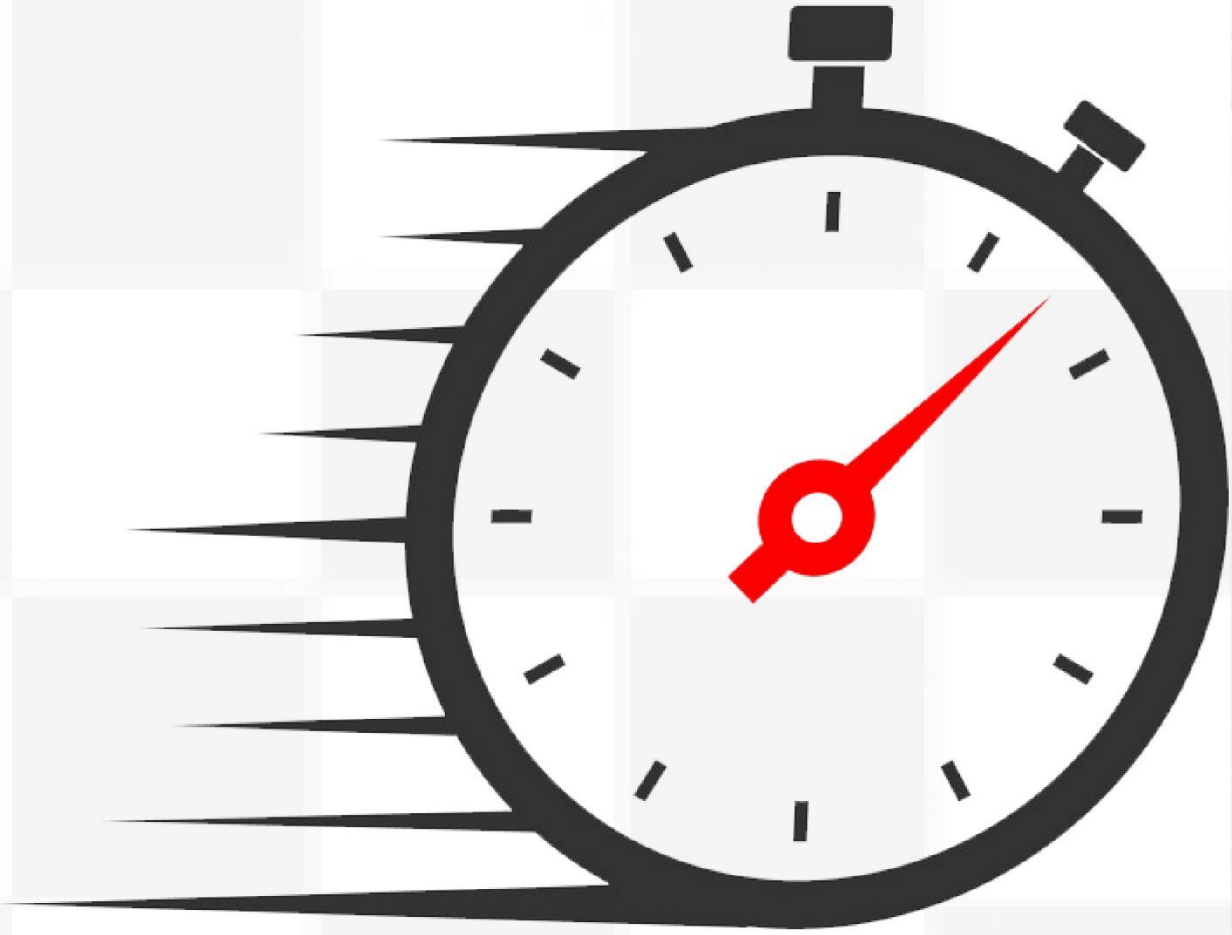
جزوه جمع بندی

فیزیک

کنکور ۱۴ صفر یک



درس نامه، خلاصه، جدول بندی و
تیپ بندی

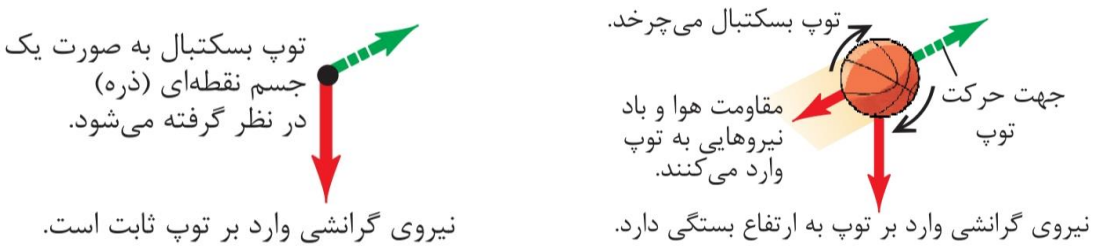
به قلم مهندس علی عاقلی

فیزیک ۱ - فصل ۱: فیزیک و اندازه‌گیری

تصاویر

۱- مدل‌سازی در فیزیک

فیزیکدان‌ها برای ساده‌سازی یک پدیدهٔ پیچیدهٔ فیزیکی، از مدل‌سازی استفاده می‌کنند. مدل‌سازی در فیزیک، فرآیندی که طی آن یک پدیدهٔ فیزیک آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان تحلیل و بررسی آن فراهم شود. در شکل زیر، مدل‌سازی توپ بسکتبال را می‌بینید.

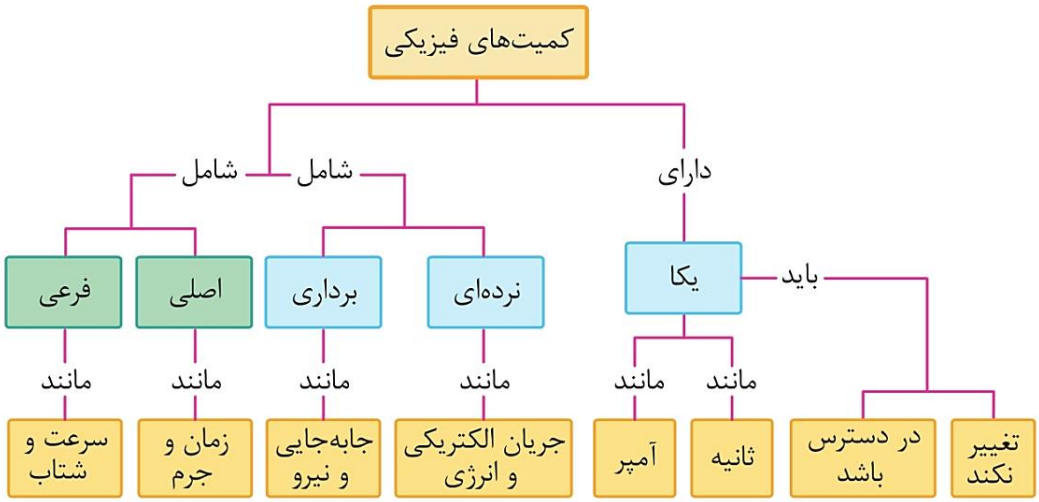


(الف) توپ بسکتبال در هوا (ب) مدل آرمانی توپ بسکتبال

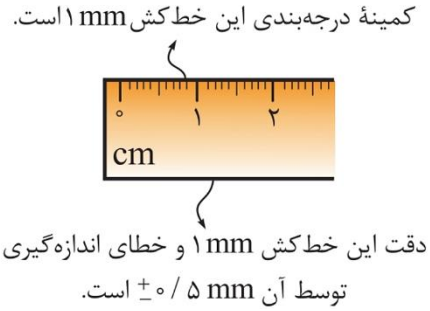
توجه: در مدل‌سازی، باید اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم، نه عوامل مهم و تأثیرگذار را!

۲- کمیت‌های فیزیک

در نقشهٔ زیر، انواع تقسیم‌بندی کمیت‌ها را می‌بینید.



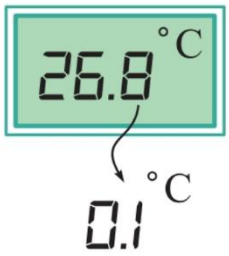
۳- دقت و خطای اندازه‌گیری ابزارهای مدرج



دقت اندازه‌گیری این ابزارها، برابر کمینهٔ درجه‌بندی و خطای اندازه‌گیری آن، $\pm \frac{۱}{۲}$ کمینهٔ تقسیم‌بندی آن وسیله است. برای درک بهتر، شکل مقابل را ببینید.

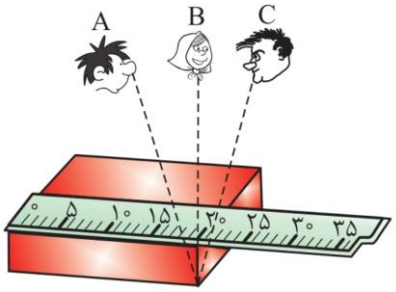
دقت این خط‌کش ۱mm و خطای اندازه‌گیری توسط آن $۰/۵\ mm \pm$ است.

۴- دقت وخطای اندازه‌گیری ابزارهای دیجیتال (رقمی)



دقت این ابزارها، برابر یک واحد از آخرین رقمی است که آن ابزار می‌خواند. مثلاً در دماسنج مقابل، آخرین رقم $۰/۸^\circ C$ است. پس دقت وسیله $۰/۱^\circ C$ می‌شود. خطای اندازه‌گیری هم مثبت و منفی دقت وسیله است. پس خطای اندازه‌گیری این وسیله هم $\pm ۰/۱^\circ C$ می‌شود.

۵- مهارت شخص آزمایشگر



خطای مشاهده، به‌خاطر زاویهٔ دید، در خواندن و گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری تأثیر زیادی دارد. مثلاً در شکل روبه‌رو شخص B به‌خاطر زاویهٔ دید بهتر دقت بیشتری دارد.

مفاهیم

۱- دانشمندان فیزیک برای توصیف پدیده‌های گوناگون طبیعت، اغلب از قانون، مدل و نظریهٔ فیزیکی استفاده می‌کنند.

۲- چون فیزیک علم تجربی است، باید صحت قوانین، مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی به کمک **آزمایش** مورد **آزمون** قرار می‌گیرند.

۳- مدل‌ها ونظریه‌های فیزیکی در طول زمان، همواره معتبر **نیستند** و ممکن است دچار **تغییر** یا **بازنگری** یا **جایگزینی** با یک مدل و نظریهٔ جدید شوند.

۴- **ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های فیزیکی**، نقطهٔ قوت دانش فیزیک است.

۵- **مهم‌ترین** عامل در پیشرفت و تکامل علم فیزیک، **تفکر نقادانه و اندیشه‌ورزی فعال فیزیکدانان** است.

۶- **قانون فیزیکی: رابطهٔ بین برخی از کمیت‌های فیزیکی** را توصیف می‌کند، با دامنهٔ وسیعی از پدیده‌های طبیعی سازگار است و اغلب برای بیان آن از **گزاره‌های کلی** و در عین حال مختصر استفاده می‌کنند.

۷- **اصل فیزیکی و تفاوت آن با قانون فیزیکی:** مثل قانون فیزیکی، ارتباط بین بعضی از کمیت‌ها را بیان می‌کند، اما برای توصیف دامنهٔ محدودتری از پدیده‌های فیزیکی به‌کار می‌رود.

۸- **مدل‌سازی:** فرایندی که طی آن، یک پدیدهٔ فیزیکی آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا بتوان آن را بررسی و تحلیل کرد.

۹- **کمیت:** هر چیزی که بتوان آن را به‌صورت کمی (عددی) اندازه گرفت.

۱۰- **یکا:** برای اندازه‌گیری یک کمیت، نیاز به یک مقدار مشخص و قراردادی داریم که به آن یکا می‌گویند.

توجه: یکا باید تغییر نکند و دارای قابلیت بازتولید در مکان‌های مختلف باشد.

۱۱- **کمیت نرده‌ای (اسکالر):** این کمیت **اندازه** دارد، ولی **جهت ندارد.**

۱۲- **کمیت برداری:** این کمیت **هم اندازه** دارد، **هم جهت!**

منظور از جهت، جهت برداری است، نه هر جهتی! مثلاً جریان الکتریکی در مدار جهت دارد، اما یک کمیت نرده‌ای حساب می‌شود.

۱۳- **دستگاه بین‌المللی (SI):** مجموعهٔ یکاهایی که مورد توافق بین‌المللی است.

۱۴- هفت کمیت که یکاهای آن‌ها به‌طور مستقل تعریف شده، **کمیت اصلی** و مابقی کمیت‌ها که یکاهای آن‌ها وابسته به یکاهای اصلی هستند، **کمیت فرعی**‌اند.

۱۵- به یکای کمیت‌های اصلی، **یکای اصلی** و به یکای کمیت‌های فرعی، یکای **فرعی** می‌گویند.

۱۶- **سازگاری یکاها:** برای درست بودن یک رابطهٔ فیزیکی، باید یکاهای دو طرف رابطه با هم یکسان باشد.

۱۷- **عوامل مؤثر در دقت اندازه‌گیری:** سه عامل در افزایش دقت اندازه‌گیری تأثیر دارد: الف) دقت وسیلهٔ اندازه‌گیری ب) مهارت شخص آزمایشگر پ) تعداد دفعات اندازه‌گیری

۱۸- **رقم‌های بامعنا:** رقم‌هایی که در گزارش یک اندازه‌گیری بیان می‌شود.

۱۹- **رقم غیرقطعی:** آخرین رقم سمت **راست** بامعنا.

۲۰- **رقم حدسی:** آخرین رقم سمت راست بامعنا (رقم غیرقطعی) در **وسایل درجه‌بندی‌شده.**

۲۱- **گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری:** یک گزارش اندازه‌گیری درست و کاملاً دو بخش دارد:

الف) اندازهٔ کمیت اندازه‌گیری‌شده ب) میزان خطای وسیله

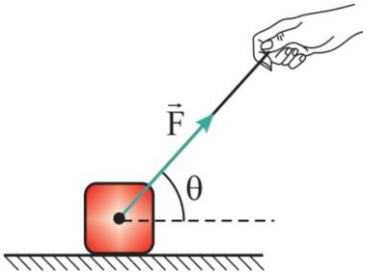
در گزارش اندازه‌گیری، تعداد رقم‌های بامعنای کمیت اندازه‌گیری‌شده و خطای آن باید یکسان باشد.

۲۲- **چگالی:** به جرم واحد حجم از **هر جسمی،** گفته می‌شود.

