد	ندارد	۱) اتم‌های این مواد به طور ذاتی دارای خاصیت مغناطیسی هستند، اما در غیاب میدان دوقطبی‌های مغناطیسی آن‌ها جهت‌گیری کاتوره‌ای دارند. ۲) در مجاورت میدان مغناطیسی خارجی قوی دارای خاصیت مغناطیسی ضعیف و موقت می‌شوند. ۳) با حذف میدان مغناطیسی خارجی خاصیت مغناطیسی خود را به سرعت از دست می‌دهند.	-
فرومغناطیس نرم	آهن، کبالت و نیکل	دارد	دارد	۱) به طور ذاتی دارای حوزه‌های مغناطیسی هستند که در آن حوزه‌ها جهت‌گیری دوقطبی‌ها تقریباً یکسان است. ۲) بر اثر مجاورت با میدان مغناطیسی خارجی، حجم حوزه‌هایی که هم‌جهت با میدان خارجی می‌شوند، به سرعت رشد کرده و جسم به سرعت دارای خاصیت مغناطیسی می‌شود. ۳) با حذف میدان مغناطیسی خارجی، جهت‌گیری حوزه‌های مغناطیسی به سرعت به حالت قبل بازمی‌گردد و خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند.	در ساخت آهنرباهای الکتریکی و غیردائمی کاربرد دارند.
فرومغناطیس سخت	فولاد و آلیاژهای آهن، آلیاژهای کبالت و نیکل	دارد	دارد	۱) به طور ذاتی دارای حوزه‌های مغناطیسی هستند که در آن حوزه‌ها جهت‌گیری دوقطبی‌ها تقریباً یکسان است. ۲) بر اثر مجاورت با میدان مغناطیسی خارجی به سختی دارای خاصیت مغناطیسی می‌شوند. ۳) با حذف میدان مغناطیسی خارجی، خاصیت مغناطیسی خود را برای مدت بسیار طولانی حفظ می‌کنند.	در ساخت آهنرباهای دائمی کاربرد دارند.
دیامغناطیس	مس، بیسموت، نقره و سرب	ندارد	ندارد	۱) اتم‌ها یا مولکول‌های آن‌ها دارای دوقطبی مغناطیسی خالص و خاصیت مغناطیسی نیستند. ۲) در اثر مجاورت با میدان مغناطیسی (قوی) خاصیت مغناطیسی در آن‌ها به گونه‌ای القا می‌شود که میدان آن‌ها برخلاف میدان بیرونی است و باعث دفع آن‌ها توسط میدان بیرونی می‌شود.	-

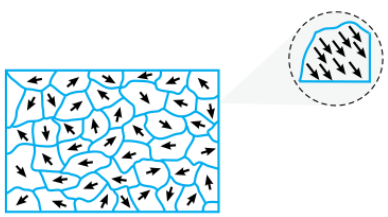
نکته با قراردادن یک مادهٔ فرومغناطیس در میدان مغناطیسی، حجم حوزه‌های مغناطیسی تغییر می‌کند.



(پ) مادهٔ فرومغناطیس در حضور میدان مغناطیسی خارجی قوی.



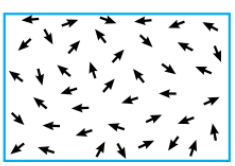
(ب) مادهٔ فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی ضعیف.


ابعاد حوزه‌ها از مرتبهٔ دهم تا هزارم میلی‌متر است.

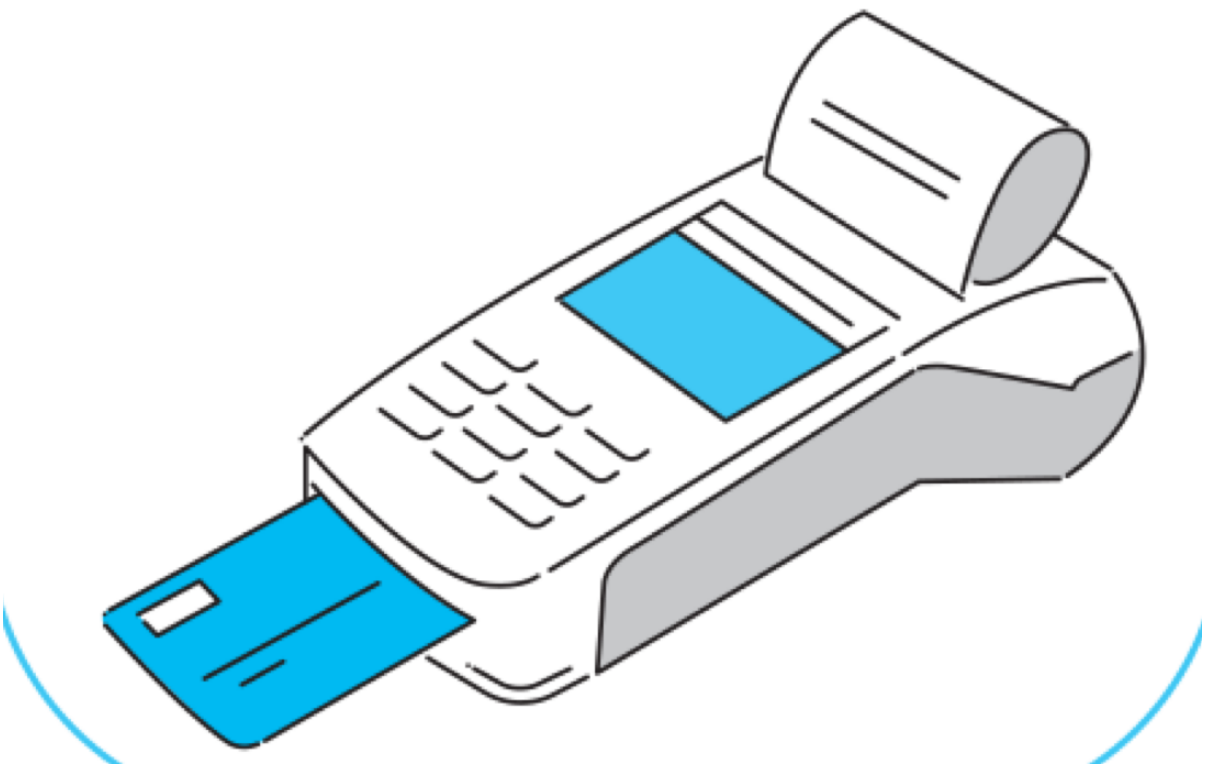
(الف) مادهٔ فرومغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی خارجی.

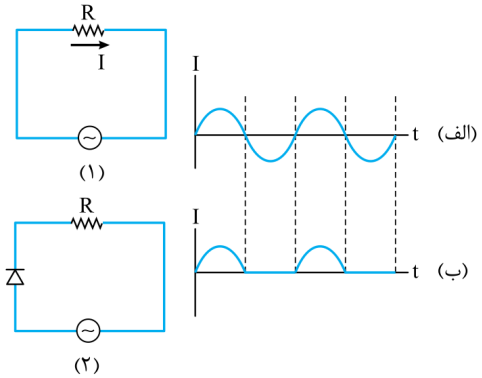
نکته برای خاصیت آهنربایی هر مادهٔ فرومغناطیسی، مقدار اشباع یا بیشینه‌ای وجود دارد. در حالت اشباع حجم حوزه‌هایی که با میدان مغناطیسی خارجی همسو هستند به بیشترین مقدار ممکن می‌رسد.

نکته مطابق شکل سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی یک مادهٔ پارامغناطیس در نبود میدان مغناطیسی خارجی به صورت **کاتوره‌ای** است.


مادهٔ پارامغناطیسی در نبود میدان

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

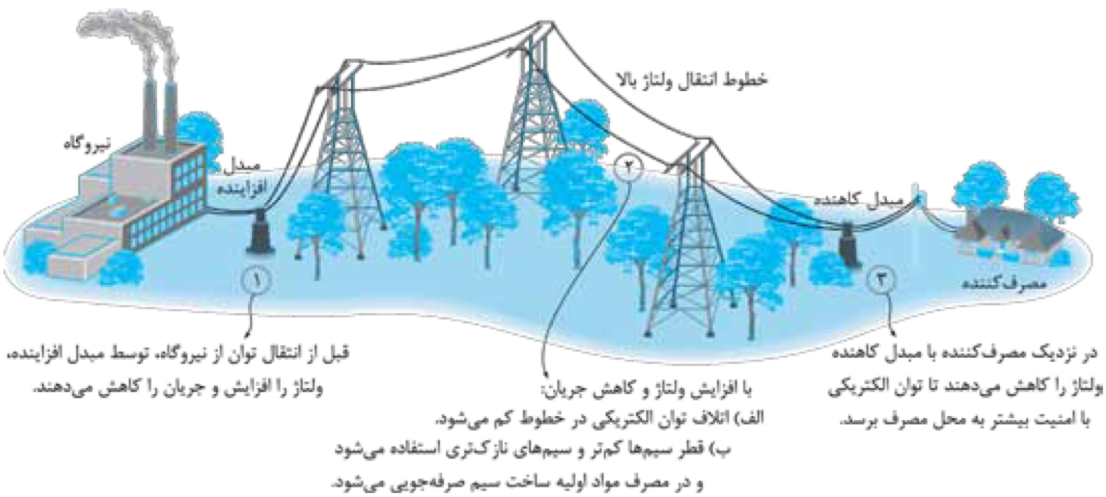




نکته دیود یکسوکنندهٔ جریان در شاخه‌ای است که در آن قرار دارد. دیود تنها جریان را در یک سو آن هم در صورتی که جریان به قسمت مثلثی‌شکل نماد آن وارد شود (I ⟶▷|) عبور می‌دهد و در جهت مخالف، جریان نمی‌تواند از دیود عبور کند. به عنوان مثال اگر جریان عبوری از مقاومت در مدار (۱) مطابق نمودار (الف) باشد، جریان عبوری از مقاومت در مدار (۲) مطابق نمودار (ب) است.

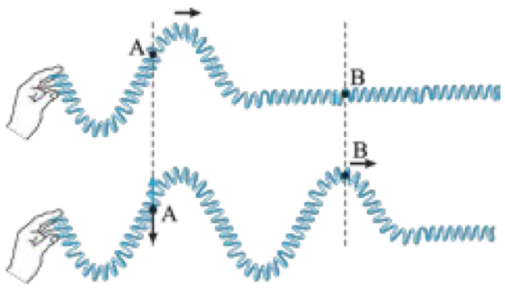
مبدل افزاینده و مبدل کاهنده: اگر تعداد دورهای پیچهٔ ثانویهٔ مبدل از تعداد دور پیچهٔ اولیه بیشتر باشد، ولتاژ خروجی (V_2) بیشتر از ولتاژ ورودی (V_1) است و مبدل را مبدل **افزاینده** می‌گوییم. اگر تعداد دورهای پیچهٔ ثانویهٔ مبدل از تعداد دور اولیهٔ آن کم‌تر باشد، ولتاژ خروجی کم‌تر از ولتاژ ورودی است و مبدل را مبدل **کاهنده** می‌گوییم.

انتقال توان الکتریکی: از مزیت‌های مهم توزیع توان الکتریکی ac (متناوب) بر dc (مستقیم) آن است که افزایش و کاهش ولتاژ ac بسیار آسان‌تر از dc است. شکل زیر انتقال توان ac از نیروگاه (محل تولید توان) به مصرف‌کننده‌ها را نشان می‌دهد.



نوسان و موج

اگر در ناحیه‌ای از یک محیط کشسان، ارتعاشی ایجاد کنیم، **این ارتعاش در محیط منتشر می‌شود**. به انتقال ارتعاش در یک محیط، موج می‌گوییم.
در شکل روبه‌رو نمونه‌ای از نحوهٔ ایجاد موج را در محیط کشسان مشاهده می‌کنید.



نکته هنگام انتشار موج در یک محیط، ذرات سازندهٔ محیط، حرکت انتقالی ندارند بلکه فقط در جای خود حرکت ارتعاشی (یا نوسانی) دارند؛ مثلاً در شکل روبه‌رو موج پس از مدتی از نقطهٔ A به B می‌رسد اما حلقه‌ای که در نقطهٔ A وجود دارد، هم‌چنان در محل خود نوسان می‌کند.

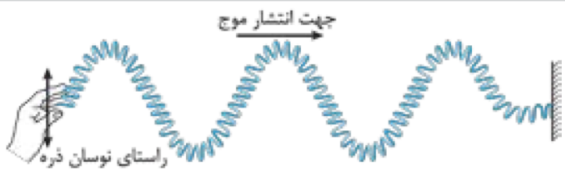
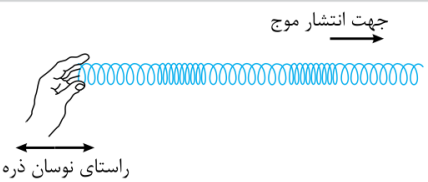
به موج‌هایی که در ادامه بررسی خواهیم کرد موج‌های پیشرونده می‌گوییم. این موج‌ها از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر حرکت کرده و انرژی را با خود منتقل می‌کنند.

دسته‌بندی امواج | موج‌ها را می‌توانیم به دو صورت تقسیم‌بندی کنیم:

امواج براساس ماهیتشان به دو دستهٔ امواج مکانیکی و امواج الکترومغناطیسی تقسیم می‌شوند:

نوع موج	ویژگی اصلی	نمونه‌های موج
مکانیکی	برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند و در خلأ منتشر نمی‌شوند.	امواج ناشی از زلزله، صوت، امواج روی سطح آب و ...
الکترومغناطیسی	برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند و در خلأ هم منتشر می‌شوند.	نور مرئی، موج‌های رادیویی، میکروموج‌ها، پرتوهای X و ...

موج‌ها براساس زاویهٔ بین راستای نوسان ذرات محیط با راستای انتشار موج به دو دستهٔ امواج طولی و امواج عرضی تقسیم می‌شوند:

نوع موج	ویژگی	تصویری از موج	نمونه‌های این موج
امواج عرضی	راستای نوسان ذرات محیط عمود بر راستای انتشار موج است.		امواج الکترومغناطیس، امواج روی سطح آب، امواج ایجادشده در تار مرتعش، امواج ثانویهٔ زلزله
امواج طولی	راستای نوسان ذرات محیط در راستای انتشار موج است.		صوت، امواج اولیهٔ زلزله، موج ایجادشده در فنر کشیده‌شده

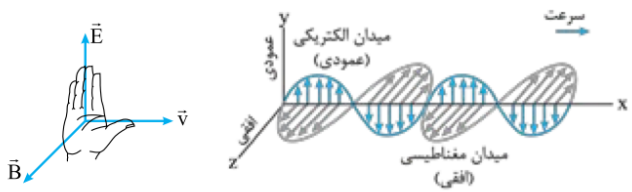
منبع (چشمهٔ) موج: منبع موج معمولاً یک نوسانگر است **که انرژی آن به صورت ارتعاش ذرات**، در محیط منتشر می‌شود.
تپ موج: اگر مانند شکل‌های روبه‌رو منبع موج فقط یک آشفتگی ایجاد کند، به این آشفتگی **تپ موج** می‌گوییم.

تندی انتشار موج: تندی انتشار موج در محیط ثابت و برابر تندی تپ موجی است که در محیط منتشر می‌شود.

نکته تندی انتشار موج به جنس و ویژگی‌های فیزیکی محیط انتشار موج وابسته است و به ویژگی‌های منبع موج بستگی ندارد.

چگونگی تشکیل امواج الکترومغناطیسی: هر تغییری در میدان الکتریکی در هر نقطه از فضا، میدان مغناطیسی متغیری ایجاد می‌کند و این میدان مغناطیسی متغیر، خود میدان الکتریکی متغیری به وجود می‌آورد. این رابطهٔ متقابل میدان‌ها سبب انتقال نوسان‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از یک نقطهٔ فضا به نقاط دیگر و یا همان انتشار موج الکترومغناطیسی می‌شود.

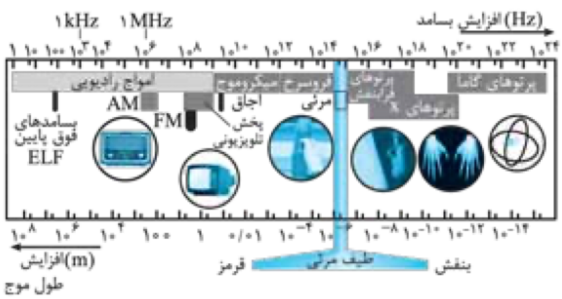
نمودار نقش موج الکترومغناطیسی: شکل روبه‌رو نقش یک موج الکترومغناطیسی سینوسی را در لحظه‌ای از زمان و در نقطه‌ای دور از چشمهٔ موج نشان می‌دهد.



برای تعیین جهت انتشار موج الکترومغناطیسی از قاعدهٔ دست راست استفاده می‌کنیم. چهار انگشت دست راست را در جهت میدان الکتریکی قرار می‌دهیم. به گونه‌ای که میدان مغناطیسی از کف دست راست ما خارج شوند، در این حالت انگشت شست، جهت انتشار موج را نشان می‌دهد.

ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی | ۱ برای انتشار به محیط مادی نیازی ندارند؛ یعنی در خلأ هم می‌توانند منتشر شوند. ۲ از نوع امواج عرضی هستند، زیرا میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی $\vec{E}$ و $\vec{B}$ بر جهت انتشار موج عمودند. ۳ در این امواج میدان الکتریکی و مغناطیسی هم‌زمان تغییر می‌کنند. یعنی نوسان میدان‌ها هم‌بسامد و هم‌گام با یکدیگر هستند.[۱] ۴ میدان الکتریکی $\vec{E}$ همواره عمود بر میدان الکتریکی $\vec{B}$ است.

طیف امواج الکترومغناطیسی: شکل روبه‌رو طیف‌های امواج الکترومغناطیسی را براساس گسترهٔ بسامد و طول موج آن‌ها نشان می‌دهد. شما باید ترتیب این امواج را به ترتیب بسامد به خاطر بسپارید.



نکته ۱ امواج رادیویی کم‌ترین بسامد و پرتوهای گاما بیشترین بسامد را دارند.

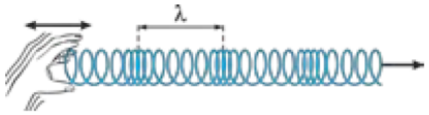
۲ طیف نور مرئی به ترتیب افزایش بسامد، شامل نور قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش است.

۳ هر چه بسامد موج الکترومغناطیسی بیشتر باشد، انرژی آن هم بیشتر است.

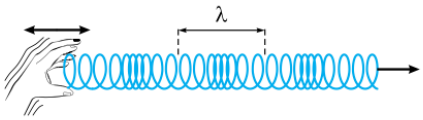
۴ تندی همهٔ طیف‌های موج الکترومغناطیسی در خلأ با هم برابر است و از رابطهٔ $c = \frac{۱}{\sqrt{\varepsilon_۰ \mu_۰}}$ به دست می‌آید. در این رابطه، $\mu_۰$ ضریب تراوایی مغناطیسی خلأ و $\varepsilon_۰$ ضریب گذردهی الکتریکی خلأ است.

۵ در طیف امواج الکترومغناطیسی که در شکل بالا آمده است هیچ گسستگی وجود ندارد. یعنی هر بسامدی (یا طول موج) در این مجموعه حداقل مربوط به یکی از طیف‌های امواج الکترومغناطیسی (از رادیویی تا گاما) است.

طول موج: در موج‌های طولی، طول موج برابر فاصلهٔ دو مرکز تراکم متوالی یا فاصلهٔ دو مرکز انبساط متوالی است.



$\lambda =$ فاصلهٔ مرکز دو تراکم متوالی



$\lambda =$ فاصلهٔ مرکز دو انبساط متوالی

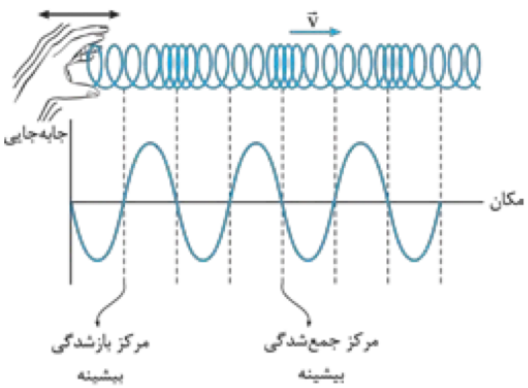
نکته در موج طولی، در مراکز بیشینهٔ تراکم و انبساط، جابه‌جایی ذرات از وضعیت تعادل برابر صفر و تندی ذرات بیشینه است (یعنی ذرات با بیشترین تندی در حال عبور از وضع تعادل خود هستند). جدول زیر مقایسهٔ بین نقاط خاص در موج عرضی و طولی را نشان می‌دهد.

وضعیت ذره در	قله و دره در موج عرضی	مراکز بیشینهٔ تراکم و انبساط در موج طولی
جابه‌جایی ذرات از وضع تعادل	بیشینه	صفر
تندی ذرات	صفر	بیشینه

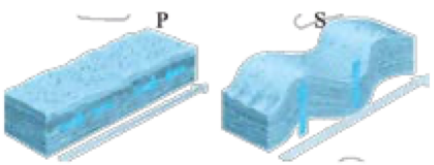
نکته در موج طولی در وسط فاصلهٔ یک تراکم بیشینه و انبساط بیشینهٔ مجاور هم، ذرات محیط در بیشترین اندازهٔ جابه‌جایی از وضعیت تعادل هستند.

نمودار جابه‌جایی ـ مکان موج طولی

نمودار جابه‌جایی ـ مکان برای یک موج طولی که در فنری در حال انتشار است مانند شکل مقابل است:



امواج زلزله: امواج زلزله مانند آن‌چه که در شکل می‌بینید، متشکل از دو موج طولی (P) و عرضی (S) است.

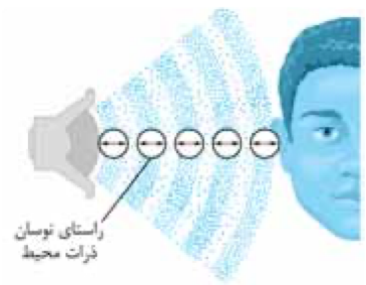


نکته برای امواج مکانیکی تندی امواج طولی در یک محیط جامد بیشتر از امواج عرضی در همان محیط است؛ بنابراین موج طولی زلزله زودتر از موج عرضی آن به مراکز زلزله‌نگاری می‌رسد. به همین دلیل به موج طولی زلزله موج اولیه یا P و به موج عرضی آن موج ثانویه یا S می‌گوییم.
بد نیست بدانید که معمولاً تندی امواج اولیهٔ P در حدود $8\ km/s$ و تندی امواج ثانویهٔ S در حدود $4/5\ km/s$ است.

صوت یک موج مکانیکی و طولی است که توسط منبع (چشمهٔ) صوت در یک محیط مادی (جامد، مایع و گاز) تولید و منتشر می‌شود. دقت کنید که چون صوت یک موج مکانیکی است، در خلأ منتشر نمی‌شود.

منبع (چشمهٔ) صوت: اجسام مرتعشی مانند سیم گیتار، حنجره، دیاپازون و پوسته‌های مرتعش مانند پوستهٔ طبل یا صفحهٔ (دیافراگم) مرتعش بلندگو می‌توانند منبع صوت باشند.

چگونگی ایجاد صوت توسط یک دیاپازون: همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید، ارتعاش تیغهٔ دیاپازون باعث ایجاد و انتشار جبهه‌های تراکمی و انبساطی در هوای جلوی آن می‌شود.



نکته در فضای باز صوت در همهٔ جهت‌ها در محیط منتشر می‌شود و جبهه‌های موج صوتی کروی‌شکل هستند.

نکته به صوت حاصل از چشمه‌هایی مانند دیاپازون که نوسان آن‌ها به حرکت هماهنگ ساده نزدیک است، تن موسیقی یا به اختصار تُن می‌گوییم.

تندی انتشار صوت | تندی انتشار صوت به جنس، حالت و دمای محیط وابسته است.

نکته عموماً تندی انتشار صوت در جامدها بیشتر از مایع‌ها و در مایع‌ها بیشتر از گازها است:

$v_{\text{جامد}} > v_{\text{مایع}} > v_{\text{گاز}}$

بلندی و ارتفاع صوت

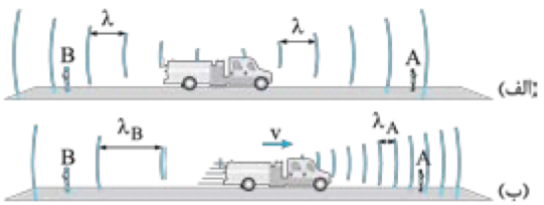
به درک انسان از شدت صوتی که می‌شنود، **بلندی صوت** می‌گوییم. منظور ما از صدای بلند، صدایی است که شدت زیادی دارد.

به درک انسان از بسامد صوتی که می‌شنود، **ارتفاع صوت** می‌گوییم. درک ما از ارتفاع صوت همان زیر یا بم‌بودن صدا است.