فصل ۲: کار، انرژی و توان

تصاویر

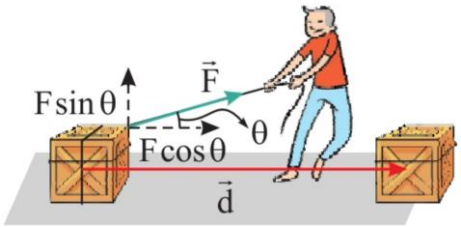
۱- تجزیهٔ برداری نیرو به‌صورت بردار یکه



اگر بردار نیرو (یا هر بردار دیگری) با سطح افق زاویهٔ θ بسازد، می‌توان این بردار را در **راستای افقی** (x) و عمودی (y) به‌صورت زیر تجزیه کرد:

$$\vec{F} = F\cos\theta\vec{i} + F\sin\theta\vec{j}$$

۲- کار



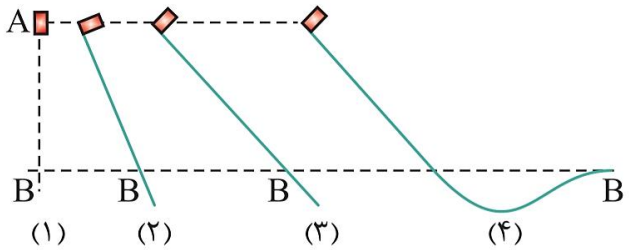
در صورتی که مثل شکل رو به رو، به جسمی نیروی ثابت $\vec{F}$ وارد شود و آن را به اندازهٔ d جابه‌جا کند، کار انجام‌شده از این رابطه به‌دست می‌آید:

$$W = (F\cos\theta)d$$

θ زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی ($\vec{d}$) و بردار ($\vec{F}$) است.

۳- بررسی کار نیروهای پایستار در مسیرهای مختلف

درشکل زیر، اگر هر چهار جسم از حال سکون رها شوند و اصطکاک وجود نداشته باشد، بعد از این رسیدن به نقطهٔ B:



۱- تغییر انرژی پتانسیل در هر ۴ مسیر یکسان است.

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3 = \Delta U_4$$

۲- سرعت و انرژی جنبشی اجسام در این نقطه، یکسان است.

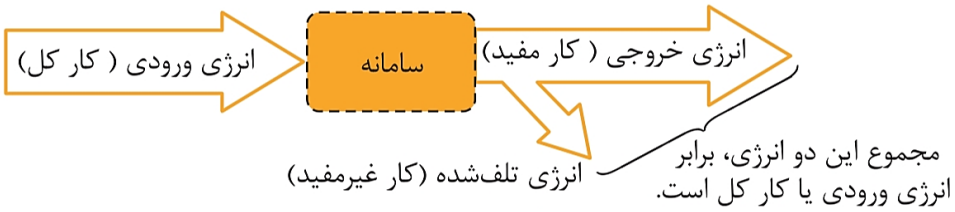
$$v_1 = v_2 = v_3 = v_4 \quad , \quad K_1 = K_2 = K_3 = K_4$$

نتیجه: کار نیروهای پایستار فقط به نقطهٔ آغاز و پایان حرکت بستگی دارد.

توجه: منظور از نیروهای پایستار نیروهایی مثل نیروی وزن، فنر و نیروی الکتریکی است.

۴- بازده

تنها بخشی از انرژی ورودی به دستگاه به انرژی موردنظر ما تبدیل می‌شود و مقدار قابل توجهی از آن برخلاف میل ما، به‌صورت گرما تلف می‌شود. به‌خاطر همین به آن بخش قابل استفادهٔ انرژی ورودی، انرژی خروجی یا انرژی مفید و به آن بخش تلف‌شدهٔ انرژی، کار غیرمفید می گویند. در شکل زیر، طرح کلی یک سامانه را می‌بینید.



مفاهیم

۱- **انرژی جنبشی (حرکتی):** انرژی وابسته به حرکت یک جسم.

۲- **انرژی پتانسیل:** اجسام به‌خاطر موقعیت مکانی‌شان در یک سامانه، می‌توانند کار انجام دهند. به توانایی انجام این کار، انرژی پتانسیل می‌گویند.

۳- **قضیهٔ کار- انرژی جنبشی:** بین کار کل انجام‌شده روی یک جسم و تغییر انرژی جنبشی آن یک رابطهٔ تساوی وجود دارد که به قضیهٔ کار- انرژی جنبشی معروف است.

۴- کار **نیروی وزن (گرانش)، نیروی فنر (کشسانی) و نیروی الکتریکی** باعث تغییر انرژی پتانسیل می‌شود.

۵- **انرژی مکانیکی:** مجموع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی هر جسم.

۶- **اصل پایستگی انرژی مکانیکی:** در صورت نبود نیروهای اتلافی (ناپایستار)، انرژی مکانیکی جسم در تمام نقاط مسیر، ثابت (پایسته) می‌ماند.

۷- **انرژی درونی:** به مجموع انرژی‌های ذره‌های تشکیل‌دهندهٔ یک جسم می‌گویند.

۸- **قانون پایستگی انرژی:** انرژی را نه می‌شود به‌وجود آورد، نه می‌شود از بین برد. تنها می‌توان آن را از یک شکل به شکل دیگری تبدیل کرد.

۹- **سامانهٔ منزوی است:** سامانه‌ای که نه از محیط اطراف انرژی بگیرد ونه به محیط اطراف انرژی بدهد.

۱۰- در یک سامانهٔ منزوی، مجموع کل انرژی‌ها پایسته (ثابت) می‌ماند.

۱۱- **توان:** آهنگ انجام کار.

فصل ۳: ویژگی‌های فیزیک مواد

تصاویر

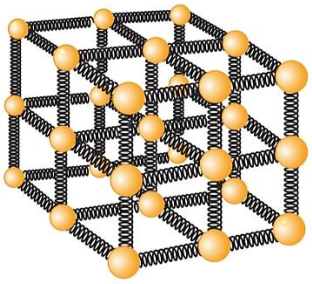
۱- جامد بلورین

اتم‌ها این نوع جامد، در الگوهای سه‌بعدی **منظمی** کنار هم قرار می‌گیرند. از تکرار میلیاردها میلیارد از این الگوها، جامدهای بلورین ساخته می‌شود.

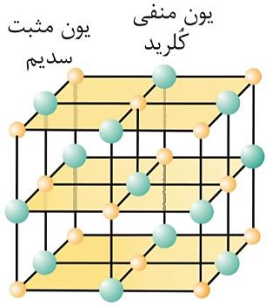
فلزها، نمک‌ها، الماس، یخ و اکثر مواد معدنی جامد بلورین هستند.

نمونه: نحوهٔ تشکیل جامد بلورین: زمانی که یک مایع را به آهستگی سرد کنیم، ذرات سازندهٔ مایع وقت کافی دارند تا در الگوهای منظم خود را مرتب کنند.

در شکل (الف) مدل بلورین یک فلز و شکل (ب) ساختار بلورین نمک طعام ($NaCl$) را نشان می‌دهد.



(الف)

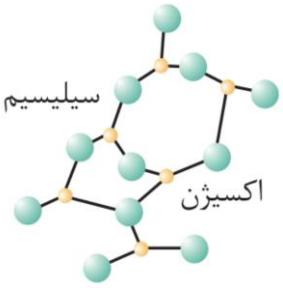


(ب)

۲- جامد بی‌شکل (آمورف)

اتم‌های این نوع جامد، برخلاف جامدهای بلورین، نظم و الگوی مشخص **ندارند.**

نمونه: شیشه و قیر سفت، مثالی از یک جامد بی‌شکل‌اند.



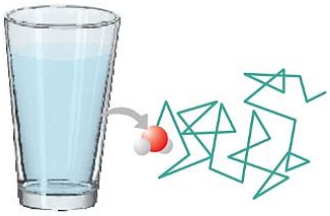
نحوهٔ تشکیل جامد بی‌شکل: زمانی که یک مایع **به سرعت** سرد شود، ذرات سازندهٔ آن وقت کافی ندارند تا در یک طرح و الگوی منظم مرتب شود، برای همین در همان طرح نامنظم مایع باقی می‌ماند.

شکل روبه‌رو، ساختار شیشه را نشان می‌دهد.

۳- پدیدهٔ پخش در مایع‌ها

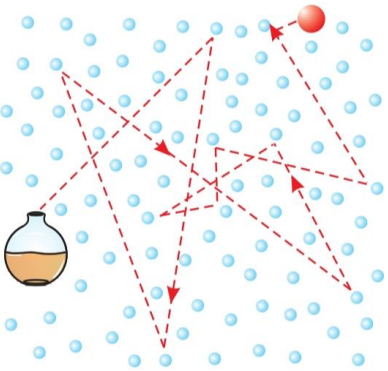
در شکل (الف)، پخش ذرات جوهر در آب را می‌بینید. دلیل پخش جوهر یا هر ماده‌ای دیگر در یک مایع دلخواه به‌خاطر **حرکت‌های نامنظم کاتوره‌ای (تصادفی)** مایع‌ها و **برخورد** آن‌ها با ذرات سازندهٔ مادهٔ حل‌شده (مثل جوهر یا نمک) است. شکل (ب) هم طرح کلی حرکت کاتوره‌ای یک مولکول آب را نشان می‌دهد.

(الف)



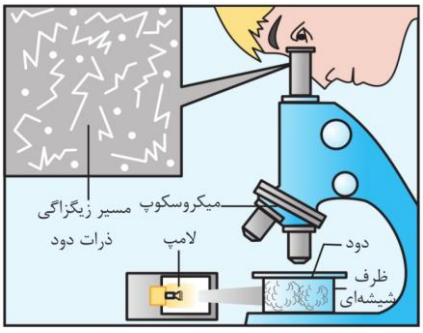
(ب)

۴- پدیدهٔ پخش در گازها



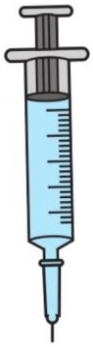
در شکل روبه‌رو، پخش شدن مولکول‌های عطر توسط مولکول‌های هوا را می‌بینید. دلیل این اتفاق، مثل مایع‌ها، حرکت نامنظم و کاتوره‌ای مولکول‌های گاز و برخوردهای متوالی آن‌ها با ذرات پخش‌شده (عطر) است.

۵- حرکت براونی



در شکل روبه‌رو، ذره‌های دود به‌طور نامنظم و درهم و برهم در یک مسیر زیگزاگی حرکت می‌کنند. به این نوع حرکت، حرکت براونی می‌گویند. دلیل این اتفاق، برخورد مولکول‌های دود با مولکول هوا است.

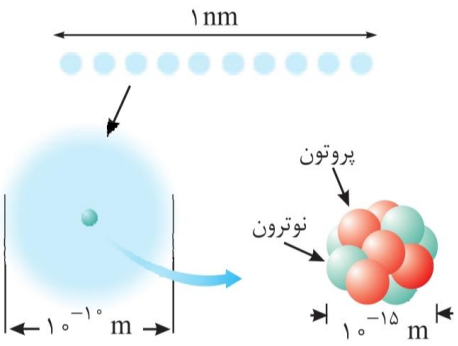
۶- تفاوت مایع‌ها و گازها



سرنگی مثل شکل روبه‌رو را یک بار پر از هوا و یک بار پر از آب می‌کنیم و انتهای آن را می‌بندیم. مشاهده می‌کنیم که سرنگ پر از هوا کمی متراکم می‌شود، اما برای آب چنین اتفاقی نمی‌افتد.

نتیجه: مایع‌ها تراکم‌ناپذیر و گازها، تراکم‌پذیر هستند.

۷- ابعاد نانو



برای درک بهتر یک نانومتر، کافی است ده اتم کربن را در کنار هم قرار دهید! دقت کنید که ابعاد هستهٔ اتم کربن در حدود یک فمتومتر ($۱۰^{-۱۵}m$) و قطر اتم در حدود یک انگستروم ($۱۰^{-۱۰}m$) است.

۸- کشش سطحی

در چهار شکل زیر، نمونه‌هایی از کشش سطحی را می‌بینید. دلیل این اتفاق، **نیروی هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع** است. در واقع نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های سطح مایع **بیشتر** از نیروی هم‌چسبی مولکول‌های داخل مایع است و همین موضوع، باعث پدیدهٔ کشش سطحی می‌شود.

نشستن حشره
بر روی سطح آب

قرارگرفتن گیرهٔ فلزی
روی سطح آب

۹- تأثیر افزایش دما بر نیروی هم‌چسبی

با افزایش دما، نیروی هم‌چسبی کم می‌شود. به‌خاطر همین، کشش سطحی هم کاهش می‌یابد و باعث می‌شود قطره‌های مایع کوچک‌تر شود. $T_2 > T_1$

تشکیل حباب‌های
آب و صابون

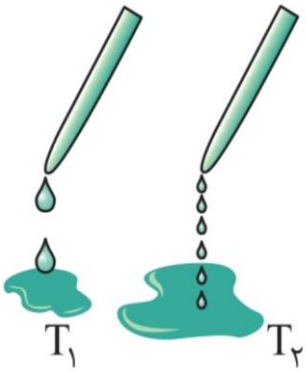
قطره‌های کروی آب
در حال سقوط آزاد

۱۰- ترشوندگی

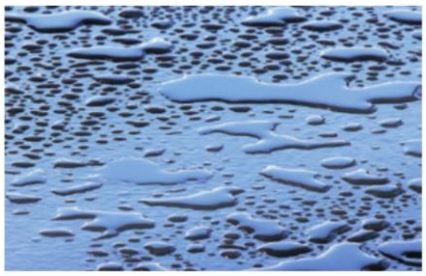
هر وقت مایعی در تماس با جامدی قرار بگیرد:

۱) اگر نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد **بیشتر** از نیروی هم‌چسبی مولکول‌های مایع باشد، مایع جامد را تر (خیس) می‌کند. (شکل الف)

۲) اگر نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد **کم‌تر** از نیروهای هم‌چسبی مولکول‌های مایع باشد، مایع جامد را تر نمی‌کند. (شکل ب)



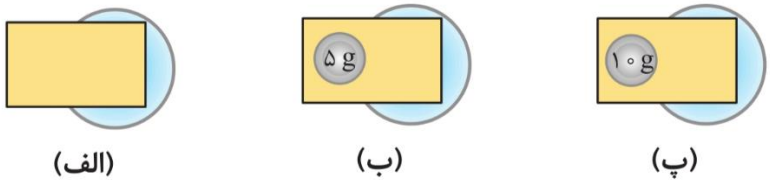
الف) پخش آب روی سطح شیشه



ب) قطره‌ای شدن جیوه

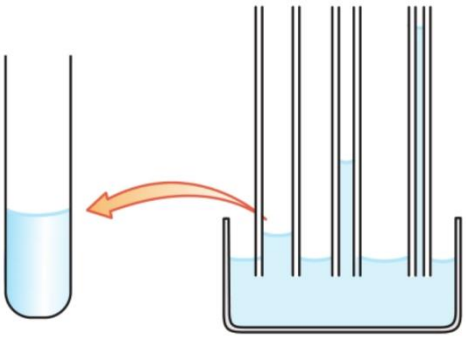
۱۱- آزمایش برای درک نیروی دگرچسبی

در شکل‌های (الف) تا (پ) یک لیوان پر از آب، یک کارت بانکی و وزنه‌های کوچک ۵ گرمی، ۱۰گرمی و... را می‌بینید. همان‌طور که پیدا است، کارت طوری روی لبهٔ لیوان قرار دارد که فقط نیمی از آن در تماس با آب باشد. با قرار دادن این وزنه‌ها، می‌توان فهمید که نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و کارت چه‌قدر است. (همان‌جایی که کارت در آستانهٔ جدا شدن از سطح آب قرار می‌گیرد، نیروی دگرچسبی به بیشترین مقدار خود می‌رسد.)