نکته ۱ گوش انسان قادر به شنیدن صداهایی در محدودهٔ بسامدی ۲۰ Hz تا ۲۰ kHz است. ۲ بیشترین حساسیت گوش انسان به صداهایی در محدودهٔ بسامدی ۲۰۰۰ Hz تا ۵۰۰۰ Hz است (یعنی این بسامدها را بهتر می‌شنویم). ۳ ارتفاع و بلندی صوت با بسامد و شدت صوت متفاوت‌اند. ارتفاع و بلندی صوت به حس و ادراک انسان وابسته است اما بسامد و شدت صوت توسط آشکارسازهای صوت قابل اندازه‌گیری هستند.

شنونده، صدای یک منبع صوت را با بسامد معینی می‌شنود. اگر شنونده یا منبع صوت نسبت به هم در حال حرکت باشند، بسامدی که شنونده از منبع صوت دریافت می‌کند با بسامد منبع صوت متفاوت است. به این پدیده، اثر دوپلر می‌گوییم. در ادامه به دو حالت از حالت‌هایی که ممکن است اثر دوپلر رخ دهد، می‌پردازیم:

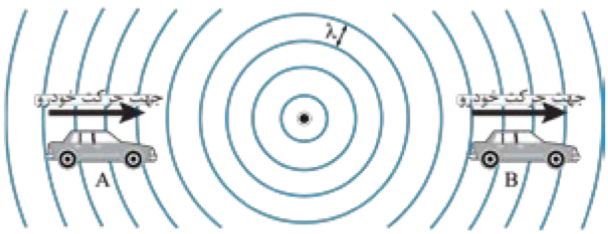
الف) چشمهٔ صوت متحرک و شنونده ساکن باشد | همان‌طور که در شکل (الف) می‌بینید، هنگامی که منبع صوت (ماشین آتش‌نشانی) ساکن است، فاصلهٔ جبهه‌های موج متوالی (طول موج) که به شنونده‌های A و B می‌رسد، یکسان است. اما در شکل (ب) با حرکت چشمهٔ صوت به سمت راست:



شنوندهٔ A: فاصلهٔ جبهه‌های موجی که به او می‌رسد، کم‌تر می‌شود، بنابراین صوتی با طول موج کم‌تر و بسامد بیشتر می‌شنود.

شنوندهٔ B: فاصلهٔ جبهه‌های موجی که به او می‌رسد، بیشتر می‌شود، بنابراین صوتی با طول موج بیشتر و بسامد کم‌تر می‌شنود.

ب) چشمهٔ صوت ساکن و شنونده متحرک باشد | در این حالت طول موج در دو طرف چشمه یکسان است.



شنوندهٔ A: با حرکت به سمت چشمهٔ صوت، شنونده (نسبت به شنوندهٔ ساکن) در مدت‌زمان یکسان جبهه‌های موج بیشتری دریافت می‌کند و در نتیجه صوت را با بسامد بیشتری می‌شنود.

شنوندهٔ B: با دورشدن از چشمهٔ صوت، شنونده (نسبت به شنوندهٔ ساکن) در مدت‌زمان یکسان جبهه‌های موج کم‌تری دریافت می‌کند و در نتیجه صوت را با بسامد کم‌تری می‌شنود.

نکته در حالتی که چشمه متحرک است، طول موجی که به شنونده می‌رسد، تغییر می‌کند. در حالی که اگر چشمه ساکن باشد، طول موجی که به شنونده می‌رسد، تغییر نمی‌کند.

جمع‌بندی حالت‌های اثر دوپلر:

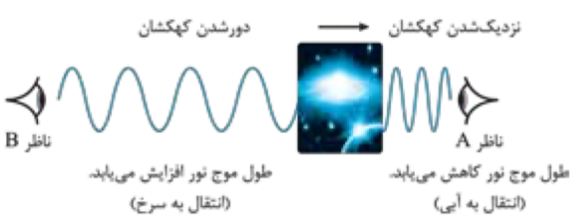
وضعیت ناظر (شنونده)	وضعیت منبع (چشمهٔ) صوت	بسامدی که شنونده می‌شنود	طول موج صوت
ساکن	به ناظر نزدیک شود	بیشتر از بسامد منبع صوت است	کاهش می‌یابد
ساکن	از ناظر دور شود	کم‌تر از بسامد منبع صوت است	افزایش می‌یابد
به منبع نزدیک شود	ساکن	بیشتر از بسامد منبع صوت است	ثابت می‌ماند
از منبع دور شود	ساکن	کم‌تر از بسامد منبع صوت است	ثابت می‌ماند

نکته اگر منبع و ناظر به هم نزدیک شوند، بسامدی که ناظر می‌شنود، بیشتر از بسامد منبع است و اگر از هم دور شوند کم‌تر از بسامد منبع است. (این نکته برای حالت‌هایی که هم ناظر و هم منبع در حال حرکت هستند نیز صدق می‌کند.)

اثر دوپلر برای امواج الکترومغناطیسی | اثر دوپلر فقط مختص امواج صوتی نیست و برای امواج الکترومغناطیسی نیز رخ می‌دهد.

انتقال به آبی: هرگاه منبع موج الکترومغناطیسی به ناظر (آشکارساز) نزدیک شود، ناظر (آشکارساز) طول موج کوتاه‌تری را نسبت به طول موجِ گسیلی از منبع موج دریافت می‌کند. در این حالت بسامد نوری که دریافت می‌کند از بسامد نور گسیلی بیشتر است. به این حالت اصطلاحاً انتقال به آبی می‌گوییم.

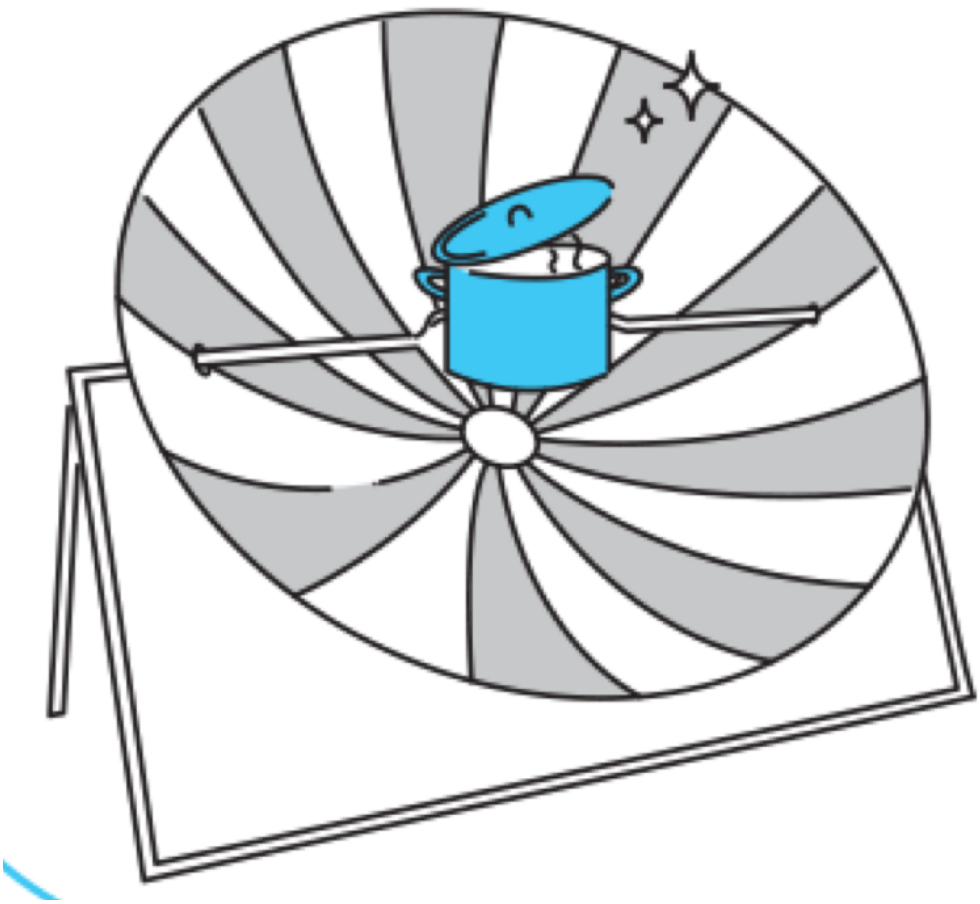
انتقال به سرخ: هرگاه منبع موج الکترومغناطیسی از ناظر (آشکارساز) دور شود، ناظر (آشکارساز) طول موج بلندتری را نسبت به طول موج گسیلی از منبع موج دریافت می‌کند. در این حالت بسامد نوری که ناظر دریافت می‌کند از بسامد نور گسیلی کم‌تر است. به این حالت اصطلاحاً انتقال به سرخ می‌گوییم.

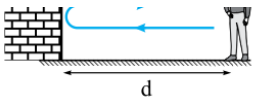


در شکل روبه‌رو انتقال به آبی را برای ناظر A و انتقال به سرخ را برای ناظر B مشاهده می‌کنید.

نکته از پدیدهٔ دوپلر در اخترشناسی برای بررسی حرکت اجرام آسمانی و در دوربین‌های کنترل تندی، برای اندازه‌گیری تندی اتومبیل‌ها استفاده می‌شود.

برهم کنش‌های موج





نکته برای تشخیص پژواک از صوت اصلی، اختلاف زمان رسیدن این دو صوت به گوش باید برابر یا بیشتر از ۰/۱s باشد.

مکان‌یابی پژواکی: روشی است که براساس امواج صوتی بازتابیده شده از یک جسم، مکان جسم تعیین می‌شود.

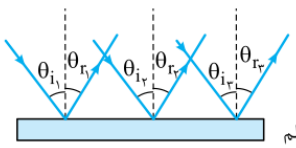
نکته در دستگاه‌های سونوگرافی و دستگاه سونار در کشتی‌ها از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود. خفاش‌ها و دلفین‌ها نیز برای تشخیص موانع و یافتن مسیر خود از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌کنند.

بازتاب امواج الکترومغناطیسی

امواج الکترومغناطیس نیز از قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کند. پرتوی تابش، بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده در هر بازتابشی در یک صفحه واقع‌اند.

بازتاب امواج الکترومغناطیسی از یک مانع را می‌توانیم دو نوع تقسیم‌بندی کنیم: ۱ بازتاب آینه‌ای یا منظم ۲ بازتاب پخشنده یا نامنظم

۱) بازتاب آینه‌ای یا منظم اگر سطح بازتابندهٔ نور مانند یک آینه بسیار هموار باشد، بازتاب نور آینه‌ای و منظم است.

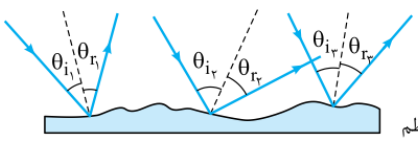


بازتاب منظم

نکته اگر ابعاد فرورفتگی‌ها و برجستگی‌های روی سطح مانع کوچک‌تر از طول موجِ موج فرودی باشد، سطح برای موج فرودی آینه‌ای و بازتاب نور از آن منظم است.

مثلاً در شکل روبه‌رو همهٔ پرتوهای بازتاب‌شده موازی هستند. $\theta_{i_1} = \theta_{r_1} = \theta_{i_2} = \theta_{r_2} = \theta_{i_3} = \theta_{r_3}$

۲) بازتاب پخشنده اگر پرتوهای موازی نور به سطح ناهمواری برخورد کند، به صورت نامنظم بازتاب می‌شود، به این بازتاب، پخشنده یا نامنظم می‌گوییم.



بازتاب نامنظم

نکته اگر ابعاد فرورفتگی‌ها و برجستگی‌های روی سطح مانع از طول موجِ موج فرودی بزرگ‌تر باشد، بازتاب به صورت پخشنده است.

$\theta_{i_1} = \theta_{r_1}$, $\theta_{i_2} = \theta_{r_2}$, $\theta_{i_3} = \theta_{r_3}$

توجه کنید هر یک از پرتوها در برخورد با مانع از قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کنند.

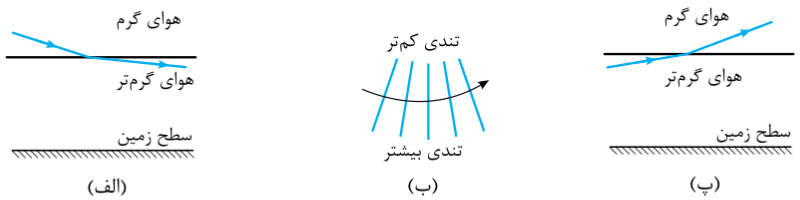
نکته در رادار دوپلری و اجاق خورشیدی از بازتاب امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود.

در سونوگرافی از بازتاب امواج فراصوتی و در دستگاه سونار کشتی‌ها از بازتاب امواج صوتی استفاده می‌شود.