نکته: اضافه کردن یکی دو قطرهٔ مایع ظرف‌شویی (ناخالصی)، باعث کاهش نیروی دگرچسبی می‌شود و می‌توان با وزنهٔ کوچک‌تری کارت را از سطح آب جدا کرد.

۱۲- اثر مویینگی برای آب در لوله‌های مویین



اگر چند لولهٔ مویین شیشه‌ای و تمیز را وارد یک ظرف آب کنیم:

۱) آب در لوله‌ها بالا می‌رود و **بالاتر از سطح آب** ظرف قرار می‌گیرد.

۲) هرچه **قطر** لولهٔ مویین **کم‌تر** باشد، **ارتفاع** ستون آب **بیشتر** می‌شود.

۳) سطح آب در لولهٔ مویین فرو رفته است.

نکته: هر وقت نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و دیوارهٔ لولهٔ مویین بیشتر از نیروی هم‌چسبی مولکول‌های مایع باشد، مایع از لوله بالا می‌رود و سطح آن فرورفته (کاو) می‌شود.

۱۳-اثر مویینگی برای جیوه در لوله‌های مویین

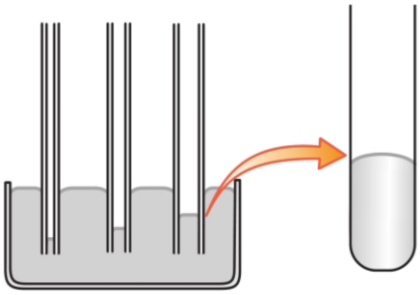
مشابه آب، اگر چند لولهٔ مویین شیشه‌ای و تمیز را وارد یک ظرف جیوه کنیم:

۱) سطح جیوه در لوله پایین می‌آید و **پایین‌تر از سطح جیوهٔ ظرف** قرار می‌گیرد.

۲) هرچه **قطر** لولهٔ مویین **کم‌تر** باشد، **ارتفاع** ستون جیوه **کم‌تر** می‌شود.

۳) سطح جیوه در لولهٔ مویین **برآمده** است.

نکته: هر وقت نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و دیوارهٔ لولهٔ مویین کم‌تر از نیروی هم‌چسبی مولکول‌های مایع باشد، مایع از لوله پایین می‌آید و سطح آن برآمده (محدب) می‌شود.



توجه: با توجه به این نکته، اگر سطح دیوارهٔ داخلی لولهٔ مویین را چرب کنیم و دوباره وارد یک ظرف آب کنیم، به‌خاطر کم بودن نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های روغن و آب از نیروی هم‌چسبی آب، آب مثل جیوه پایین‌تر از سطح آب در ظرف می‌اید و سطح آب برآمده (محدب) می‌شود.

۱۴- رابطهٔ عمق و فشار در مایع‌ها

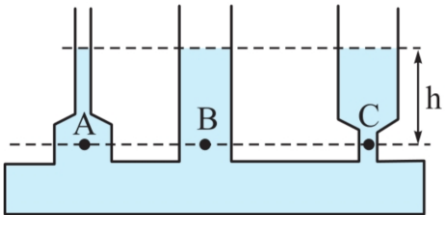
طبق رابطهٔ $P_{مایع} = \rho gh$، هرچه عمق یک نقطه درون مایع بیشتر باشد، فشار مایع در آن هم بیشتر خواهد بود. شکل زیر این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد.

نکته: فشار بیشتر باعث افزایش سرعت خروج آب می‌شود.

۱۵- نقطه‌ها هم‌تراز

در نقطه‌های هم‌تراز (هم‌عمق) یک مایع ساکن مانند نقطه‌های A، B و C فشار یکسان است و شکل ظرف اهمیتی ندارد. به زبان ریاضی:

$$h_A = h_B = h_C \rightarrow P_A = P_B = P_C$$



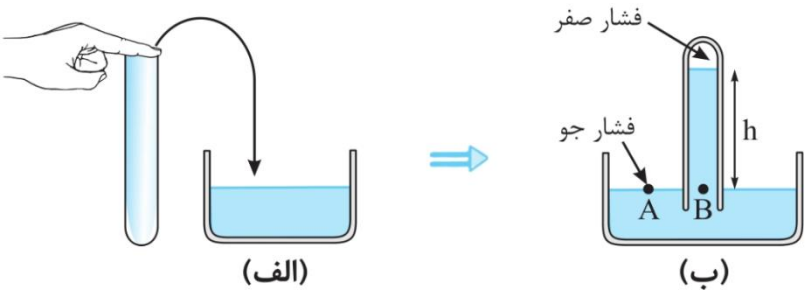
توجه: با توجه به فشار هوا (P_0) سطح آزاد مایع در تمام لوله‌های شکل مقابل در یک ارتفاع (h) باید باشد، چرا که اگر غیر این باشد، باید مایع به خاطر اختلاف فشار، جریان پیدا کند!

۱۶- اندازه‌گیری فشار هوا به کمک جوسنج (بارومتر)

جوسنج یک لولهٔ شیشه‌ای حدوداً ۸۰ سانتی‌متری با یک سربسته است. اگر این لوله را پر از جیوه کنیم (شکل الف) و آن را به صورت وارونه وارد یک ظرف جیوه کنیم، جیوه درون لوله کمی پایین می‌آید. (شکل ب) اگر در سطح دریای آزاد این کار را انجام دهیم، این ارتفاع حدود $760mm$ خواهد بود. فشار در نقطهٔ B برابر ρgh و در نقطهٔ A برابر فشار هوا (P_0) است. با توجه به هم‌فشاری نقاط A و B، $P_0 = \rho gh$ می‌شود. به خاطر همین، فشار را بر حسب سانتی‌متر جیوه هم اندازه می‌گیرند.

نکته: اگر این وسیله را به محلی بالاتر از سطح دریای آزاد ببریم، ارتفاع جیوه درون لوله کم‌تر می‌شود.

توجه: در فضای بالای لوله مقدار اندکی بخار جیوه وجود دارد که عملاً ناچیز است، برای همین فشار بالای لوله را صفر در نظر می‌گیریم.



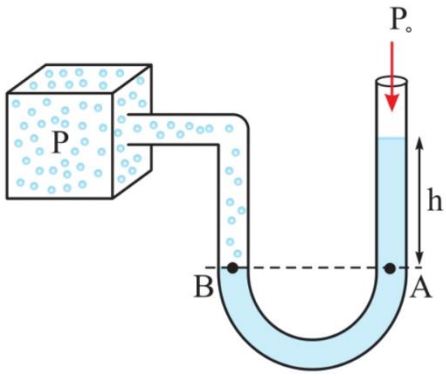
۱۷- فشارسنج شاره‌ها (مانومتر)

این وسیله، حاوی یک مایع به چگالی ρ (معمولاً جیوه یا آب) است. مطابق شکل، انتهای راست لوله، باز (P_0) و انتهای چپ لوله به ظرفی که باید فشار آن اندازه‌گیری شود (P)، وصل است. فشار در نقطهٔ A، $P_0 + \rho gh$ و در نقطهٔ B، P است.

از آن‌جا که دو نقطهٔ A و B هم‌ترازند، $P_A = P_B$ است؛ در نتیجه:

$$P_A = P_B \Rightarrow P = P_0 + \rho gh \Rightarrow \underbrace{P - P_0}_{P_g} = \rho gh$$

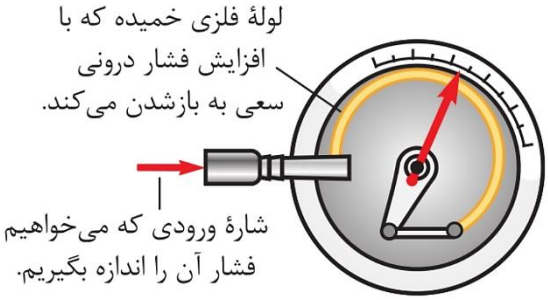
به این اختلاف فشار، یعنی اختلاف فشار شاره (P) و فشار هوا (P_0)، فشار پیمانه‌ای (P_g) گفته می‌شود.



نکته: با توجه به اختلاف فشار شاره و فشار هوا، فشار پیمانه‌ای می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد.

توجه: به فشار واقعی در هر نقطه که نسبت به خلأ سنجیده می‌شود، فشار مطلق می‌گویند.

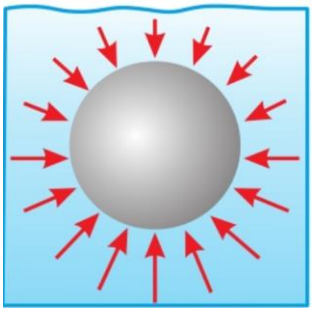
۱۸-فشارسنج بوردون



در این فشارسنج، با تغییر فشار پیمانه‌ای شاره، عقربهٔ فشارسنج حرکت می‌کند. با مدرج کردن صفحهٔ این فشارسنج، اندازهٔ فشار پیمانه‌ای قابل اندازه‌گیری می‌شود.

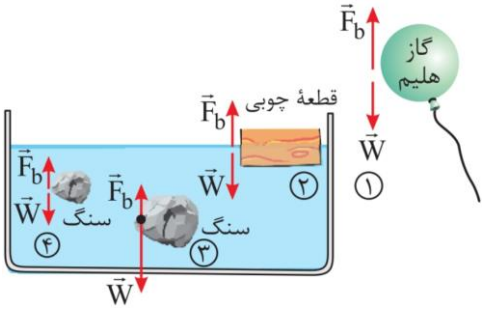
نکته: برای اندازه‌گیری فشار مخزن‌های گاز و باد لاستیک وسیله‌های نقلیه، از این فشارسنج استفاده می‌شود.

۱۹- نیروی شناوری



اگر خوب به شکل نگاه کنید، می‌بینید نیروهایی که به سطح زیرین جسم درون شاره وارد می‌شوند، بزرگ‌تر و به سمت بالا هستند، برای همین **نیروی خالصی** که یک شاره به جسم داخل آن وارد می‌کند، همیشه **بالاسو** است. به این نیروی خالص، نیروی شناوری می‌گویند.

۲۰- شناوری، غوطه‌وری، فرو رفتن یا بالا رفتن جسم در یک شاره



رابطهٔ بین نیروی شناوری ($\vec{F}_b$) و وزن ($\vec{W}$) عامل تعیین‌کنندهٔ وضعیت جسم است. در شکل روبه‌رو از راست به چپ:

۱) نیروی شناوری بیشتر از وزن بادکنک است ($F_b > W$)، برای همین بادکنک **بالا** می‌رود.

۲) نیروی شناوری با وزن قطعهٔ چوبی برابر است ($F_b = W$)، پس جسم روی آب **شناور** می‌ماند.

۳) نیروی شناوری کم‌تر از وزن سنگ است ($F_b < W$)، بنابراین سنگ در آب **فرو می‌رود** تا به کف ظرف برسد.

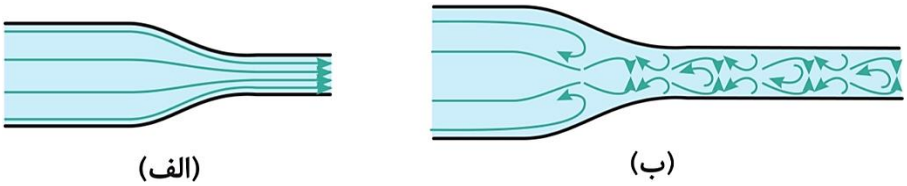
۴) نیروی شناوری با وزن سنگ برابر است، ($F_b = W$) به خاطر همین جسم به حالت **غوطه‌ور** در آب می‌ماند.

۲۱- حرکت شاره‌ها

شاره‌ها، دو مدل حرکت دارند:

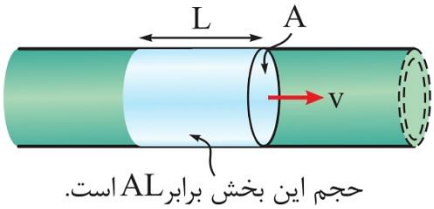
شکل (الف) - یکنواخت و لایه‌ای: در این نوع حرکت، نقش کلی جریان شاره، با گذر زمان تغییر نمی‌کند.

شکل (ب) - متلاطم و آشوبناک: در این نوع حرکت، نقش کلی جریان شاره و مسیر حرکت ذره‌های آن، به طور مداوم و پیوسته تغییر می‌کند.



۲۲- آهنگ شارش شاره

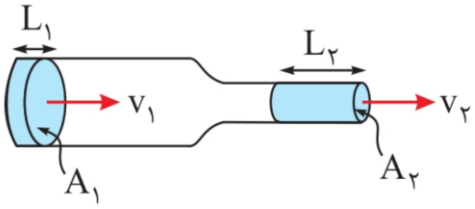
شکل زیر، جریان یکنواخت شاره‌ای را نشان می‌دهد که با تندی v داخل لوله‌ای با سطح مقطع A در حرکت است. آهنگ شارش شاره، به‌صورت نسبت حجم شارهٔ جابه‌جا شده (AL) به زمان (t) تعریف می‌شود:



$$\text{آهنگ شارش شاره} = \frac{AL}{t} = Av$$

۲۳- معادلهٔ پیوستگی

در یک شارهٔ تراکم‌ناپذیر، مقدار شاره‌ای که در زمان t از سطح مقطع A_1 می‌گذرد، درست برابر مقدار شاره‌ای است که درهمین زمان از سطح مقطع A_2 می‌گذرد؛ پس مطابق شکل زیر:

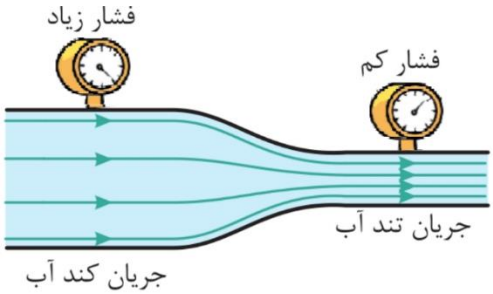


$$\frac{AL_1}{t} = \frac{A_2L_2}{t} \Rightarrow A_1v_1 = A_2v_2$$

۲۴- اصل برنولی

طبق معادله پیوستگی ($A_1v_1 = A_2v_2$)، با کاهش سطح مقطع لوله، جریان آب تندتر می‌شود و فشار آن کم می‌شود.