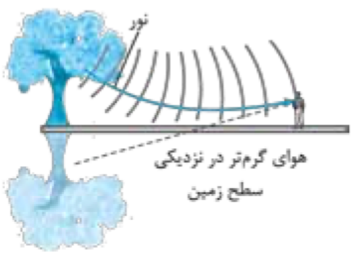
سراب در روزهای گرم تابستان، دمای لایه‌های هوای مجاور سطح زمین بالا می‌رود. در نتیجه هر چه به سطح زمین نزدیک شویم، دما افزایش می‌یابد. بنابراین، مانند آن‌چه که در شکل می‌بینید، هر چه از بالا به سطح زمین نزدیک می‌شویم، غلظت و ضریب شکست هوا کاهش می‌یابد.

$$n_1 < n_2 < n_3$$

پرتوهای نور که از بالا به سطح زمین نزدیک می‌شود، به علت آن‌که پیوسته محیط انتشار آن‌ها رقیق‌تر می‌شود. مانند شکل‌های زیر، رفته‌رفته شکسته شده، به سطح افق نزدیک و در نهایت بازتاب می‌شوند.

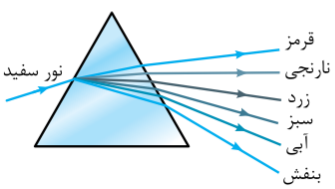


پرتوهای بازتاب‌شده مانند شکل زیر، به چشم ناظر می‌رسد و ناظر، تصویر شیئی که نور از آن گسیل شده را بر سطح زمین مشاهده می‌کند. به این پدیده سراب می‌گوییم.



پاشندگی نور ضریب شکست هر محیطی به‌جز خلأ، علاوه بر جنس محیط به طول موج نور هم بستگی دارد. به طوری که هر چه طول موج نور تابشی بیشتر باشد، ضریب شکست محیط برای آن، کم‌تر است.

$$\lambda_{\text{قرمز}} > \lambda_{\text{نارنجی}} > \lambda_{\text{زرد}} > \lambda_{\text{سبز}} > \lambda_{\text{آبی}} > \lambda_{\text{بنفش}} \Rightarrow n_{\text{قرمز}} < n_{\text{نارنجی}} < n_{\text{زرد}} < n_{\text{سبز}} < n_{\text{آبی}} < n_{\text{بنفش}}$$

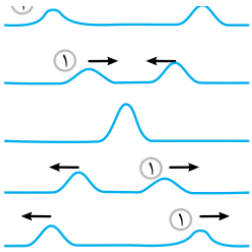


هنگامی که باریکهٔ نور سفید (شامل پرتوهایی که تمام طیف‌های نور مرئی را دربردارد) وارد محیطی مانند منشور می‌شود. به علت تفاوت ضریب شکست محیط برای هر یک از رنگ‌های باریکهٔ نور سفید، باریکهٔ نور به طیف‌های تشکیل‌دهندهٔ آن تجزیه می‌شود. به این پخش‌شدگی، **پاشندگی نور** می‌گوییم.

به ترکیب دو یا چند موج که به طور هم‌زمان از یک ناحیه عبور می‌کنند، **تداخل امواج** می‌گوییم.

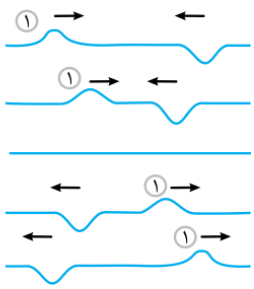
اصل برهم‌نهی امواج: هنگامی که دو یا چند موج هم‌زمان به نقطه‌ای از محیط می‌رسند، اثر خالص آن‌ها بر روی آن نقطه از محیط برابر مجموع اثرهای مجزای هر یک از آن‌ها در آن نقطه است.

تداخل سازنده | اگر تپ‌های موج هنگام تداخل، تپ بزرگ‌تری را ایجاد کنند (مانند شکل روبه‌رو)، به آن تداخل سازنده می‌گوییم.


(الف)

نکته اگر قلهٔ دو موج یا درهٔ دو موج به صورت هم‌زمان به نقطه‌ای برسند، در آن نقطه تداخل سازنده خواهند داشت.

تداخل ویرانگر | اگر تپ‌های موج هنگام تداخل اثر یکدیگر را حذف و یا تضعیف کنند (مانند شکل‌های روبه‌رو) به آن، تداخل ویرانگر می‌گوییم.

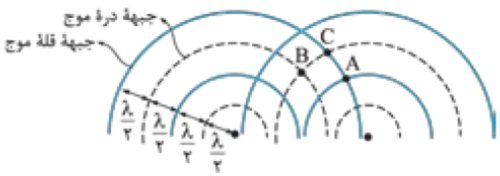

(ب)

نکته در نقاطی که قله‌ای از یک موج و دره‌ای از یک موج دیگر هم‌زمان به هم می‌رسند، تداخل ویرانگر رخ می‌دهد.

نکته پس از تداخل امواج و عبور آن‌ها از هم، موج به همان شکل اولیه (قبل از تداخل) به راه خود ادامه می‌دهد. این موضوع را در شکل‌های (الف) و (ب) می‌توانید ببینید.

تداخل امواج سطحی آب:

همان‌طور که می‌بینید جبهه‌های موج سطحی آب دایره‌ای‌شکل هستند. هنگامی که بر سطح آب (مانند شکل زیر) دو منبع به صورت هم‌زمان و با بسامد یکسان، موج ایجاد می‌کنند، در نقاطی که دو قله یا دو دره به هم می‌رسند تداخل سازنده و در نقاطی که یک قله و یک دره به هم می‌رسند، تداخل ویرانگر است. به شکلی از امواج که بر اثر تداخل به وجود می‌آید، نقش تداخلی امواج سطحی آب می‌گوییم.



در نقش تداخلی بالا:

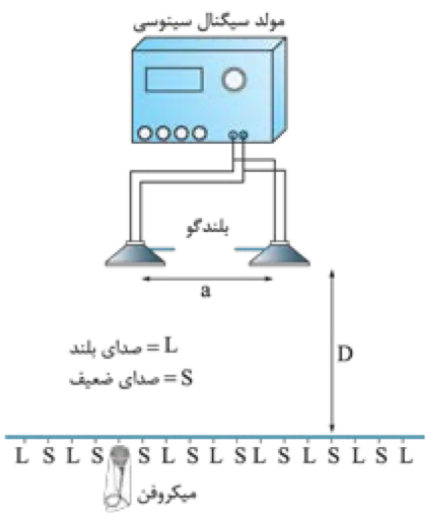
۱ نقطهٔ A محل رسیدن دو قلهٔ موج است و در این نقطه تداخل سازنده داریم. دامنهٔ نوسان این نقطه (دامنهٔ موج برایند) بیشینه است.

۲ نقطهٔ B محل رسیدن دو درهٔ موج است و در این نقطه تداخل سازنده داریم. دامنهٔ نوسان این نقطه (دامنهٔ موج برایند) بیشینه است.

۳ نقطهٔ C محل رسیدن یک درهٔ موج و یک قلهٔ موج است و در این نقطه تداخل ویرانگر داریم. دامنهٔ نوسان این نقطه (دامنهٔ موج برایند) کمینه است.

تداخل امواج صوتی:

امواج صوتی نیز تداخل می‌کنند. مطابق شکل اگر دو بلندگو که به یک مولد سیگنال الکتریکی متصل‌اند، امواج سینوسی و هم‌بسامدی را در فضا منتشر کنند، با حرکت‌دادن میکروفون در امتداد خط نشان داده شده و در فاصلهٔ مناسب از بلندگوها، بلندی صدای دریافتی توسط میکروفون به طور متناوب کم و زیاد می‌شود.

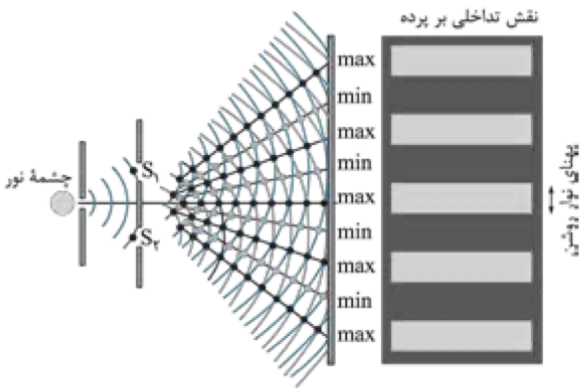


نکته در نقاطی که صدای بلند (L) دریافت می‌شود، برهم‌نهی دو موج صوتی، سازنده است و در نقاطی که صدای ضعیف (S) دریافت می‌شود، برهم‌نهی دو موج ویرانگر است.

نکته فاصلهٔ بین دو نقطهٔ متوالی با صدای بالا و صدای پایین با طول موجِ موج صوتی آزمایش متناسب است. یعنی اگر طول موج n برابر شود، فاصلهٔ بین دو نقطهٔ S و L متوالی نیز n برابر می‌شود.

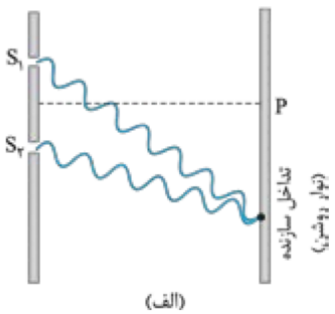
تداخل امواج نوری:

با انجام آزمایشی به نام آزمایش یانگ که طرحوارهٔ آن را در شکل می‌بینید، می‌توانیم نشان دهیم که امواج نوری نیز مانند امواج مکانیکی تداخل می‌کنند و نور خاصیت موجی دارد. نقش تداخلی تشکیل‌شده بر روی پرده به صورت نوارهای تاریک و روشن نشان‌دهندهٔ تداخل امواج الکترومغناطیسی است.



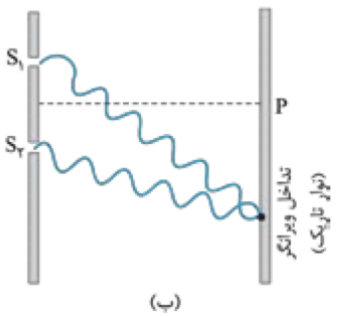
نکته

۱ نوارها یا فریزهای روشن ناحیه‌هایی هستند که در آن‌ها تداخل سازنده رخ داده است.



(الف)

۲ نوارها یا فریزهای تاریک ناحیه‌هایی هستند که در آن‌ها تداخل ویرانگر رخ داده است.



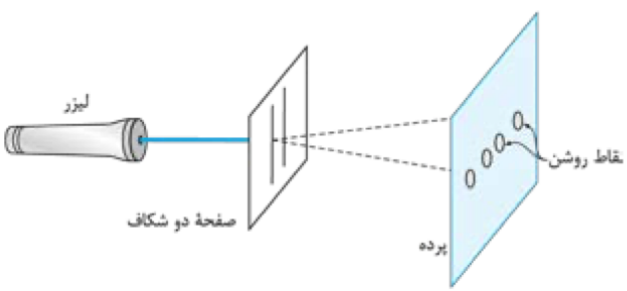
(ب)

۳ پهنای نوارهای تاریک و روشن برابرند.

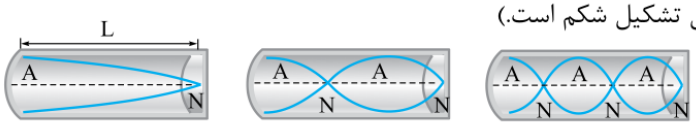
۴ پهنای نوارهای روشن یا تاریک (W) متناسب با طول موج نور به کار رفته در آزمایش (λ)است. بنابراین برای دو نور با طول موج‌های λ_1 و λ_2 در یک آزمایش، داریم:

$$\frac{W_2}{W_1}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

۵ اگر در آزمایش یانگ از نور لیزر استفاده کنیم، دیگر نیازی به استفاده از صفحهٔ تک‌شکاف در آزمایش نیست. در این صورت بر روی پرده، نقاط روشن تشکیل می‌شود.

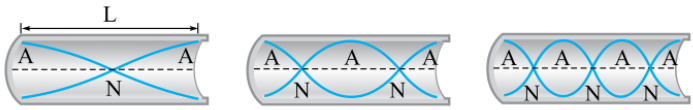


موج ایستاده و تشدید در لوله با یک انتهای باز | با توجه به این‌که در دهانهٔ باز لولهٔ صوتی شکم و در انتهای بستهٔ آن گره تشکیل می‌شود، سه مد نخستین یک لولهٔ صوتی با یک انتهای باز مطابق شکل زیر است. (N محل گره و A محل تشکیل شکم است.)



نکته در لوله با یک انتهای باز، تعداد شکم‌ها و گره‌ها برابر است. تعداد گره = تعداد شکم

موج ایستاده و تشدید در لوله با دو انتهای باز | در دو انتهای لوله‌های صوتی با دو انتهای باز، شکم تشکیل می‌شود، بنابراین شکل سه مد نخستین در هنگام ایجاد موج ایستاده به صورت مقابل است:



نکته در لولهٔ صوتی با دو انتهای باز رابطهٔ روبه‌رو بین تعداد شکم‌ها و گره‌ها برقرار است. تعداد گره = تعداد شکم +۱

نکته مجموع گره‌ها و شکم‌ها در لولهٔ صوتی با دو انتهای باز همواره یک عدد فرد و مجموع گره‌ها و شکم‌ها در لولهٔ صوتی با یک انتهای باز همواره یک عدد زوج است.

تشدید در بطری و تشدیدگر هلمهولتز: با دمیدن در دهانهٔ یک بطری می‌توان بطری را به صدا درآورد. در واقع بطری یک لولهٔ صوتی با یک انتهای باز است. به جسمی مطابق شکل روبه‌رو که یک گردن باریک دارد، **تشدیدگر هلمهوتز** گفته می‌شود که می‌توان همانند بطری این تشدیدگر را به صدا درآورد.

نکته اگر درون بطری آب بریزیم، با افزایش ارتفاع مایع درون بطری، بسامد شنیده‌شده از بطری افزایش و در نتیجه صدای شنیده‌شده زیرتر می‌شود و با کاهش ارتفاع آب درون بطری، بسامد صدای شنیده‌شده کم‌تر و صدای شنیده‌شده بم‌تر می‌شود.

علم فیزیک به دو شاخهٔ اصلی تقسیم‌بندی می‌شود:

۱ **فیزیک کلاسیک**: بیشتر حوزه‌های فیزیک از جمله **مکانیک نیوتونی**، **ترمودینامیک** و **نظریهٔ الکترومغناطیسی** ماکسول جزء فیزیک کلاسیک می‌باشند.

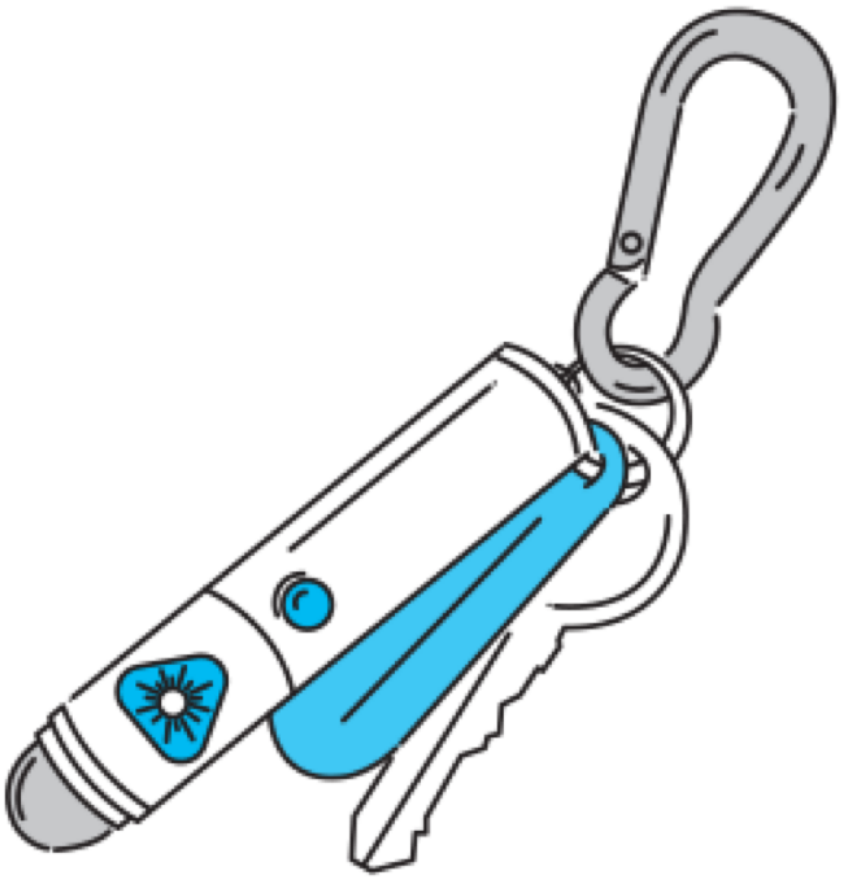
۲ **فیزیک جدید**: مجموعهٔ نظریهٔ **نسبیت خاص** (مربوط به مطالعهٔ پدیده‌ها در تندی‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با تندی نور)، نظریهٔ **نسبیت عام** (مربوط به مطالعهٔ هندسهٔ فضا ـ زمان و گرانش) و **نظریهٔ کوانتومی** (مربوط به مطالعهٔ پدیده‌ها در مقیاس‌های بسیار کوچک، مانند اتم‌ها و ذرات سازندهٔ آن‌ها) را فیزیک جدید می‌گوییم.

فوتون | در فیزیک جدید و طبق نظریهٔ اینشتین، نور به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی به نام فوتون در نظر گرفته می‌شود.

مقایسهٔ فیزیک کلاسیک در توجیه پدیدهٔ فوتوالکتریک:

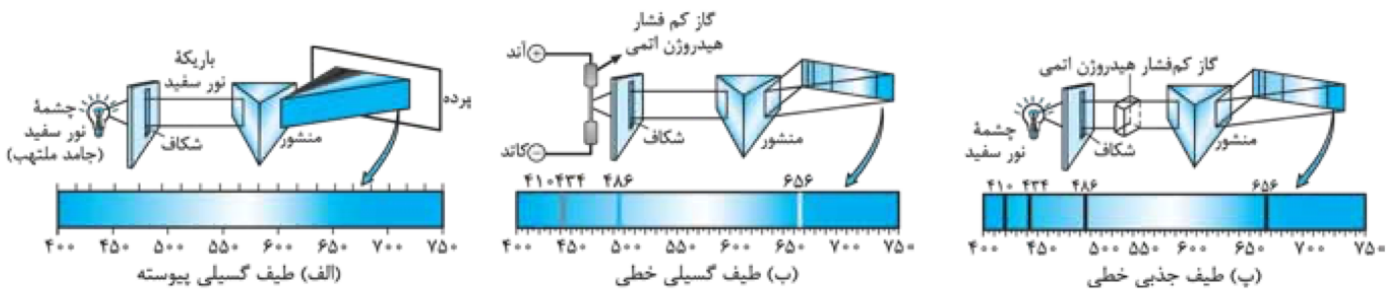
فیزیک کلاسیک	فیزیک جدید (نظریهٔ اینشتین)	نتیجهٔ آزمایش
فوتوالکتریک با هر بسامدی رخ می‌دهد.	فوتوالکتریک با بسامدهای بیشتر از بسامد آستانه یا برابر با آن رخ می‌دهد.	تأیید فیزیک جدید
بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها به شدت نور وابسته است.	بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها مستقل از شدت نور تابشی است.	تأیید فیزیک جدید

آشنایی با فیزیک اتمی



به مجموعه طول موج‌های موج الکترومغناطیسی **طیف** می‌گوییم. طیف‌های اتمی را می‌توانیم به دو دسته تقسیم کنیم، طیف‌های گسیلی و طیف‌های جذبی.

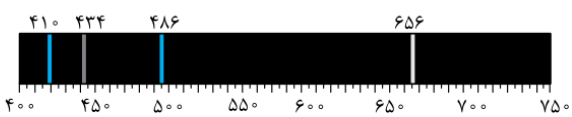
انواع طیف‌ها:
- **طیف گسیلی**:
  - **طیف گسیلی پیوسته**: مجموعهٔ طول موج‌های گسیلی از **جامدهای ملتهب** می‌باشند.
  - **طیف گسیلی خطی**: مجموعهٔ طول موج‌های گسیلی از **گاز کم‌فشار و رقیق** است.
- **طیف جذبی**: **طیف جذبی خطی**: با عبور نور سفید از یک گاز، مجموعه طول موج‌هایی به دست می‌آید که طیف جذبی خطی گاز را تشکیل می‌دهند.



در جدول زیر نوع طیف، عامل تولید، علت تشکیل و ویژگی‌های طیف‌های الکترومغناطیسی را آورده‌ایم:

نوع طیف	عامل تولید	علت تشکیل	ویژگی‌های طیف
گسیلی پیوسته	جامدهای ملتهب	برهم‌کنش قوی بین اتم‌ها	به دما بستگی دارد اما به جنس جامد بستگی ندارد.
گسیلی خطی	گازهای رقیق و کم‌فشار برانگیخته	جهش الکترون‌ها از ترازهای بالا به پایین	برای هر گاز منحصر به فرد است.
جذبی خطی	عبور نور سفید از یک گاز رقیق و کم‌فشار	جهش الکترون‌ها از ترازهای پایین به بالا	برای هر گاز منحصر به فرد است.

ویژگی‌های طیف گسیلی خطی: ۱ گسسته‌اند، یعنی فقط شامل تعدادی از طول موج‌ها هستند. ۲ هر نوع گاز، فوتون‌هایی با طول موج‌های معینی را گسیل می‌کند که از مشخصه‌های آن عنصر است، یعنی نقش خطوطی که بر روی پرده تشکیل می‌شود برای هر گاز، منحصربه‌فرد است و هیچ‌گاه نقش خطوط دو گاز متفاوت، یکسان نیست. (طیف گسیلی هر عنصر مانند اثر انگشت منحصربه‌فرد است). ۳ شدت نور خط‌ها یکسان نیست.



طیف خطی هیدروژن اتمی

طیف خطی گـاز جیـــوه

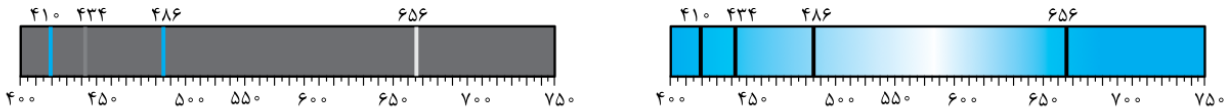
چگونگی تشکیل طیف جذبی خطی: همان‌گونه که اتم‌ها از خود نور گسیل می‌کنند، می‌توانند نور را نیز جذب کنند. در شکل (پ) آزمایشی را می‌بینیم که در آن نور سفید از ظرف حاوی گاز کم‌فشار یک عنصر عبور می‌کند و پس از عبور از منشور بر روی پرده نوارهای تاریک و ناپیوسته‌ای ایجاد می‌شود. این نوارهای تاریک نشانهٔ طول موج‌هایی از نور سفید است که گاز جذب کرده است. به این خط‌های تاریک **طیف جذبی خطی** می‌گوییم.

نکته در طیف نور خورشید، تعداد زیادی خط تیره دیده می‌شود که به دلیل جذب طول موج‌هایی توسط گازهای موجود در **جو خورشید** و **جو زمین** است که این خطوط را **خطوط فرانهوفر** می‌نامیم.

ویژگی‌های طیف جذبی خطی: ۱ گسسته‌اند، یعنی فقط تعدادی از طول موج‌ها را شامل می‌شوند. ۲ هر نوع گاز، فوتون‌هایی با طول موج‌های معینی را جذب می‌کند که از مشخصه‌های آن عنصر است، یعنی نقش خطوطی که بر روی پرده تشکیل می‌شود برای هر گاز، منحصربه‌فرد است و هیچ‌گاه نقش خطوط طیف جذبی دو گاز متفاوت، یکسان نیست.

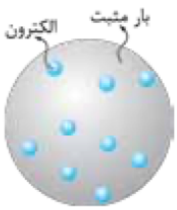
مقایسهٔ طیف گسیلی خطی و طیف جذبی خطی یک عنصر گازی: با مقایسهٔ نقش طیف گسیلی خطی و نقش طیف جذبی خطی یک عنصر (مانند هیدروژن) درمی‌یابیم که این خطوط بر هم منطبق‌اند.

در واقع اتم‌ها در هنگام داغ‌شدن (برانگیختگی) دقیقاً همان طول موج‌هایی را تابش می‌کنند که قبلاً جذب کرده‌اند.