با توجه به این موضوع، برنولی برای شاره‌ای که به طور لایه‌ای و در امتداد افق حرکت می‌کند، اصل زیر را بیان کرد:



«در مسیر حرکت شاره، با افزایش تندی شاره، فشار آن کم می‌شود.»

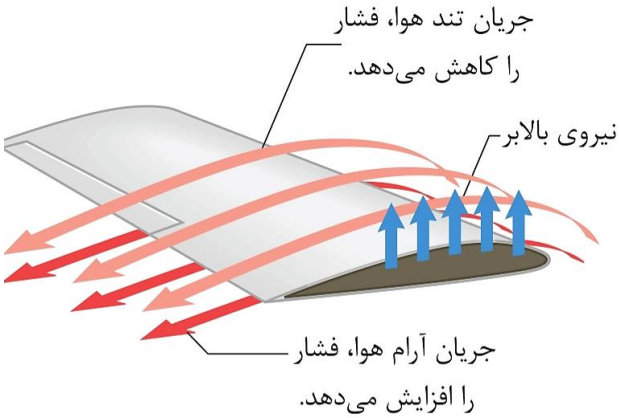
۱۵- کاربردهایی از اصل برنولی

۱) در شکل زیر، کودک به سطح بالای کاغذ فوت می‌کند و کاغذ به طرف بالا حرکت می‌کند. این فوت کردن، باعث می‌شود تندی جریان هوا در بالای کاغذ بیشتر از زیر آن باشد. در نتیجه با توجه به اصل برنولی، فشار هوا در بالای کاغذ کم‌تر از زیر آن می‌شود و به‌خاطر این اختلاف فشار، کاغذ به طرف بالا می‌رود.

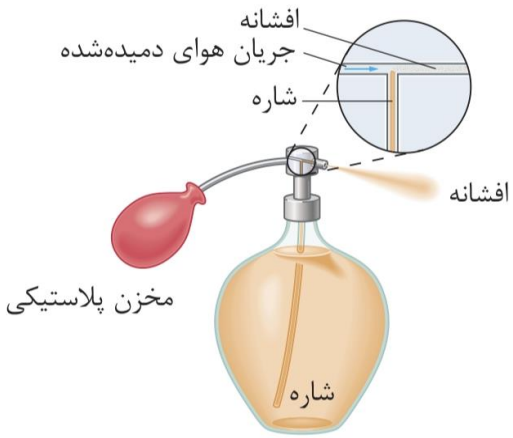
(ب)

(الف)

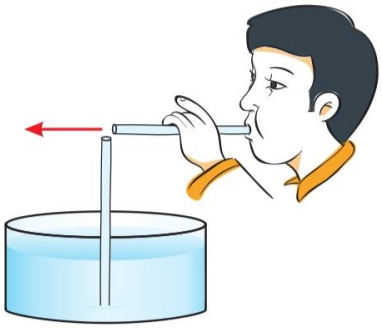
۲) در بال هواپیما برای ایجاد نیروی بالابر خالص از اصل برنولی استفاده می‌شود. این جور که تندی هوا در بالای بال نسبت به زیر آن بیشتر و در نتیجه فشار هوا در بالای بال، کم‌تر از زیر آن است. به همین خاطر، نیروی خالص بالابر، بال‌ها را به طرف بالا هل می‌دهد.



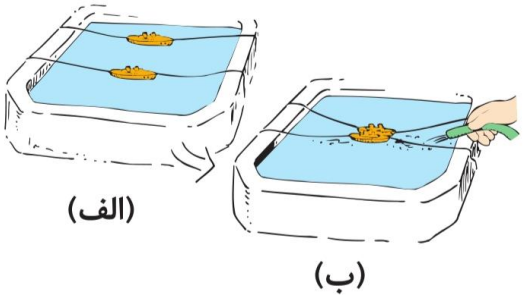
۳) شکل روبه‌رو، یک افشانه (سم‌پاش یا شیشهٔ عطر) را نشان می‌دهد. در این وسیله با فشار دادن مخزن پلاستیکی هوا، جریان هوای دمیده‌شده سرعت می‌گیرد و باعث کم شدن فشار هوای بالای لولهٔ فرورفته در شاره می‌شود. در نتیجه شاره از لوله بالا می‌آید و از روزنهٔ افشانه خارج می‌شود.



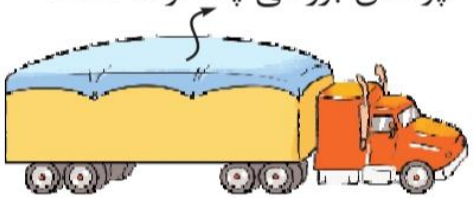
۴) در این شکل، با فوت کردن داخل نی افقی، سطح آب نی عمودی بالا می‌آید. علت ماجرا، آن است که با فوت کردن، فشار هوای بالای نی عمودی کم می‌شود و بین هوای درون لوله و هوای بیرون، اختلاف فشار ایجاد می‌شود. این اختلاف فشار (مثل افشانه در شکل قبل)، باعث بالا رفتن آب و پاشیده شدن قطرات آب به اطراف می‌شود.



۵) این آزمایش نشان می‌دهد که اصل برنولی برای تمام شاره‌ها، یعنی مایع و گاز برقرار است. در این شکل، با برقرار شدن جریان آب بین دو قایق، فشار آب بین آن‌ها کم می‌شود و فشار آب دو طرف دیگر قایق‌ها، باعث می‌شود که قایق‌ها به هم نزدیک شوند.



۶) در شکل زیر، پوشش برزنتی کامیون در حال حرکت پف کرده است. دلیل این اتفاق، کم شدن فشار هوای روی پوشش برزنتی و در نتیجه فشار بیشتر هوای زیر پوشش برزنتی نسبت به بالای آن است که باعث می‌شود پوشش برزنتی به طرف بالا برود و به اصطلاح پف کند! (مثل دمیدن بالای سطح کاغذ)

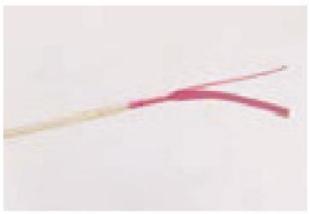


کامیون در حال حرکت

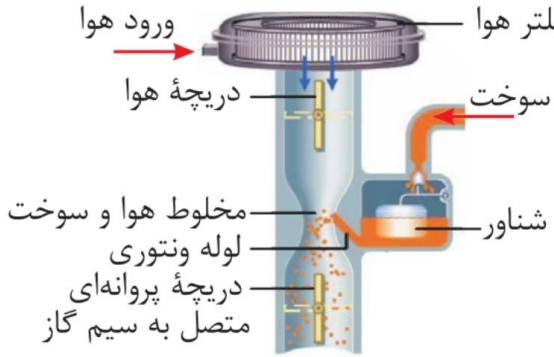
کامیون در حال توقف

۷) در این شکل، دو نوار کاغذی به انتهای یک نی چسبانده شده است (شکل الف). با فوت کردن درون آن نی، نوارهای کاغذی به طرف هم حرکت می‌کنند (شکل ب). دلیل این پدیده، طبق اصل برنولی، به خاطر آن است که عبور جریان تند هوا از بین دو نوار کاغذی، باعث کم شدن فشار می‌شود. در نتیجه فشار هوای بیشتر اطراف نوارهای کاغذی، آن‌ها را به طرف هم هل می‌دهد.

(ب)


(الف)

۸) با فشردن بیشتر پدال گاز، دور موتور خودرو زیاد می‌شود و خودرو سریع‌تر حرکت می‌کند. در واقع، وقتی پدال گاز بیشتر فشرده می‌شود، دریچهٔ پروانه متصل به سیم گاز بازتر می‌شود وحجم هوایی که از فیلتر هوا می‌گذرد، زیادتر می‌شود.



با افزایش میزان هوای ورودی، تندی هوا در محل لولهٔ ونتوری (Venturi) زیاد می‌شود و فشار هوا کاهش بیشتری می‌یابد. در نتیجه، سوخت بیشتری به بیرون پاشیده می‌شود و با مخلوط شدن با هوای ورودی، خودرو سریع‌تر حرکت می‌کند.

مفاهیم

۱) اندازهٔ اتم‌ها حدود یک تا چند آنگستروم ($1\text{Å} = 10^{-10}m$) است.

۲) **حالت‌های مواد:** مواد ۴ حالت دارند:

الف) جامد (مثل یخ) ب) مایع (مثل آب) پ) گاز (مثل هوا) ت) پلاسما (مثل خورشید)

نکته: ذره‌های سازندهٔ تمام مواد همیشه در حال حرکت‌اند و به هم نیرو وارد می‌کنند (نیروی بین‌مولکولی)

۳) **جامد:** مولکول‌های آن حرکت انتقالی ندارند. فاصلهٔ بین مولکول‌ها کم است و با تغییر فشار، حجم آن تغییر نمی‌کند. برای همین، جامدها شکل و حجم معینی دارند و تراکم‌ناپذیر هستند.

۴) **مایع‌ها:** مولکول‌های آن بر روی هم سر می‌خورند و حرکت انتقالی دارند. فاصلهٔ بین مولکول‌ها کم است (مثل جامدها) و با تغییر فشار، حجم آن تغییر نمی‌کند. برای همین مایع‌ها حجم معینی دارند و تراکم‌ناپذیر هستند، اما شکل معینی ندارند و به شکل ظرف درمی‌آیند.

۵) **گاز:** مولکول‌های آن حرکت انتقالی (حرکت آزادانه) دارند. فاصلهٔ بین مولکول‌ها نسبت به ابعاد آن خیلی زیاد است و این فاصله می‌تواند کم یا زیاد شود. برای همین، گازها، شکل معینی ندارند و با تغییر فشار حجمشان تغییر می‌کند؛ یعنی تراکم‌پذیر هستند.

۶) **شاره:** ماده در حالت مایع و گاز (غیرجامد)

۷) **پلاسما:** حالت چهارم ماده که اغلب در دماهای خیلی بالا به وجود می‌آید. مادهٔ درون ستاره، بیشتر فضای بین‌ستاره‌ای، آذرخش، شفق‌های قطبی، آتش و مادهٔ داخل لولهٔ تابان لامپ‌های مهتابی همگی از پلاسما تشکیل شده‌اند.

۸) پدیدهٔ پخش در گازها به خاطر فاصلهٔ بین‌مولکولی بیشتر، سریع‌تر از مایع‌ها است.

۹) در مقیاس نانو، اغلب ویژگی‌های فیزیکی مواد به طور چشمگیری تغییر می‌کند.

برای تغییر ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو، فقط کافی است یکی از ابعاد ماده در مقیاس نانو باشد.

۱۰) **نیروی هم‌چسبی:** به نیروی جاذبهٔ بین مولکول‌های همسان می‌گویند.

۱۱) **نیروی دگرچسبی:** به نیروی جاذبهٔ بین دو مولکول مختلف می‌گویند.

هم‌چسبی و دگرچسبی هر دو نیروهای بین‌مولکولی هستند. برد این نیروها، کوتاه است.

۱۲) **لولهٔ مویین:** لوله‌ای که قطر داخلی آن حدود $1mm$ یا کمتر باشد.

۱۳) **اصل ارشمیدس:** وقتی تمام یا قسمتی از یک جسم در شاره‌ای فرو رود، شاره نیرویی بالاسو به آن وارد می‌کند که با وزن شارهٔ جابه‌جاشده توسط جسم برابر است.

فصل ۴: دما و گرما

تصاویر

۱- ترموکوپل

مطابق شکل، به کمک دو سیم رسانای غیرهم‌جنس (مثل سم و کنستانتان) و یک ولت‌سنج، مداری مشابه شکل می‌بندیم. یک طرف این دو سیم به دمای مرجع (دمای مخلوط آب و یخ $0^\circ C$) وصل است (اتصال مرجع) و طرف دیگر، در نقطه‌ای که دمای آن را می‌خواهیم، به هم متصل شده‌اند (اتصال آزمون). علت اختلاف دمای این دو نقطه (اتصال)، بین این دو اتصال، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌شود. با افزای دمای اتصال آزمون، ولتاژ دو سر مدار هم تغییر می‌کند. با چند بار آزمایش، می‌فهمیم که هر دمایی، ولتاژ خاص خودش را دارد. با درجه‌بندی این ولت‌سنج بر حسب دما، می‌توانیم دمای اجسام را اندازه‌گیری کنیم.

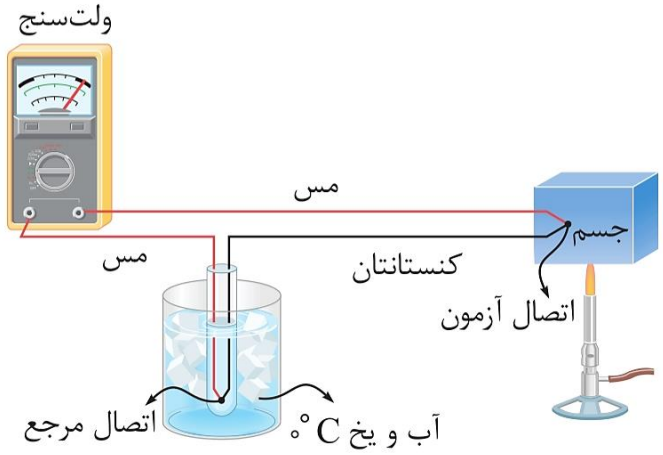
مزیت‌های ترموکوپل:

۱) گسترهٔ دماسنجی زیاد و اندازه‌گیری دماهای بالا[1]

۲) سرعت اندازه‌گیری بالا به خاطر جرم کم سیم‌ها

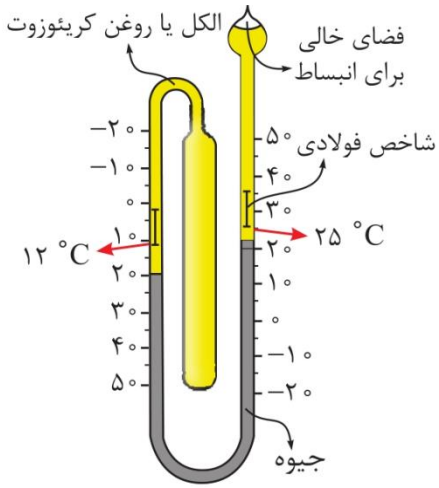
۳) قابل استفاده در مدارهای الکترونیکی

گسترهٔ دماسنجی ترموکوپل‌ها با هم فرق دارد و به جنس سیم‌های به کار رفته در آن بستگی دارد.



[1]. یک مدل آن از دمای $-270^\circ C$ تا $1372^\circ C$ را اندازه می‌گیرد.