الف) طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی

ب) طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی



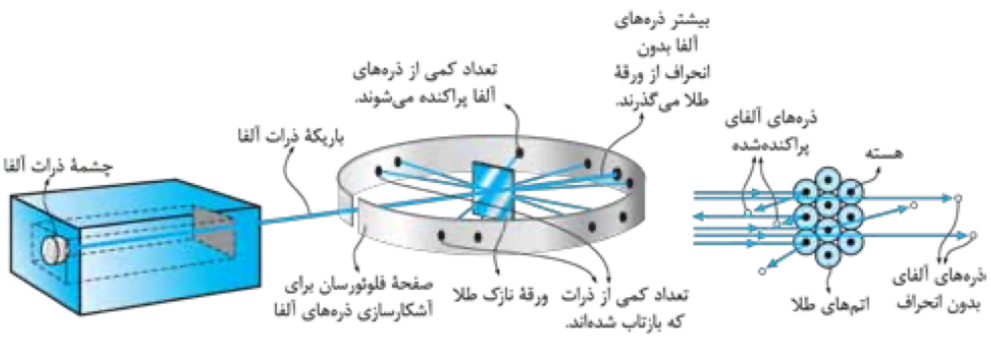
مدل اتمی تامسون | براساس مدل اتمی تامسون که به مدل کیک کشمشی معروف است، اتم مانند کره‌ای فرض شد (شکل روبه‌رو) که بارهای مثبت به صورت همگن در آن پخش شده و الکترون‌ها که جرم کم‌تری دارند در فضای کروی‌شکل اتم پراکنده‌اند.

نکته طبق مدل اتمی تامسون، الکترون‌ها با بسامد معین حول وضع تعادل خود **نوسان** می‌کنند. این نوسان باعث تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شوند.

علت ناکامی مدل اتمی تامسون: بسامدهای امواج الکترومغناطیسی گسیل‌شده از اتم که این مدل پیش‌بینی می‌کرد با تجربه سازگاری نداشت و هم‌چنین نمی‌توانست طیف خطی عناصر را توجیه کند.

نکته تامسون کاشف الکترون است و نسبت بار به جرم الکترون (e/m) را به دست آورده است.

آزمایش رادرفورد: رادرفورد و همکارانش باریکه‌ای از ذرات آلفا (ذره‌هایی با بار مثبت و از جنس هلیم یونیزه‌شده) را بر سطح ورقه‌ای بسیار نازک از جنس طلا که مانند شکل زیر توسط صفحه‌های آشکارساز احاطه شده بود، تاباندند و مشاهده کردند که تعداد زیادی از ذرات بدون انحراف یا با انحراف اندک از ورقه گذشته، تعدادی از ذرات با زاویه‌های بزرگ‌تر از مسیر خود منحرف شده و تعداد اندکی از ذرات بازتاب شده‌اند.



مدل اتمی رادرفورد: نتایج آزمایش رادرفورد، منجر به ارائهٔ مدل اتمی رادرفورد شد که به آن مدل اتم هسته‌ای یا مدل هسته‌ای اتم نیز می‌گوییم. طبق این مدل: ۱ اتم، هسته‌ای با چگالی بسیار بالا و ابعادی کوچک ($m \approx 10^{-15}$ شعاع) دارد. ۲ بار هسته مثبت است. ۳ بیشتر جرم اتم در هستهٔ آن متمرکز شده است. ۴ بیشتر فضای اتم خالی است و الکترون‌ها در فاصله‌های نسبتاً دور، هسته را احاطه کرده‌اند.

نتایج آزمایش رادرفورد کاملاً با مدل اتمی تامسون در تناقض بود به همین دلیل مدل اتمی تامسون برای همیشه کنار گذاشته شد.

دلایل ناکامی مدل اتمی رادرفورد: رادرفورد در مورد حرکت الکترون بحثی نکرد. برای وضعیت الکترون در اتم دو حالت را می‌توانیم تصور کنیم: ۱ اگر الکترون‌هایی که هسته را احاطه کرده‌اند ساکن باشند، بر اثر ربایش هسته‌ای مانند شکل روبه‌رو بر روی هسته سقوط می‌کنند که در این حالت باید اتم ناپایدار باشد. ۲ اگر الکترون‌ها مانند سیارات به دور هسته در چرخش باشند حرکت آن‌ها شتابدار است، در این صورت بنا بر قوانین فیزیک کلاسیک باید از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل کنند که بسامد این امواج با بسامد چرخش الکترون به دور هسته برابر است. اشکال در این است که گسیل این امواج رفته‌رفته باید باعث کاهش انرژی الکترون می‌گردد و در نتیجه:

شعاع مدار چرخش الکترون به دور هسته کاهش یافته و در نهایت الکترون بر روی هسته سقوط می‌کند که این عامل باعث ناپایداری اتم می‌گردد.

با کاهش تدریجی شعاع چرخش الکترون و دورهٔ تناوب آن، بسامد امواج گسیل‌شده به تدریج افزایش می‌یابد. (مانند شکل) یعنی طیف گسیلی از اتم‌ها باید پیوسته باشند.

نکته مدل اتمی رادرفورد: ۱ پایداری اتم‌ها را توجیه نمی‌کرد. ۲ توضیحی برای طیف خطی عناصر نداشت.

موفقیت‌های مدل اتمی بور: ۱ تصویری از حرکت الکترون در اتم را ارائه می‌دهد و پایداری اتم را توجیه می‌کند. ۲ توضیح درستی برای طیف گسیلی و جذبی گاز هیدورژن اتمی ارائه می‌دهد. ۳ انرژی یونش اتم هیدروژن را محاسبه می‌کند. ۴ پیش‌بینی‌های این مدل برای انرژی یونش و طیف‌های خطی اتم‌های هیدروژن‌گونه مانند Li^{+2} که یک الکترون دارند، با تجربه سازگاری خوبی دارد.

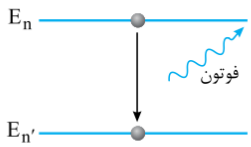
نارسایی‌های مدل اتمی بور: ۱ این مدل برای اتم‌هایی با بیش از یک الکترون کارایی ندارد. ۲ نمی‌تواند تفاوت شدت نور خط‌های طیف گسیلی را توجیه کند.

برای آشنایی با سازوکار لیزر ابتدا باید سه فرایند زیر را یاد بگیرید.

جذب فوتون: اگر به الکترونی که در تراز n' است، فوتونی را با انرژی $hf = E_n - E_{n'}$ بتابانیم، الکترون، با جذب فوتون برانگیخته شده و به تراز n جهش می‌کند.

نکته اگر انرژی فوتون دقیقاً برابر $E_n - E_{n'}$ نباشد الکترون، فوتون را جذب نمی‌کند.

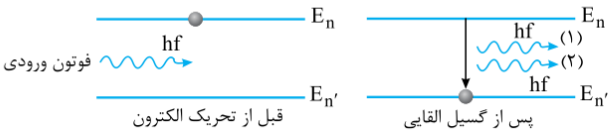
گسیل خودبه‌خودی فوتون: الکترونی ابتدا در حالت برانگیخته و در تراز n است. این الکترون به طور خودبه‌خود و بدون دخالت عوامل خارجی، با گسیل فوتونی که اندازهٔ انرژی آن برابر $hf = E_n - E_{n'}$ است به تراز پایهٔ n' گذار می‌کند. به این پدیده گسیل خودبه‌خودی گفته می‌شود. (خط‌های طیف خطی، حاصل گسیل خودبه‌خودی فوتون از گذار الکترون‌ها از تراز n به تراز n' است.)



$$X^* \rightarrow hf + X$$

جهت گسیل فوتون در این فرایند نامشخص و به صورت کاتوره‌ای است.

گسیل القایی: اگر الکترون در حالت برانگیخته، در تراز n باشد و یک عامل خارجی باعث جهش آن به تراز پایین‌تر n' شود گسیل القایی رخ داده است. همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید، عامل خارجی در گسیل القایی فوتونی است که انرژی آن دقیقاً برابر $hf = E_n - E_{n'}$ است. این فوتون الکترون را تحریک می‌کند که از تراز n به تراز n' جهش کند.



$$hf + X^* \rightarrow 2hf + X$$

ویژگی‌های گسیل القایی:

۱ یک فوتون با انرژی، $hf = E_n - E_{n'}$ وارد و دو فوتون با همان انرژی خارج می‌شود. به این ترتیب تعداد فوتون‌ها افزایش می‌یابد و نور تقویت می‌شود.

۲ فوتون گسیل‌شده در همان جهت فوتون ورودی است، پس در گسیل القایی می‌توانیم جهت تابش فوتونی که الکترون گسیل می‌کند را کنترل کنیم.

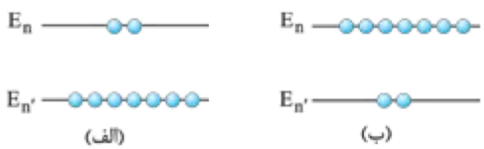
۳ از آن‌جایی که انرژی فوتون ورودی و فوتون گسیل‌شده برابر است، فوتون‌های گسیل‌شده و ورودی هم‌بسامد هستند.

۴ فوتون‌های گسیل‌شده با فوتون ورودی هم‌گام (هم‌فاز) هستند.

لیزر چیست | لیزر را می‌توان چشمهٔ نوری در نظر گرفت که تمامی پرتوهای خروجی از آن با تقریب بسیار خوبی با هم موازی‌اند. علاوه بر آن تمامی فوتون‌هایی که چشمهٔ لیزر گسیل می‌کند، **هم‌بسامد**، **هم‌جهت** و **هم‌فاز** هستند.

نکته اساس کار لیزر، گسیل القایی است.

وارونی جمعیت: در حالت عادی الکترون‌هایی که در تراز انرژی n' هستند بیشتر از تعداد الکترون‌هایی هستند که در تراز انرژی n قرار دارند (شکل الف). به روش مختلفی همچون درخشش شدید نور معمولی، تخلیه‌های ولتاژ بالا، انتقال گرما یا ... می‌توان الکترون‌های تراز n' را برانگیخته کرد تا به تراز n بروند (شکل ب). در این حالت تعداد الکترون‌های تراز n بیشتر از تعداد الکترون‌های موجود در تراز n' است. به این وضعیت وارونی جمعیت گفته می‌شود.



ترازهای شبه‌پایدار: مدت‌زمان حضور الکترون‌ها در حالت برانگیخته (تراز n) بسیار کوتاه و در حدود 10^{-8} s است و به سرعت به حالت پایه برمی‌گردند. بنابراین فرصت چندانی برای ایجاد وارونی جمعیت ایجاد نمی‌شود، اما در ماده‌ای که باریکهٔ لیزر در آن تشکیل می‌شود، ترازهایی به نام ترازهای شبه‌پایدار وجود دارد که وقتی الکترون‌های برانگیخته به آن ترازها می‌روند برای مدت‌زمان بسیار طولانی‌تری که در حدود 10^{-3} s است در این ترازها باقی می‌مانند و به کمک این ترازها می‌توان وارونی جمعیت ایجاد کرد.

مراحل چگونگی ایجاد باریکهٔ لیزر:

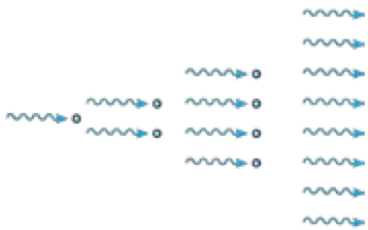
۱ ایجاد وارونی جمعیت به کمک چشمهٔ انرژی

۲ تابش یک فوتون در اثر گسیل خودبه‌خودی از یکی از اتم‌های محیط لیزری

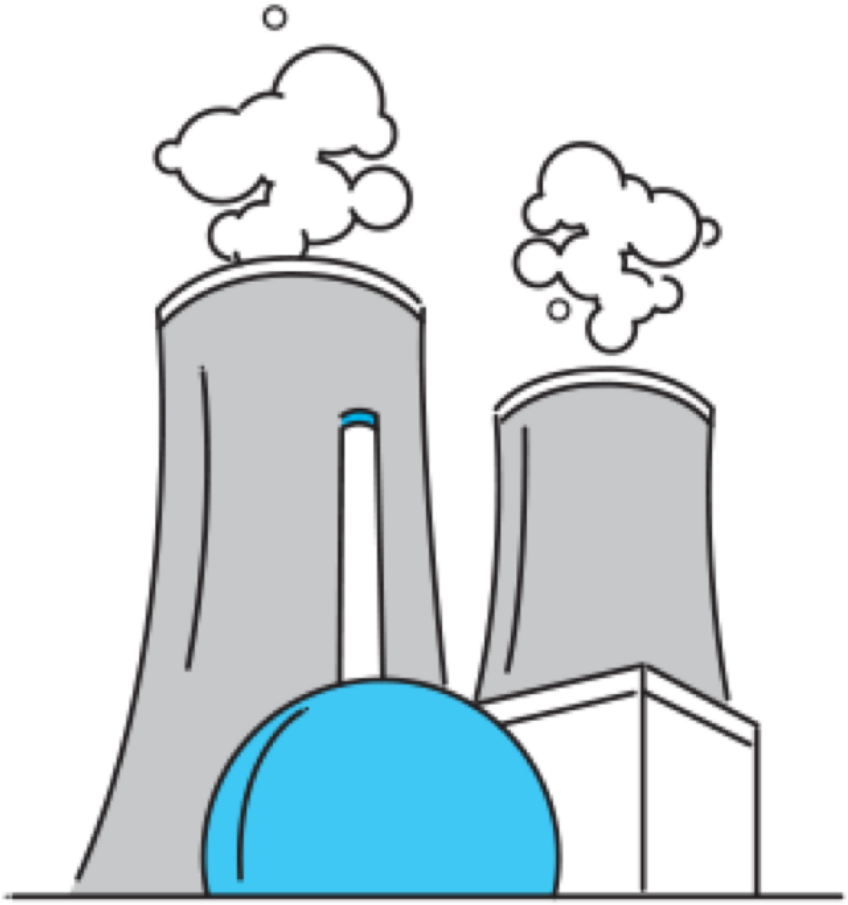
۳ ایجاد گسیل القایی به وسیلهٔ فوتون تابش‌شده در مرحلهٔ قبل در یک اتم برانگیختهٔ دیگر و گسیل دو فوتون هم‌فاز، هم‌بسامد و هم‌جهت

۴ تکرار مرحلهٔ (۳) به کمک دو فوتون ایجادشده و تشکیل فوتون‌های جدید

۵ تداوم زنجیرهٔ گسیل القایی و تشکیل مجموعه‌ای از فوتون‌های هم‌فاز، هم‌بسامد و هم‌جهت که همان باریکهٔ لیزر است.