۲- دماسنج بیشینه- کمینه

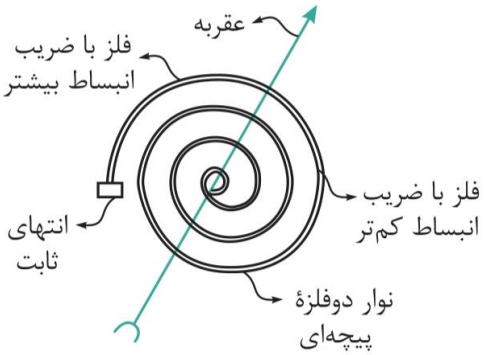


این دماسنج، یک مدل دماسنج مایعی است که بیشینه و کمینهٔ دما را در یک مدت زمان مشخص نشان می‌دهد. از این دماسنج در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری و هواشناسی استفاده می‌شود.

۳- بست انبساطی انگشتی

تغییر طول پل‌ها به خاطر انبساط گرمایی، نسبتاً زیاد است. برای همین مهندسان عمران از بست‌های انبساط انگشتی که از جنس فلز هستند، استفاده می‌کنند تا انبساط باعث تخریب پل نشود.

۴- دماسنج نواری دو فلزهٔ پیچه‌ای (بی‌متال)

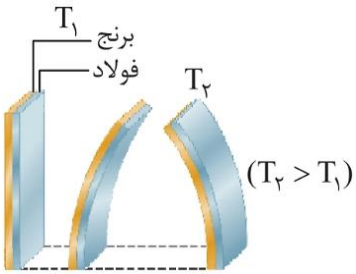


مطابق شکل، فلز با ضریب انبساط بیشتر، کمان خارجی و فلز با ضریب انبساط کم‌تر، کمان داخلی را تشکیل می‌دهد. حالا با افزایش دما، نوار حلزونی، حلزونی‌تر می‌شود و عقربه به سمت راست می‌چرخد. از همین ویژگی (خم شدن نوارها) برای اندازه‌گیری دما استفاده می‌شود.

۵- دماپا (ترموستات)

مثل دماسنج نواری دو فلزه، دماپا دو تیغهٔ فلزی با طول یکسان و جنس مختلف (مثلاً برنج و فولاد) است که به طور کامل به هم متصل شده‌اند.

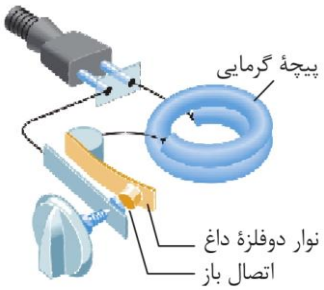
مطابق شکل، تیغه با ضریب انبساط بیشتر، کمان خارجی و تیغهٔ دیگر کمان داخلی را تشکیل می‌دهد.با زیاد شدن دما، کمان خارجی را به سمت کمان داخل خم می‌شود. از این ویژگی برای ساخت دماپا استفاده می‌شود. (شکل الف)



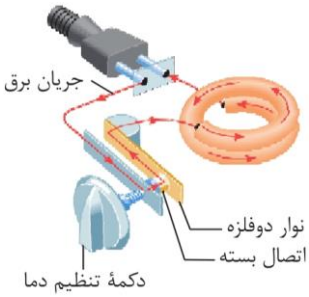
(الف)

کاربرد و طرز کار دماپا: در خیلی از وسایل الکتریکی، مثل یخچال، آبگرمکن، کتری برقی و ... به‌کار می‌رود. کار دماپا، قطع و وصل جریان، موقع گرم و سرد شدن مدار و رسیدن دمای آن در یک بازهٔ دمایی معین است. در شکل (ب)، یک کتری برقی را می‌بینید که د اخل آن، پیچهٔ گرمایی قرار دار. برای در ک بهتر عملکرد دماپا شکل‌های (پ) و (ت) را ببینید. در ابتدا (شکل پ) با عبور جریان الکتریکی از کتری برقی، نوار دو فلزه آن‌قدر گرم و خم می‌شود، تا این‌که جریان الکتریکی قطع شود (شکل ت). با قطع جریان و کم شدن دما، دوباره نوار به شکل اولیهٔ خود برمی گردد و جریان وصل می‌شود. در نتیجه دمای مدار نه از یک حدی کم‌تر می‌شود و نه از یک حدی بیشتر!

(ب)



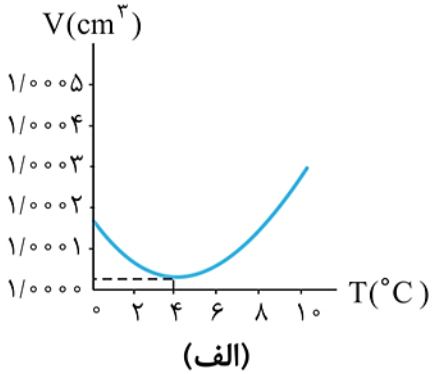
(ت)



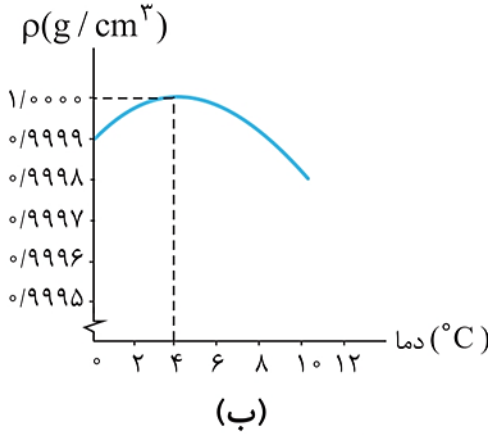
(پ)

۶- انبساط غیرعادی آب

کم‌ترین حجم (شکل الف) و **بیشترین چگالی** (شکل ب) آب در دمای $4^\circ C$ اتفاق می‌افتد. افزایش دما از $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ موجب انقباض و از $4^\circ C$ به بالا موجب انبساط آب می‌شود.

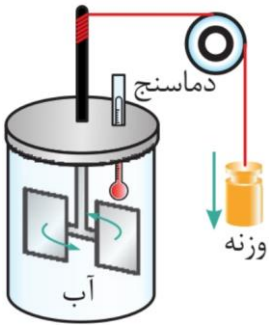


(الف)



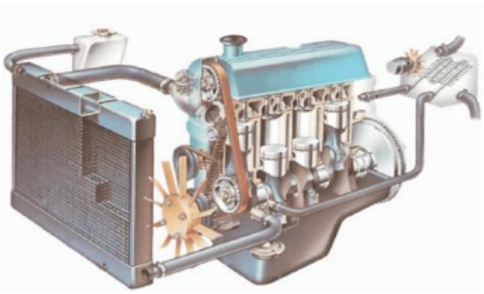
(ب)

۷- دستگاه آزمایش ژول



در این آزمایش، نشان داده می‌شود کار نیروی وزن برابر است با مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای آب!

۸- سیستم خنک‌کنندهٔ خودرو



از آب برای خنک کردن موتور خودروها هم استفاده می‌شود. مطابق شکل، در محفظهٔ سیلندر و سرسیلندر، مسیرهای عبور آب درنظر گرفته می‌شود که به وسیلهٔ واتر پمپ (تلمبهٔ آب)، آب داخل این مسیر می‌چرخد و گرما را از موتور به رادیاتور اتومبیل انتقال می‌دهد.

۹- گرماسنج (کالری‌متر)

مجموعه‌ای شامل همزن، دماسنج، آب و جسم است. در گرماسنج مقداری آب با جرم مشخص می‌ریزیم و پس از هم‌دما شدن آب و گرماسنج، دمای آب را اندازه می‌گیریم. سپس جسم مورد نظر با دمای اولیهٔ مشخص را درون گرماسنج می‌بریم و به کمک همزن، آب را هم می‌زنیم تا مجموعه سریع‌تر به تعادل گرمایی برسد. پس از رسیدن به تعادل گرمایی، دمای تعادل را از دماسنج می‌خوانیم و به کمک رابطه‌های تعادل، گرمای ویژهٔ جسم (c_x)[۲] را به دست می‌آوریم:

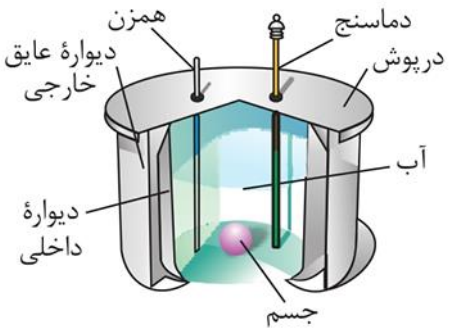
$$Q_W + Q_x + Q_D = 0 \Rightarrow m_W c_W(\theta - \theta_{1W}) + m_x c_x(\theta - \theta_{1x}) + m_D c_D(\theta - \theta_{1D}) = 0$$

نکته: معمولاً به‌جای محاسبهٔ جداگانهٔ جرم و گرمای ویژهٔ ظرف، ظرفیت گرمایی ظرف گرماسنج را مشخص می‌کنند.

---

[۲]. آب: W، جسم: x، ظرف: D

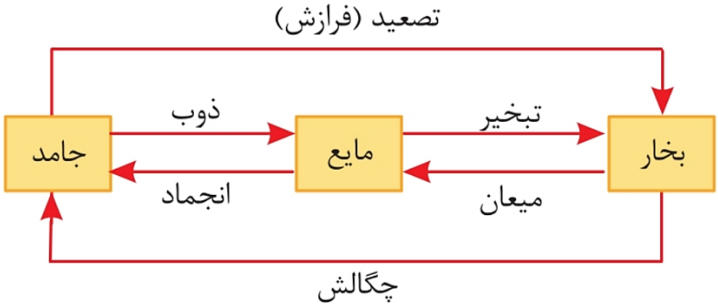
۱۰- گرماسنج بمبی



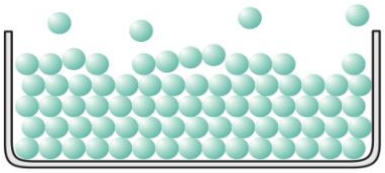
این گرماسنج برای به دست آوردن ارزش غذایی مواد به کمک اندازه‌گیری انرژی آزادشدهٔ آن‌ها در حین سوختن به کار می‌رود. در این وسیله، نمونهٔ مورد نظر با جرم معلوم در ظرف سربسته‌ای که شامل گاز اکسیژن است، قرار داده می‌شود.

۱۱- تغییر حالت‌های ماده

گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت دیگر را تغییر حالت (گذار فاز) می‌گویند. در شکل زیر، مدل‌های مختلف تغییر حالت را می‌بینید. تغییر حالت‌های رو به راست گرماگیر و تغییر حالت‌های رو به چپ گرمازا هستند.

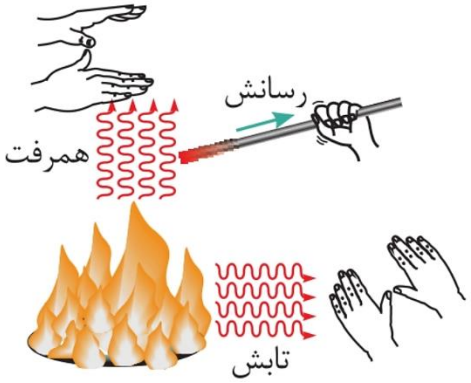


۱۲- تبخیر سطحی



به **فرار مولکول‌ها از سطح مایع**، تبخیر سطحی می‌گویند. در تبخیر سطحی، مولکول‌های پرانرژی‌تر از سطح مایع فرار می‌کنند (شکل روبه‌رو).

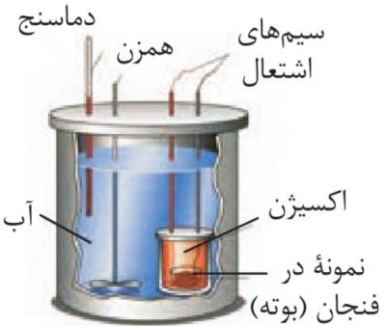
۱۳- روش‌های انتقال گرما



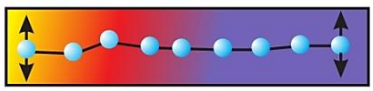
سه راه برای انتقال گرما وجود دارد: **رسانش، همرفت و تابش.**

در شکل مقابل، هر سه روش انتقال گرما وجود دارد.

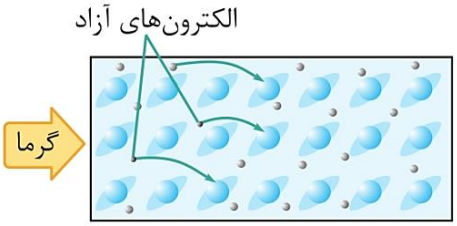
۱۴- رسانش گرمایی



با گرم کردن یک بخش از جسم، اتم‌ها و الکترون‌های آزاد آن ناحیه، انرژی می‌گیرند و دامنهٔ ارتعاشاتشان زیاد می‌شود. این ارتعاشات باعث انتقال این انرژی به اتم‌ها و الکترون‌های مجاورشان می‌شود. به این روش انتقال گرما، رسانش می‌گویند. در نافلزات گرما فقط از طریق ارتعاشات اتم‌ها (شکل الف) و در فلزات، علاوه بر ارتعاش‌های اتمی، با برخورد الکترون‌های آزاد به هم و اتم‌ها، گرما انتقال می‌یابد (شکل ب).



(الف)

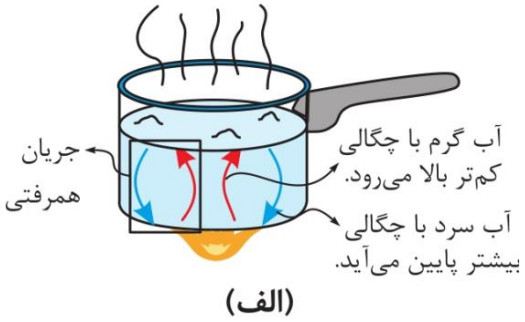


(ب)

۱۵- همرفت طبیعی

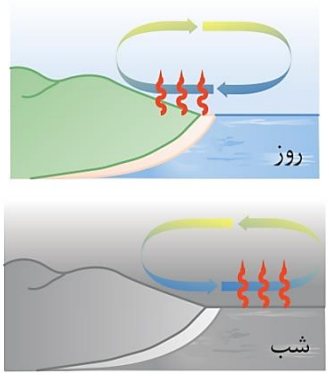
با گرم کردن قسمتی از یک شاره، دمای آن زیاد می‌شود. افزایش دما، حجم شاره را زیاد و چگالی آن را کم می‌کند. در نتیجه شاره به سمت بالا می‌رود و شاره با دمای کم‌تر و چگالی بیشتر به سمت پایین می‌آید و جایگزین بخش گرم‌تر می‌شود. به این روش انتقال گرما، همرفت می‌گویند.