آشنایی با فیزیک هسته‌ای



اتم از الکترون، پروتون و نوترون تشکیل شده است. در مرکز اتم، هسته و در اطراف هسته الکترون‌ها وجود دارند. تقریباً ۹۹/۹٪ جرم اتم در هستهٔ آن است اما شعاع هسته بسیار کوچک و تقریباً از مرتبهٔ 10^{-15} m، یعنی در حدود $\frac{1}{100000}$ شعاع اتم است. جرم زیاد و حجم کم هسته باعث شده که چگالی هسته بسیار زیاد و از مرتبهٔ $10^{14}\ g/cm^3$ باشد.

ذره	بار الکتریکی (C)	جرم		نیازی به حفظ کردن جدول نیست.
		کیلوگرم (kg)	یکای جرم اتمی (u)	
پروتون	$+1/6\times10^{-19}$	$1/672622\times10^{-27}$	۱/۰۰۷۲۷۶	
نوترون	۰	$1/674929\times10^{-27}$	۱/۰۰۸۶۶۴	
الکترون	$-1/6\times10^{-19}$	$9/109389\times10^{-31}$	$5/4858\times10^{-4}$	

توجه کنید در ستون آخر این جدول جرم ذرات برحسب یکای جرم اتمی (u) نوشته شده است. بنا به تعریف هر ۱ u معادل $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ۱۲ است.

ایزوتوپ‌ها

بعضی از هسته‌ها عدد اتمی یکسان، اما عدد جرمی متفاوتی دارند که به آن‌ها ایزوتوپ می‌گوییم. درواقع ایزوتوپ‌ها تعداد پروتون‌های یکسان و تعداد نوترون‌های متفاوتی دارند.

ویژگی‌های ایزوتوپ‌ها: ۱ خواص شیمیایی عناصر به تعداد پروتون‌های آن‌ها (عدد اتمی) وابسته است از این رو ایزوتوپ‌ها که عدد اتمی یکسانی دارند، خواص شیمیایی مشابهی دارند. ۲ جایگاه هسته‌هایی که عدد اتمی برابری دارند در جدول تناوبی یکسان است و برای همین به آن‌ها **ایزوتوپ** یا هم‌مکان می‌گوییم. ۳ با آن‌که خواص شیمیایی ایزوتوپ‌ها یکسان است اما به دلیل متفاوت‌بودن عدد جرمی، خصوصیت‌های فیزیکی متفاوتی دارند.

توجه کنید جرم اتمی با عدد جرمی فرق دارد. جرم اتمی هر عنصر براساس میانگین جرم اتمی ایزوتوپ‌های آن و با در نظر گرفتن درصد فراوانی هر یک از ایزوتوپ‌ها محاسبه می‌شود. (عدد جرمی یک عدد صحیح است اما جرم اتمی معمولاً یک عدد اعشاری است.)

نیروهای بین نوکلئون‌ها

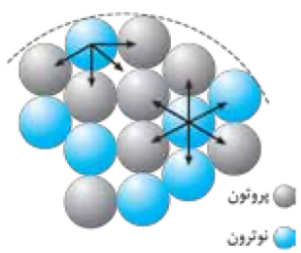
نیروی گرانشی: بین هر دو نوکلئون نیروی گرانشی به خاطر جرم آن‌ها وجود دارد. به دلیل جرم کم نوکلئون‌ها، این نیرو بسیار ناچیز است.

نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی: بین پروتون‌های هسته نیروی دافعهٔ قوی وجود دارد که می‌تواند عامل ناپایداری هسته باشد.

نیروی هسته‌ای: چون هسته پایدار است حتماً نیروی دیگری وجود دارد که بر نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی غلبه کند. نیروی بین نوکلئون‌های هسته را که عامل پایداری هسته است، نیروی هسته‌ای می‌نامیم.

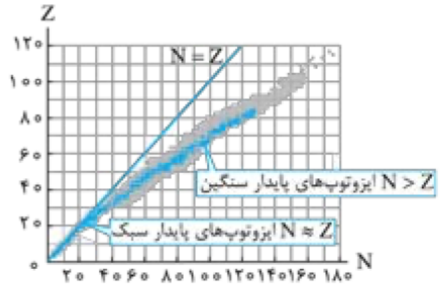
ویژگی‌های نیروی هسته‌ای

۱ نیروی هسته‌ای بین دو پروتون، دو نوترون و یک پروتون و نوترون وجود دارد و مستقل از بار الکتریکی نوکلئون‌ها است. ۲ اندازهٔ نیروی هسته‌ای بین دو پروتون یا دو نوترون یا یک پروتون و یک نوترون یکسان است. ۳ نیروی هسته‌ای کوتاه‌برد است یعنی این نیرو تقریباً بین نوکلئون‌های مجاور وجود دارد و دو نوکلئون غیرمجاور عملاً به هم نیروی هسته‌ای وارد نمی‌کنند. (شکل را ببینید.)



دلیل ناپایداری هسته‌های بزرگ

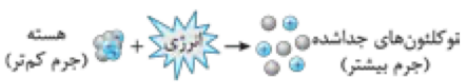
برخلاف نیروی هسته‌ای که کوتاه‌برد است نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بین پروتون‌ها برد بلندی دارد، به طوری که این نیرو تمام پروتون‌های درون هسته وارد می‌شود. با افزایش عدد اتمی و بزرگ‌ترشدن ابعاد هسته، یک پروتون بر پروتون‌های مجاور، هم نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی و هم نیروی جاذبهٔ هسته‌ای وارد می‌کند اما بر پروتون‌های دورتر فقط نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی وارد می‌کند که این امر می‌تواند باعث ناپایداری هسته گردد.



نسبت $\frac{N}{Z}$: با افزایش عدد اتمی برای پایدارماندن ایزوتوپ‌ها تعداد نوترون‌های هسته از تعداد پروتون‌های آن بیشتر افزایش می‌یابد تا جاذبهٔ هسته‌ای نوکلئون‌ها با دافعهٔ الکتروستاتیکی پروتون‌ها به توازن برسند. بنابراین با افزایش عدد اتمی نسبت $\frac{N}{Z}$ افزایش می‌یابد.

نکته ۱ اگر خطی موازی محور N رسم کنیم، نقاطی که بر روی این خط قرار می‌گیرند Zهای یکسان دارند در نتیجه ایزوتوپ‌های یک عنصر هستند. ۲ با افزایش عدد اتمی، نسبت $\frac{N}{Z}$ ایزوتوپ‌های پایدار افزایش می‌یابد. ۳ ایزوتوپ بیسموت ۲۰۹ ($^{۲۰۹}_{۸۳}Bi$) هستهٔ پایداری است که بیشترین تعداد پروتون را دارد. ۴ توریم ($Z = ۹۰$) و اورانیم ($Z = ۹۲$) تنها عناصر ناپایدارند که به دلیل واپاشی بسیار کند در طبیعت یافت می‌شوند و بقیهٔ هسته‌های با عدد اتمی بیشتر از ۸۳ ناپایدارند در طبیعت وجود ندارند. ۵ واپاشی توریم و اورانیم چنان کند است که با وجود گذشت میلیاردها سال از عمر منظومهٔ شمسی هم‌چنان در طبیعت یافت می‌شوند.

به انرژی لازم برای جداکردن نوکلئون‌های یک هسته از هم، **انرژی بستگی هسته‌ای** می‌گوییم.



نکته با دادن انرژی معادل با انرژی بستگی هسته‌ای به هسته می‌توان آن را به نوکلئون‌ها تجزیه کرد.

کاستی جرم هسته: جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهندهٔ آن کم‌تر است. به اختلاف بین جرم نوکلئون‌های هسته و جرم هسته، کاستی جرم هسته گفته می‌شود.

محاسبهٔ انرژی بستگی هسته‌ای: اگر کاستی جرم هسته برحسب کیلوگرم m باشد، انرژی بستگی هسته‌ای از رابطهٔ اینشتین به دست می‌آید: $E = mc^۲$

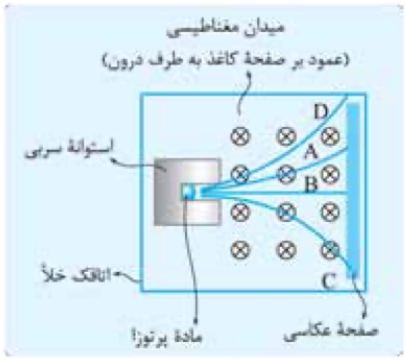
c تندی نور در خلأ و E انرژی بستگی هسته است.

توجه کنید علی‌رغم این‌که کاستی جرم هسته مقدار کوچکی است اما با توجه به این‌که $c^۲$ عدد بزرگی است ($c^۲ = ۹\times۱۰^{۱۶}\ \frac{m^۲}{s^۲}$)، انرژی بستگی هسته‌ای مقدار قابل توجهی‌خواهد شد.

کوانتیده‌بودن انرژی نوکلئون‌ها: انرژی نوکلئون‌های درون هسته نیز مانند انرژی الکترون‌های وابسته به اتم کوانتیده است، یعنی نوکلئون‌های درون هسته نمی‌توانند هر مقدار انرژی داشته باشند. نوکلئون‌ها با جذب مقدار معینی انرژی می‌توانند برانگیخته شوند و به تراز بالاتر بروند در این حالت هسته در حالت برانگیخته است و آن را با نماد $^{A}_{Z}X^{*}$ نمایش می‌دهیم.

نکته ۱ هسته‌های برانگیخته می‌توانند با گسیل فوتون از حالت برانگیختگی خارج شوند (مانند الکترون‌های برانگیخته). ۲ اختلاف ترازهای انرژی نوکلئون‌های درون هسته از مرتبهٔ keV تا MeV است، به همین دلیل انرژی فوتون‌هایی که هسته‌های برانگیخته گسیل می‌کنند نیز از مرتبهٔ keV تا MeV است. ۳ انرژی فوتون‌هایی که الکترون‌های برانگیختهٔ وابسته به اتم از خود گسیل می‌کنند از مرتبهٔ eV و بسیار کم‌تر از انرژی فوتون‌های گسیلی از هسته است. بنابراین با توجه به انرژی فوتون‌های گسیلی می‌توان فهمید که فوتون از هستهٔ اتم گسیل شده یا از گذار الکترون‌های وابسته به اتم! ۴ هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند، چون انرژی واکنش‌های شیمیایی برای این کار کافی نیست.

جمع‌بندی انواع واپاشی‌ها



۱ در تمام واپاشی‌ها مجموع تعداد نوکلئون‌های قبل و بعد از واپاشی یکسان است یعنی:
مجموع عدد جرمی دو طرف واکنش برابر است. مجموع عدد اتمی دو طرف واکنش برابر است.

۲ برای تشخیص نوع ذرات واپاشی‌شده می‌توانیم از میدان الکتریکی یا مغناطیسی کمک بگیریم. مطابق شکل روبه‌رو با توجه به جهت انحراف ذرات، جهت نیروی وارد بر ذرات تعیین شده و با استفاده از قاعدهٔ دست راست می‌توانیم بفهمیم که باریکهٔ A از نوع ذرات α، باریکهٔ B از نوع پرتوهای γ، باریکهٔ C از نوع β^- و باریکهٔ D از جنس β^+ است.