نمونه: گرم شدن آب درون قابلمه (الف)، گرم شدن هوای اتاق به وسیلهٔ بخاری و شومینه (ب) و جریان‌های باد ساحلی (پ)، نمونه‌هایی از همرفت طبیعی هستند. در مورد شکل (پ)، چون در روز زمین ساحل، گرم‌تر از آب دریا است، همرفت باعث

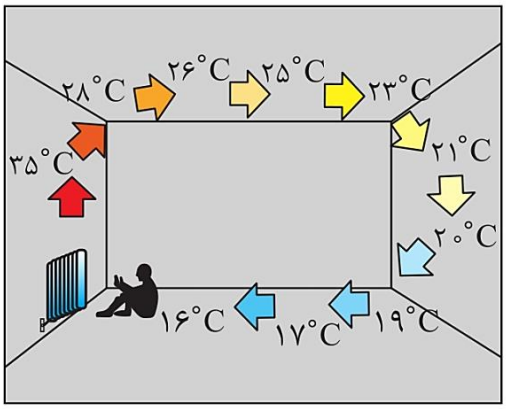


(الف)

نسیم از دریا به ساحل و در شب، چون زمین ساحل، سردتر از آب است، همرفت باعث نسیم از ساحل به دریا می‌شود.



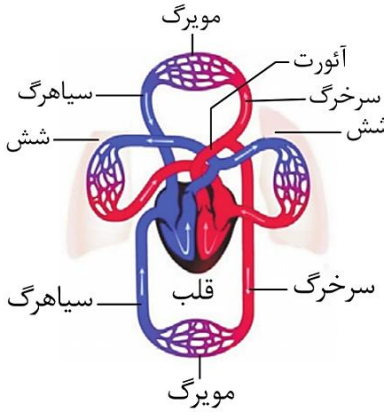
(پ)



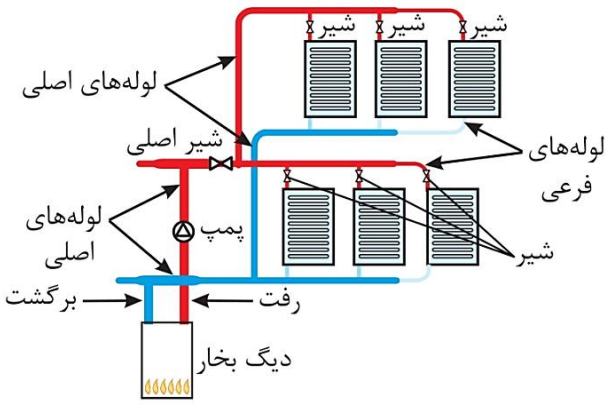
(ب)

۱۶- همرفت واداشته

در این حالت، شاره به کمک یک تلمبه (طبیعی یا مصنوعی) به چرخش مجبور (واداشته) می‌شود تا با این چرخش، گرما انتقال یابد. سیستم خنک‌کنندهٔ موتور اتومبیل (الف) و دستگاه گردش خون (ب) نمونه‌هایی از همرفت واداشته هستند.



(ب)



(الف)

۱۷- کاربردهای تابش گرمایی در طبیعت

شکار تابش فروسرخ (الف) و کلم اسکانک (پ) دو نمونه از کاربردهای تابش در طبیعت هستند. شکل (الف)، نوعی مار زنگی را نشان می‌دهد که به خاطر اندام‌های حفره‌ای بر روی پوزهٔ خود، نسبت به تابش فروسرخ حساس است و به کمک آن، طعمه‌های خونگرم را شناسایی می‌کند. در شکل (پ)، کلم اسکانک را می‌بینید که می‌تواند دمایش را از دمای محیط هم بالاتر ببرد. این نوع کلم، به خاطر بالا رفتن دمایش، تابش فروسرخ دارد و می‌تواند برف اطرافش در زمستان را آب کند.

(ب)

(الف)

مفاهیم

۱) **دما:** کمیتی که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند.

توجه: برای اندازه‌گیری دما، به **کمیت دماسنجی** و مقیاس‌های **دماسنجی** نیاز داریم.

۲) **کمیت دماسنجی:** هر مشخصهٔ قابل اندازه‌گیری که با تغییر دما، تغییر کند.

۳) **مقیاس‌های دمایی مشهور:** سه مقیاس دمایی مشهور داریم:

الف) سلسیوس ب) کلوین پ) فارنهایت

۴) **دماسنج معیار:** سه نوع دماسنج معیار داریم:

الف) دماسنج گازی $\xleftarrow{\text{اساس کار}}$ قانون گازهای کامل

ب) دماسنج مقاومت پلاتینی $\xleftarrow{\text{اساس کار}}$ تغییر مقاومت الکتریکی با دما

پ) تف‌سنج (پیرومتر) $\xleftarrow{\text{اساس کار}}$ تابش گرمایی

۵) **انبساط گرمایی:** افزایش حجم و ابعاد جسم با افزایش دما

۶) **مزایای انبساط:** مبنای عملکرد وسیله‌هایی مثل دماسنج‌ها و ترموستات‌ها

۷) **معایب انبساط:** ایجاد مشکل در ساخت پل‌ها، ساختمان‌ها، خط آهن، خطوط انتقال نیرو و سوخت

۸) **انبساط غیرعادی آب:** چگالی غیرعادی آب در محدودهٔ $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ باعث می‌شود آب همواره از بالا به پایین یخ بزند.

۹) **گرما:** انرژی‌ای است که به دلیل اختلاف دما بین دو جسم (از جسم گرم‌تر به سردتر) مبادله می‌شود.

۱۰) **دمای تعادل و تعادل گرمایی:** وقتی دو یا چندجسم با دمای متفاوت در کنار هم قرار می‌گیرند، آن‌قدر با هم گرما مبادله می‌کنند تا در نهایت **هم‌دما** شوند. به این دما، دمای تعادل و به این حالت، تعادل گرمایی می‌گویند.

۱۱) **قاعدهٔ دولن و پتی:** گرمای لازم برای بالا بردن دمای یک مول از فلزها، **یکسان** است و به جنس آن‌ها **بستگی ندارد.**

توجه: گرمای ویژهٔ مولی بیشتر فلزها تقریباً با هم برابر و مساوی $25 \frac{J}{mol.k}$ است.

۱۲) **دمای گذار:** تغییر حالت (گذار فاز) هر ماده‌ای در دمای ثابت انجام می‌شود که به آن دمای گذار می‌گویند.

۱۳) **نقطهٔ ذوب و نقطهٔ جوش:** به جنس ماده و فشار وارد به آن بستگی دارد. این‌گونه که با افزایش فشار، نقطهٔ ذوب و جوش بالا می‌رود.

در موردنقطهٔ ذوب یک استثنا وجود دارد. اگر فشار یک تکه یخ را افزایش دهیم، نقطهٔ ذوب پایین می‌آید!

۱۴) اضافه کردن ناخالصی به جسم جامد، باعث کاهش نقطهٔ ذوب می‌شود.

۱۵) در کتاب درسی گفته شده که اهنگ تبخیر سطحی به عواملی از جمله دما و مساحت سطح مایع، وزش نسیم و کاهش رطوبت هوا نیز در آهنگ تبخیر سطحی مؤثر هستند.

در اثر تبخیر سطحی، دمای مایع کم می‌شود.

۱۶) تفاوت بین تبخیر سطحی و جوشیدن، در این است که:

الف) تبخیر سطحی در هر دمایی رخ می‌دهد ولی تبخیر ناشی از جوشیدن فقط در نقطهٔ جوش اتفاق می‌افتد.

ب) در جوشیدن علاوه بر سطح، درعمق مایع نیز تبخیر اتفاق می‌افتد.

۱۷) در روش رسانش و همرفت برای انتقال گرما نیاز به محیط مادی است، اما در روش تابش نیازی به محیط مادی نیست و گرما در خلأ هم منتشر می‌شود.

۱۸) سرعت انتقال گرما در روش تابش، بسیار زیاد است. (سرعت نور)

۱۹) همهٔ اجسام در حال تابش از خود هستند.

۲۰) تابش گرمایی از سطح هر جسم به چهار عامل بستگی دارد:

الف) دما: دمای بیشتر، آهنگ تابش بیشتر

ب) مساحت: مساحت بیشتر، آهنگ تابش بیشتر

پ) میزان صیقلی بودن: سطوح صاف و درخشان تابش کم‌تر و سطوح ناصاف و مات، تابش بیشتر

ت) رنگ سطح جسم: رنگ تیره‌تر، تابش بیشتر

۲۱) **دماناگار:** آشکارسازی تابش‌های فروسرخ

۲۲) **دماناگاشت:** تصویر به دست آمده از دماناگار

۲۳) **تف‌سنجی و تف‌سنج:** به روش‌های اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی، تف‌سنجی و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش، تف‌سنج می‌گویند.

۲۴) تف‌سنج تابشی و تف‌سنج نوری دو نمونه از تف‌سنج‌ها هستند.

توجه: تف‌سنج نوری جزء دماسنج‌های معیار است.

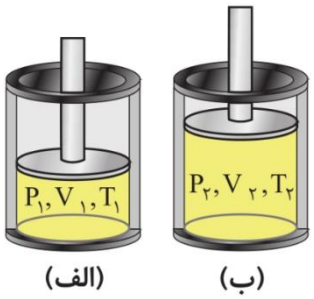
فصل ۵: ترمودینامیک

تصاویر

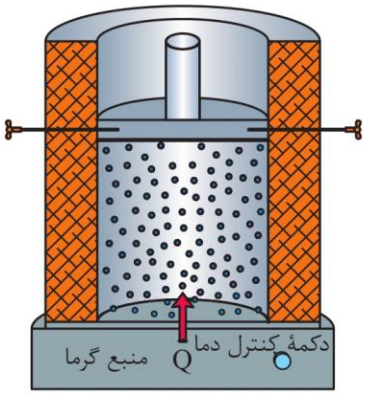
۱- فرایندهای ترمودینامیک ایستاوار

وقتی یک دستگاه از حالت P_1، V_1 و T_1 (الف) به حالت P_2، V_2 و T_2 (ب) می‌رود، یک فرایند ترمودینامیکی انجام شده است. حالا اگر در طول این فرآیند دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل باشد و سریع هم به تعادل برسد، فرآیند ایستاوار، (آرمانی) است.

در شکل زیر، گاز داخل استوانه در حالت اولیه (الف) و نهایی (ب) در تعادل ترمودینامیکی است.



۲- فرایند هم‌حجم

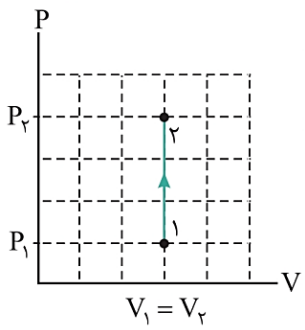


(الف)

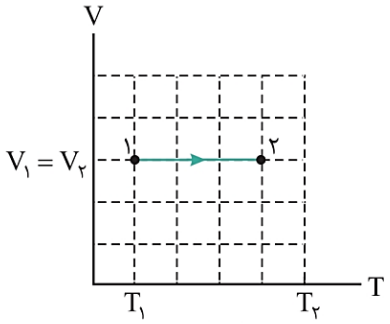
فرایند هم‌حجم، یعنی فرایندی که حجمش همواره ثابت است و فقط دما و فشار در آن تغییر می‌کند. در این فرایند، دمای گاز را به کمک یک منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم، به تدریج تغییر می‌دهیم تا گاز در یک فرایند ایستاوار، از حالت اولیه به حالت نهایی برسد.

توجه: حجم پیستون به کمک گیره ثابت نگه داشته می‌شود. (شکل الف)

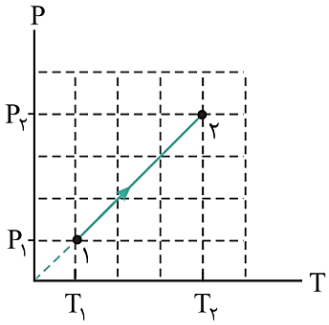
ثابت بودن حجم با توجه به نمودارهای $P-V$ و نمودار $P-T$ را هم به کمک رابطهٔ $P = \frac{nR}{V}T$ رسم کردیم.
ثابت



(ب)

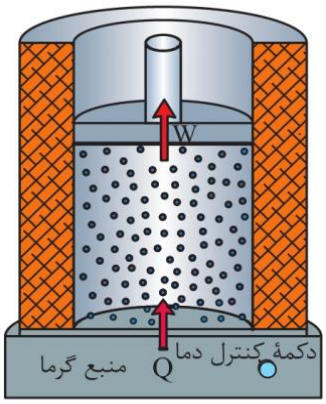


(پ)



(ت)

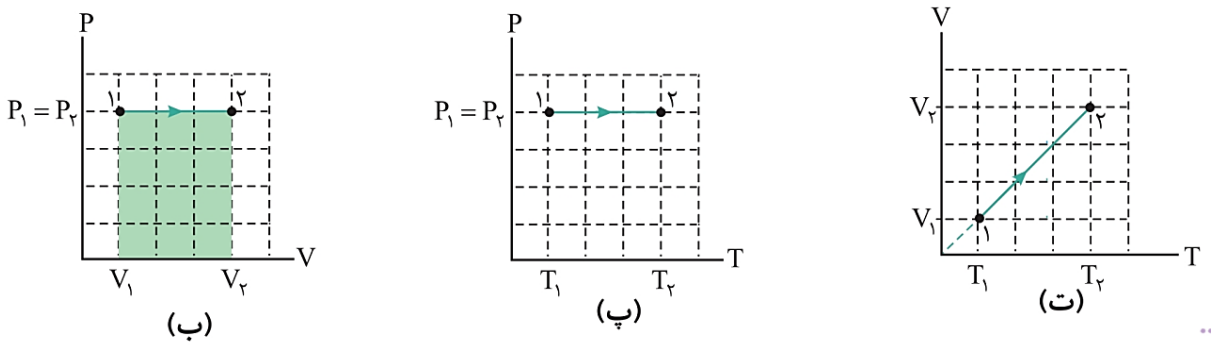
۳- فرایند هم‌فشار



(الف)

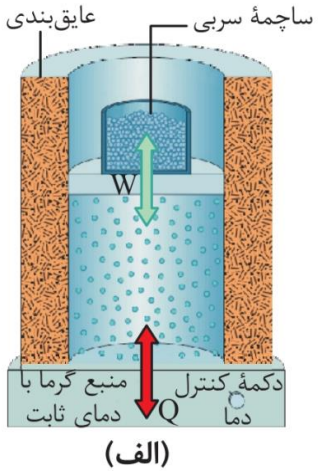
فرایندی که فشار گاز در آن ثابت بماند و فقط دما و حجم آن تغییر کند. در این فرایند، دمای گاز را به آرامی بالا می‌بریم و پیستون به تناسب آن کمی منبسط می‌شود. اگر همین روش را ادامه دهیم، گاز به کندی منبسط می‌شود، در عین حال که فشار ثابت است.