۳ همهٔ واپاشی‌های بالا را در یک جدول به صورت زیر می‌توانیم خلاصه کنیم:

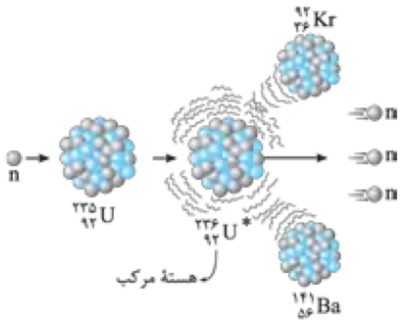
نام واپاشی	ذره یا پرتوی تابش‌شده	هستهٔ مادر	هستهٔ دختر	تغییر مکان در جدول تناوبی عنصرها	معادلهٔ واکنش
α	${}^{4}_{2}He$	${}^{A}_{Z}X$	${}^{A-4}_{Z-2}Y$	دو خانه به عقب	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + \alpha$
β^-	${}^{0}_{-1}e^-$	${}^{A}_{Z}X$	${}^{A}_{Z+1}Y$	یک خانه به جلو	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + \beta^-$
β^+	${}^{0}_{+1}e^+$	${}^{A}_{Z}X$	${}^{A}_{Z-1}Y$	یک خانه به عقب	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \beta^+$
γ	${}^{0}_{0}\gamma$	${}^{A}_{Z}X^*$	${}^{A}_{Z}X$	بدون تغییر	${}^{A}_{Z}X^* \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$

۴ مقایسهٔ میزان نفوذ پرتوهای α، β و γ در سرب به صورت روبه‌رو است:
میزان نفوذ α < میزان نفوذ β < میزان نفوذ γ

به فرایند تقسیم یک هستهٔ سنگین به دو هسته با جرم کم‌تر، شکافت هسته‌ای می‌گوییم. شکافت هستهٔ اورانیم ۲۳۵ را به عنوان نمونهٔ مهم شکافت بررسی می‌کنیم.

مراحل شکافت هستهٔ ^{235}U

۱ هستهٔ ^{235}U با جذب یک نوترون کند (که انرژی جنبشی آن در حدود $0/04\ eV$ است) به هستهٔ ناپایدار $^{236}U^*$ تبدیل می‌شود. ۲ هستهٔ $^{236}U^*$ شروع به ارتعاش کرده و تغییر شکل می‌دهد. ۳ بر اثر ارتعاش ایجادشده تغییر شکلی جدی در هسته رخ می‌دهد که باعث می‌شود توازن بین نیروی جاذبهٔ هسته‌ای و نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی به هم بخورد، به همین علت پس از مدت کوتاهی (از مرتبهٔ $10^{-12}\ s$) هستهٔ مرکب $^{236}U^*$ به دو هستهٔ سبک‌تر و تعدادی نوترون، شکافته می‌شود.



نکته در فرایند شکافت ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵ محصولات شکافت می‌توانند متفاوت باشند.

مثلاً به دو نمونه‌ای که در کتاب درسی به آن اشاره شده است توجه کنید:

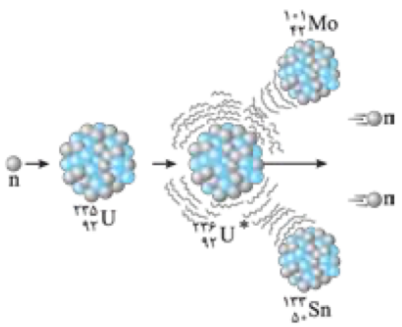
۱ $$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{92}U^* \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n$$

محصولات این شکافت، هسته‌های سبک‌تر باریم ۱۴۱ و کریپتون ۹۲ به همراه ۳ نوترون است.

۲ $$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{92}U^* \rightarrow {}^{133}_{50}Sn + {}^{101}_{42}Mo + 2\,{}^{1}_{0}n$$

محصولات این شکافت، ایزوتوپ قلع ۱۳۳ و ایزوتوپ مولیبدن ۱۰۱ به همراه ۲ نوترون است.

نکته در شکافت هسته‌ای مجموع جرم محصولات شکافت کم‌تر از جرم هستهٔ مرکب است. اگر این اختلاف جرم را در رابطهٔ $E = mc^2$ قرار دهیم، گرمای حاصل از شکافت را می‌توانیم به دست آوریم.



نکته پس از شکافت، انرژی محصولات شکافت عمدتاً به صورت انرژی جنبشی است و مجموع انرژی‌های آزادشده در هر شکافت در حدود $200\ MeV$ است.

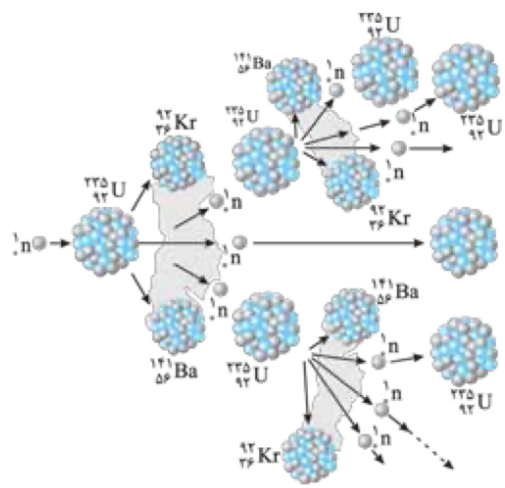
توجه کنید برای درک بهتر اندازهٔ انرژی آزادشده از هر شکافت باید بگوییم که در انفجار TNT، انرژی آزادشده به ازای هر مولکول در حدود $30\ eV$ است، یعنی انرژی آزادشده از یک واکنش شکافت هسته‌ای 10^7 مرتبه بزرگ‌تر از انرژی آزادشده در انفجار یک مولکول TNT است.

واکنش زنجیره‌ای

همان‌طور که گفتیم ایزوتوپ ^{235}U با جذب یک نوترون کند، شکافته شده و به دو هستهٔ سبک‌تر و چند نوترون تبدیل می‌شود.

مثلاً اگر محصولات شکافت کریپتون ۹۲ و باریم ۱۴۱ باشند، ۳ نوترون آزاد می‌شود. این نوترون‌ها پس از کندشدن جذب هسته‌های دیگر ^{235}U شده و باعث شکافت ۳ هستهٔ ^{235}U دیگر می‌شود. پس از شکافت این ۳ هسته ۹ نوترون آزاد می‌گردد این نوترون‌ها نیز توسط هسته‌های دیگر جذب شده و به طور زنجیروار شکافت‌های بعدی رخ می‌دهد، به شکافت‌های پی‌درپی‌ای که به این صورت رخ می‌دهند، واکنش زنجیری می‌گوییم.

در شکل مقابل واکنش زنجیره‌ای را مشاهده می‌کنید که در هر شکافت آن ۳ نوترون آزاد می‌شود.



سؤال: چرا در معادن سنگ معدن اورانیم واکنش زنجیری به صورت طبیعی رخ نمی‌دهد؟

درصد فراوانی ایزوتوپ ^{235}U در طبیعت ۰/۷۲ و درصد فراوانی ایزوتوپ ^{238}U در حدود ۹۹/۲۸ است. به همین دلیل در سنگ معدن اورانیم به ازای هر ۱۴۰ اتم اورانیم یکی از آن‌ها اتم اورانیم ۲۳۵ و بقیه اتم اورانیم ۲۳۸ است. از طرفی احتمال شکافت هستهٔ ایزوتوپ ^{238}U با جذب نوترون کند بسیار کم است پس اگر نوترون کندی به سنگ معدن اورانیم برسد با احتمال زیاد توسط هسته‌های ایزوتوپ ^{238}U جذب می‌شود و شکافتی رخ نمی‌دهد.

غنی‌سازی اورانیم

به فرایندی که طی آن درصد غلظت تعداد هسته‌های ایزوتوپ ^{235}U در یک نمونه اورانیم افزایش یابد، غنی‌سازی اورانیم می‌گوییم.

نکته در نیروگاه‌های تجاری تولید برق از اورانیم ۳٪ غنی‌شده استفاده می‌شود.

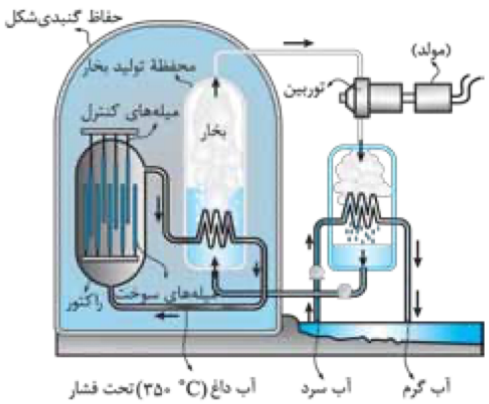
نکته در راکتورهای تحقیقاتی از اورانیم ۲۰٪ غنی‌شده استفاده می‌شود.

راکتورهای شکافت هسته‌ای: راکتور هسته‌ای جایی است که در آن واکنش زنجیری شکافت به طور کنترل‌شده رخ می‌دهد.

ساختار راکتور شکافت هسته‌ای

۱ **قلب راکتور**: جایی که در آن شکافت زنجیری رخ می‌دهد و میله‌های ^{235}U، ۳٪ غنی‌سازی‌شده به طول ۱ cm و به تعداد زیاد در آن‌جا قرار می‌گیرد.

۲ **مواد کندساز**: نوترون‌های آزادشده از شکافت، پرانرژی و اصطلاحاً نوترون تند هستند. این نوترون‌ها با احتمال بیشتری جذب ایزوتوپ ^{238}U می‌شوند که شکافته نمی‌شوند. برای افزایش احتمال جذب نوترون توسط ^{235}U باید نوترون‌ها کند شوند به همین علت از موادی مانند **آب معمولی** H_2O، **آب سنگین** D_2O و **گرافیت** به عنوان کندساز نوترون‌ها در راکتورها استفاده می‌کنیم.

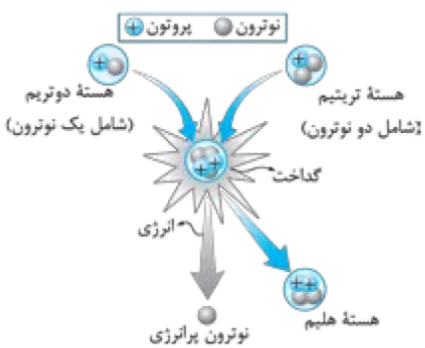


۳ **کنترل‌کننده‌ها**: کنترل‌کننده‌ها با جذب نوترون‌های اضافی آهنگ واکنش زنجیری را کنترل می‌کنند. میله‌های کنترل معمولاً از موادی مانند کادمیم و بور ساخته می‌شوند.

نکته در راکتورهای آب تحت‌فشار (PWR)، آب تحت فشار راکتور را احاطه کرده و انرژی آزادشده از سوخت هسته‌ای را طی فرایندهای ترمودینامیکی به کار تبدیل می‌کند.

گداخت (همجوشی) هسته‌ای

نوع دیگری از واکنش هسته‌ای گداخت یا همجوشی است که در آن دو هستهٔ سبک با هم ترکیب شده و هستهٔ سنگین‌تری می‌سازند. مثلاً همان‌طور که در شکل می‌بینید هسته‌های دوتریم و تریتیم با هم دچار همجوشی شده و یک هستهٔ هلیم به همراه یک نوترون پرانرژی تولید می‌کنند:



$$D + T \rightarrow {}^{4}_{2}He + n$$

نکته ۱ جرم محصولات گداخت از جرم اولیهٔ این هسته‌ها کم‌تر و این اختلاف جرم به انرژی تبدیل شده است. اگر m اختلاف جرم محصولات گداخت و جرم اولیهٔ هسته‌ها باشد، اندازهٔ انرژی آزادشده از فرایند گرافت را می‌توانیم از رابطه $E = mc^2$ به دست آوریم. ۲ گداخت معمولاً در ستاره‌ها (مثل خورشید) رخ می‌دهد. به این علت که برای فراهم‌کردن شرایط گداخت به فشار و دمای بسیار بالایی نیاز است. مثلاً دمای لازم برای شروع گداخت دوتریم ـ تریتیم در حدود ۱۰ میلیون درجهٔ سلسیوس است. بنابراین در ستاره‌ای همچون خورشید که دمای درونی آن در حدود ۲۰ میلیون درجهٔ سلسیوس است. گداخت هسته‌ای رخ می‌دهد. ۳ تاکنون راکتورهای گداخت به صورت تجاری ساخته نشده است. ۴ در واکنش گداخت برای نزدیک‌شدن دو هستهٔ سبک به هم به دمای بسیار بالا نیاز است.