نمودار $P-V$ و نمودار $P-T$ را با توجه به ثابت بودن فشار و نمودار $V-T$ را به کمک رابطهٔ $V = \frac{nR}{P}T$ رسم کردیم.
ثابت



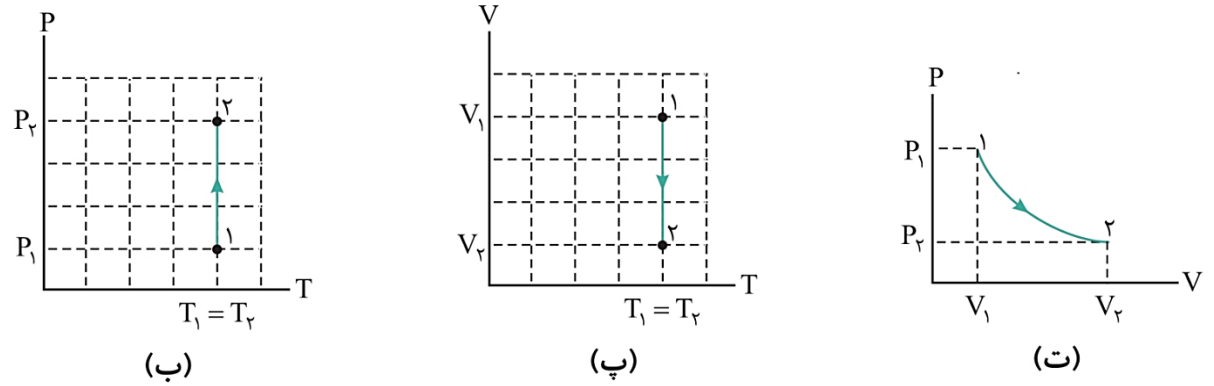
نکته: مساحت زیر نمودار $P-V$ (شکل ب) برابر قدرمطلق کار محیط روی دستگاه (W) است. دقت کنید مساحت زیر هر نمودار $P-V$ دیگری هم این ویژگی را دارد و ربطی به نوع فرایند ندارد!

۴- فرایند هم‌دما



واضح است که در این فرایند دما تغییر نمی‌کند و فقط حجم و فشار گاز تغییر می‌کنند. در این فرایند، استوانه در تماس با دمای ثابت است و با افزودن یا کاستن تدریجی ساچمه (گلوله‌های سربی)، یک فرایند هم‌دما رخ می‌دهد. (شکل الف)

نمودار $P-T$ و $V-T$ که شکلشان معلوم است. برای رسم نمودار $P-V$ هم از رابطهٔ $P = nRT(\frac{1}{V})$ کمک می‌گیریم که شکلی هموگرافیک د ارد.

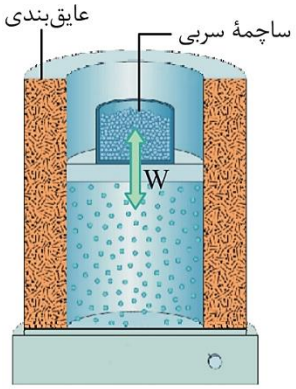


نکته: در نمودار $P-V$ فرایند هم‌دما، همواره حاصل‌ضرب PV ثابت است. به زبان ریاضی یعنی:

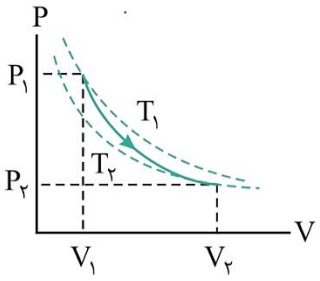
$PV \propto T$ (ثابت)

۵- فرایند بی‌دررو

فرایندی که در آن گرما را دررو ندارد ($Q = 0$) اما هر سه پارامتر P، V و T تغییر می‌کند. در این فرایند، استوانه کاملاً عایق‌بندی می‌شود و مشابه فرایند هم‌دما، با کاستن یا افزودن تدریجی ساچمه‌های سربی، گاز انبساط یا تراکم بی‌دررو پیدا می‌کند (شکل الف). در فرایند بی‌دررو، فقط نمودار $P-V$ اهمیت دارد (شکل ب).



(الف)



(ب)

نکته: فرایند بی‌دررو همواره بین دو فرایند هم‌دما قرار دارد. پس اگر دو فرایند هم‌دما و بی‌دررو داشته باشیم، به ازای تغییر حجم یکسان، تغییر فشار در فرایند بی‌دررو بیشتر خواهد بود.

۶- چرخهٔ ترمودینامیکی

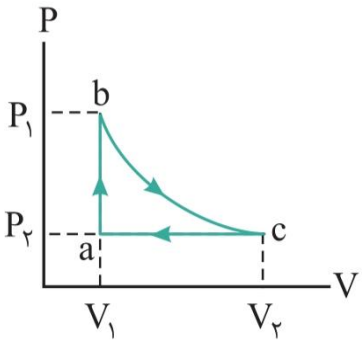
هر وقت دستگاه از یک حالت اولیه (P_1، V_1، T_1) چند فرایند پشت سر هم را انجام دهد و دوباره به همان حالت (P_1، V_1، T_1) برگردد، یک چرخه طی شده است. در چرخه‌ها:

الف) تغییر دما و تغییر انرژی درونی نداریم؛ پس:

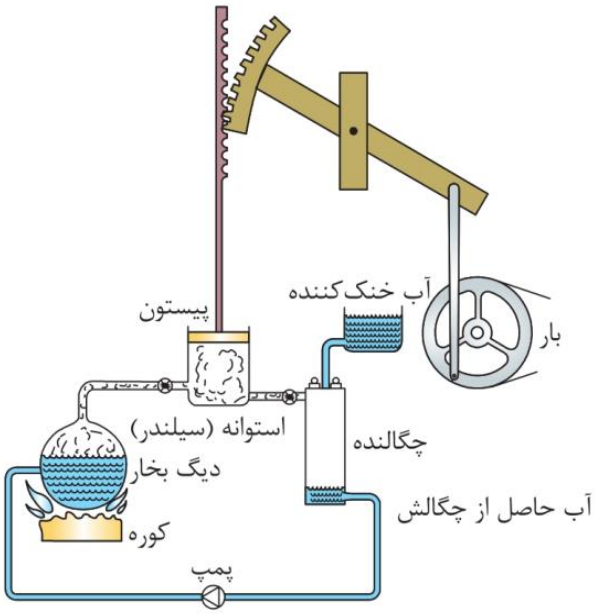
$$\Delta T = 0, \Delta U = 0 \Rightarrow Q + W = 0 \Rightarrow Q = -W$$

ب) در چرخه‌های ساعتگرد، کار انجام‌شده روی گاز منفی و در چرخه‌های پادساعتگرد، کار انجام‌شده روی گاز مثبت است.

پ) مساحت داخل چرخه در نمودار $P-V$ برابر قدرمطلق کار است.



۷- ماشین گرمایی برون‌سوز (ماشین بخار وات)



مطابق شکل چرخهٔ ساده‌شدهٔ ماشین بخار را نشان می‌دهد. در این چرخه:

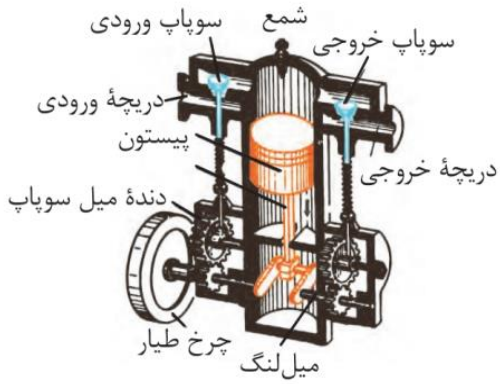
۱) دستگاه آب است.

۲) کوره منبع با دمای بالا (T_H) است و گرمای Q_H را به دستگاه (آب) می‌دهد ($Q_H > 0$).

۳) دستگاه (بخار آب) روی محیط (پیستون) کار انجام می‌دهد ($W < 0$).

۴) چگالنده که با لوله‌های آب سرد یـا فـن‌های قـوی کار می‌کند، منبع دمای پایین (T_C) است و گرمای Q_L را از دستگاه می‌گیرد ($Q_L < 0$).

۸- ماشین گرمایی درون‌سوز (بنزین)



در این ماشین:

۱) مخلوط هوا و بنزین در نقش دستگاه هستند.

۲) گرمای Q_H با آتش گرفتن و سوختن بنزین به دستگاه داده می‌شود ($Q_H > 0$). چون در واقع دستگاه خودش می‌سوزد، به آن درون‌سوز می‌گویند.

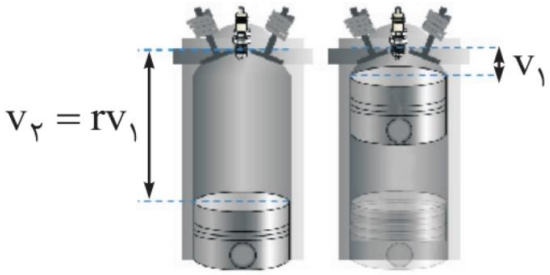
۳) مثل ماشین‌های برون‌سوز، دستگاه بر روی پیستون کار انجام می‌دهد ($W < 0$).

۴) رادیاتور موتور را خنک می‌کند و لولهٔ اگزوز، گاز سوخته‌شدهٔ داغ را به هوا می‌دهد، یعنی گرمای Q_L از طریق رادیاتور و اگزوز از دستگاه خارج می‌شود ($Q_L < 0$).

نکته: تفاوت ماشین بخار (برون‌سوز) و ماشین بنزینی (درون‌سوز)، در این است که در ماشین بخار، دستگاه (آب) از ماشین خارج نمی‌شود وبارها چرخه را طی می‌کند، اما در ماشین بنزینی، در هر چرخه ابتدا مخلوط هوا و بنزین (دستگاه) وارد محفظه می‌شود و در نهایت به صورت دود از اگزوز خارج می‌شود.

۹- نسبت تراکم

در پیستون یک ماشین گرمایی حجم دستگاه در حالت کمینه (بالاترین وضعیت خود) برابر V_1 و در حالت بیشینه (پایین‌ترین وضعیت) برابر V_2 است. به نسبت بیشترین حجم دستگاه (V_2) به کم‌ترین حجم (V_1)، نسبت تراکم می‌گویند به زبان ریاضی:



$$r = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_{max}}{V_{min}}$$

۱۰- چرخهٔ کامل ماشین‌های درون‌سوز

چرخهٔ موتورهای درون‌سوز ۶ فرایند (مرحله) دارد.

الف) ضربهٔ مکش: با حرکت پیستون از بالا به پایین، حجم محفظه از V_1 به rV_1 افزایش می‌یابد و مخلوط بنزین و هوا وارد استوانه می‌شود. وقتی پیستون به پایین‌ترین وضعیت خود می‌رسد، سوپاپ ورودی بسته می‌شود و مخلوط بنزین و هوا درون استوانه حبس می‌شود.

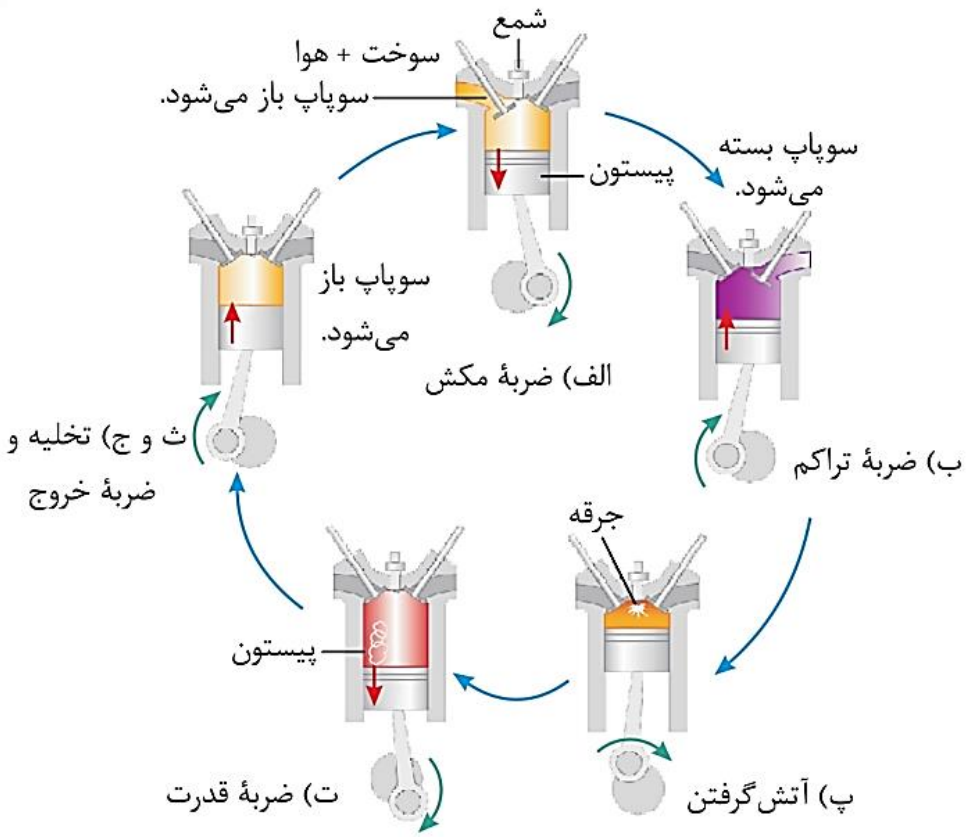
ب) ضربهٔ تراکم: پیستون به سرعت بالا می‌آید، مخلوط را متراکم می‌کند و حجم آن را به V_1 می‌رساند. با توجه به سرعت زیاد، می‌توان این فرایند را بی‌دررو در نظر گرفت. در آخر این مرحله، دما و فشار مخلوط بسیار بالا می‌رود.

پ) آتش گرفتن: لحظه‌ای که پیستون به بالاترین وضعیت خود رسد، شمع جرقه می‌زند، مخلوط آتش می‌گیرد و دما و فشار آن در حجم ثابت V_1 تا مقدار زیادی بالا می‌رود. چون این اتفاق درون استوانه رخ می دهد و مخلوط از بیرون گرما نمی‌گیرد، به این موتورها درون‌سوز می‌گویند.

ت) ضربهٔ قدرت (مرحلهٔ انجام کار): فشار زیاد مرحلهٔ قبل، مخلوط را به سرعت منبسط می‌کند و حجم آن را از V_1 به V_2 می‌رساند. به خاطر همین سرعت، این فرایند هم بی‌دررو در نظر گرفته می‌شود. در نتیجهٔ این انبساط، فشار و دمای مخلوط کم می‌شود اما پیستون به شدت پایین می‌آید و روی آن کار انجام می‌شود ($W < 0$).

ث) تخلیه: در حالی که پیستون در پایین‌ترین وضعیت (حجم V_2) قرار دارد، سوپاپ خروجی باز می‌شود و بخشی از محصولات احتراق به صورت دود از دریچهٔ خروجی خارج می‌شود تا زمانی که فشار درون استوانه و جو برابر شود. در این مرحله پیستون، ساکن است.

ج) ضربهٔ خرج گاز: پیستون بالا می‌آید و مابقی محصولات احتراق به بیرون رانده می‌شود و حجم فضای بالای پیستون از V_2 به مقدار اولیهٔ V_1 می‌رسد.



نکته:

۱- در هر دو بخش تخلیه و خروج کامل گاز، مقدار زیادی گرما (Q_L) به هوای بیرون داده می‌شود ($Q_L < 0$).

۲- درهر چرخه، پیستون دو نوسان کامل (بالا و پایین) انجام می‌دهد.

مفاهیم

۱) **دستگاه:** جسم یا اجسام خاصی که حالت و تحولات آن را بررسی می‌کنیم.

۲) **محیط:** اجسام اطراف دستگاه که می‌توانند با آن تبادل انرژی داشته باشند.

۳) **تعادل ترمودینامیکی:** در این حالت، دما و فشار گاز در تمام نقاط دستگاه یکسان است.

۴) **متغیرهای ترمودینامیکی:** کمیت‌های فشار (P)، حجم (V) و دما (T) که برای توصیف حالت دستگاه به‌کار می‌رود.

۵) **معادلهٔ حالت:** رابطهٔ بین متغیرهای ترمودینامیکی!

۶) **فرایند ترمودینامیکی:** رفتن دستگاه از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگر

۷) **منبع گرما:** جسمی که جرم آن در مقابل جرم دستگاهی که با آن تبادل گرما دارد، آن‌قدر بزرگ است که اگر گرما بگیرد یا از دست بدهد، باز هم دمایش تغییر محسوسی نمی‌کند.

۸) **گرمای ویژهٔ مولی در حجم ثابت (C_V):** مقدار گرمایی که باید به یک مول از گاز موردنظر در **حجم ثابت** داده شود تا دمای آن ۱K افزایش یابد.

۹) **گرمای ویژهٔ مولی در فشار ثابت (C_P):** مقدار گرمایی که باید به یک مول از گاز موردنظر در **فشار ثابت** داده شود تا دمای آن ۱K افزایش یابد.

۱۰) **چرخهٔ ترمودینامیکی:** فرایندی که دستگاه پس از طی چند فرایند به حالت اول خود برگردد.

۱۱) در ماشین بخار، دیگ بخار را که در دمای بالاتر قرار دارد، **منبع دما بالا** و چگالنده را **منبع دما پایین** می‌گویند. این تعریف برای بقیهٔ ماشین‌های گرمایی هم برقرار است.

۱۲) **قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی):** امکان ندارد دستگاه چرخه‌ای را بپیماید که در طی آن مقداری گرما از منبع دما بالا بگیرد و تمام آن را به کار تبدیل کند. به بیان ساده‌تر ممکن نیست بازده یک ماشین گرمایی یک (۱۰۰ درصد) شود.

۱۳) **ماشین کارنو:** ماشینی که با بیشترین بازده ممکن بین دو منبع با دماهای T_H و T_C کار می‌کند و به ماده‌ای که چرخه را می‌پیماید، بستگی ندارد.

۱۴) **قانون دوم ترمودینامیک (به بیان یخچالی):** امکان ندارد گرما به‌طور خودبه‌خودی از جسم با دمای پایین‌تر (سرد) به جسم با دمای بالاتر (گرم) منتقل شود.

۱۵) **ضریب عملکرد یخچال:** نسبت گرمای گرفته‌شده از منبع دما پایین (Q_L) به کاری که موتور یخچال انجام می‌دهد (W).

فیزیک ۲- فصل ۱: الکتریسیتهٔ ساکن

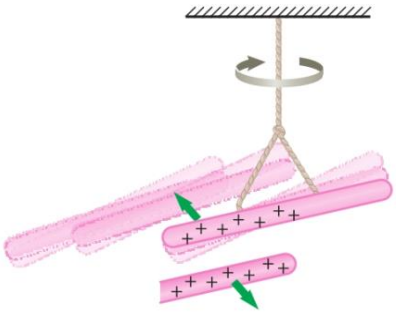
تصاویر

۱- بار الکتریکی

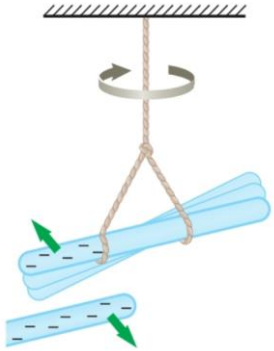
شکل‌های زیر نشان می‌دهند که:

۱) دو نوع بار الکتریکی مثبت و منفی وجود دارد.

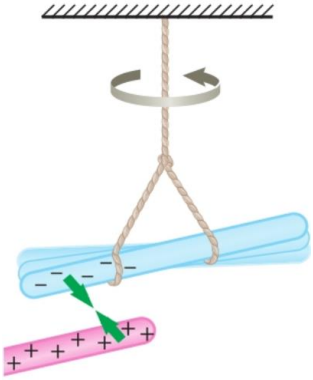
۲) نیروی بین بارهای الکتریکی هم‌نام از نوع دافعه و در حالت ناهم‌نام از نوع جاذبه است.



الف) وقتی دو میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

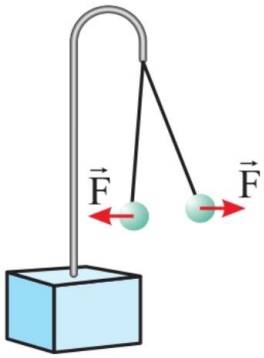


ب) وقتی دو میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



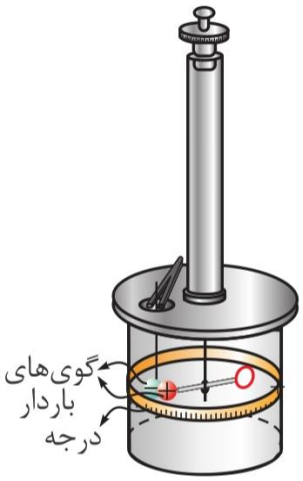
پ) وقتی میلهٔ پلاستیکی مالش داده‌شده با پارچهٔ پشمی را به میلهٔ شیشه‌ای مالش داده‌شده با پارچهٔ ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.

۲-نیروی بین دو گلولهٔ هم‌نام



گلوله‌های باردار هم‌نام یکدیگر را با نیروی هم‌اندازه دفع می‌کنند. نتیجه آن‌که نیروهای بین دو ذرهٔ باردار، در نقش نیروهای کنش و واکنش هستند.

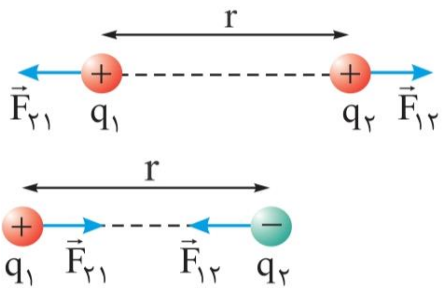
۳- ترازوی پیچشی کولن



کولن با ترازوی پیچیی‌اش نشان داد که نیروی بین دو بار با حاصل‌ضرب اندازهٔ دو بار رابطهٔ مستقیم و با مربع فاصلهٔ بین آن‌ها نسبت وارون دارد.

۴- نیروی الکتریکی بین دو بار

شکل روبه‌رو نیروهای بین دو بار الکتریکی را نشان می‌دهد.

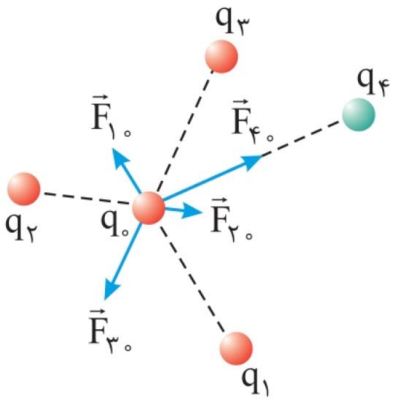


به اندیس نیروها خوب نگاه کنید.

الف) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی هم‌نام، دافعه است.

ب) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ناهم‌نام، جاذبه است.

۵- اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی



نیروی خالص (برآیند) وارد بر بار نقطه‌ای q_0 از جمع برداری تک‌تک نیرهای وارد بر آن محاسبه می‌شود.

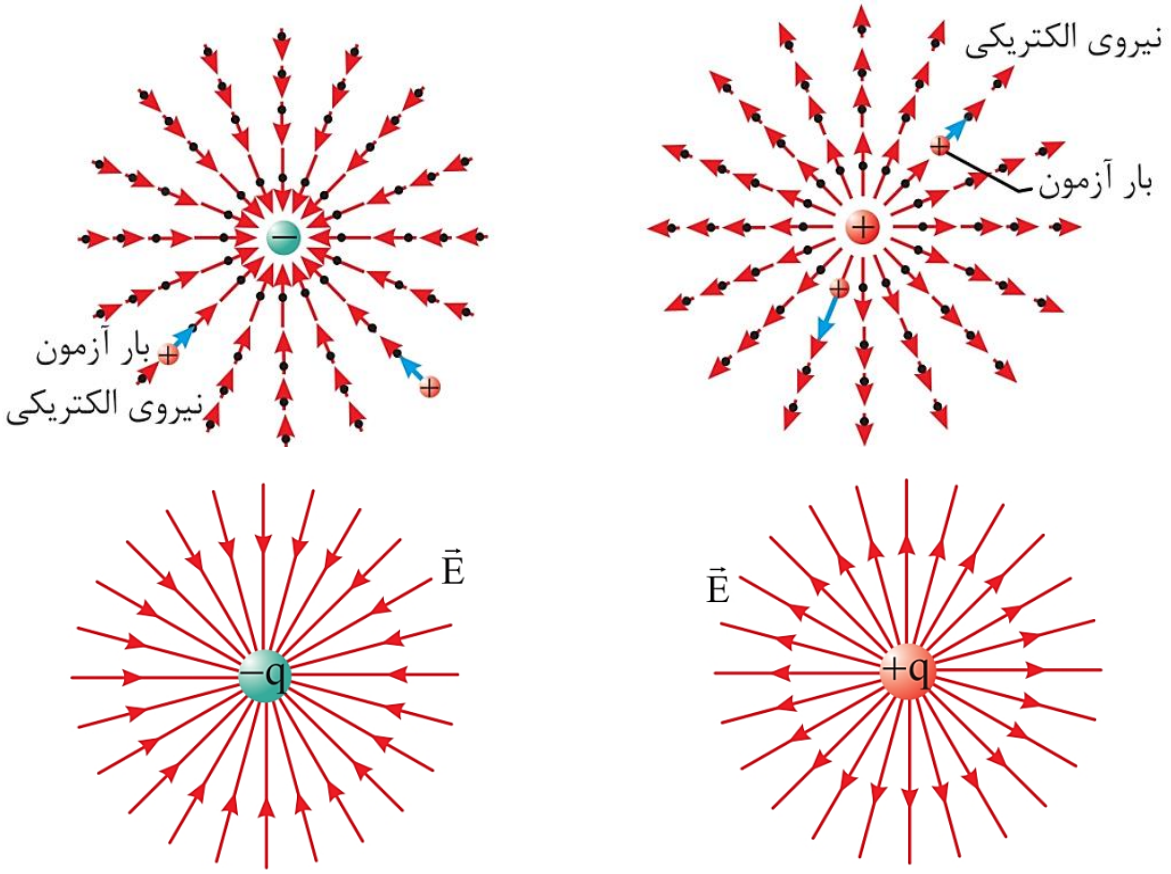
$$\vec{F}_{T_0} = \vec{F}_{1_0} + \vec{F}_{2_0} + \vec{F}_{3_0} + \vec{F}_{4_0}$$

۶- مولد وان‌دوگراف

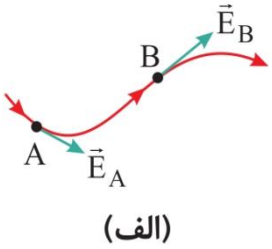
وسیله‌ای است که با استفاده از یک تسمهٔ متحرک، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک توخالی فلزی جمع می‌کند. در آزمایشگاه برای انتقال بار الکتریکی از این وسیله استفاده می‌شود. انتقال بار در این مولد، به روش مالشی انجام می‌شود.

۷- خطوط میدان الکتریکی

در شکل‌های زیر خطوط فرضی میدان الکتریکی برای یک بار نقطه‌ای رسم شده است. با توجه به این‌که جهت خط میدان در هر نقطه از میدان همواره هم‌سو با نیروی وارد بر بار آزمون (مثبت) است، خطوط میدان الکتریکی از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می‌شوند.

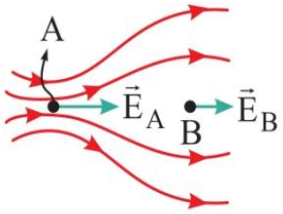


۸- ویژگی‌های خطوط میدان الکتریکی



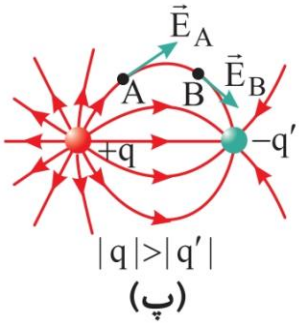
(الف)

الف) بردار میدان الکتریکی در هر نقطه، باید مماس بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد.



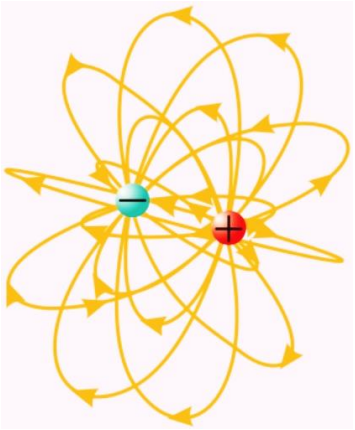
(ب)

ب) هر جا خطوط میدان متراکم‌تر باشد، اندازهٔ میدان هم در آن‌جا بیشتر است؛ یعنی: $E_A > E_B$

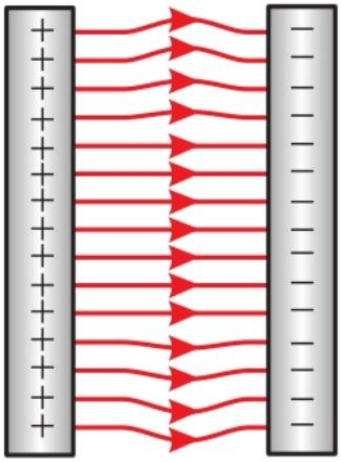


(پ)

پ) خط‌های میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند و هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؛ یعنی از هر نقطهٔ دلخواه در فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.

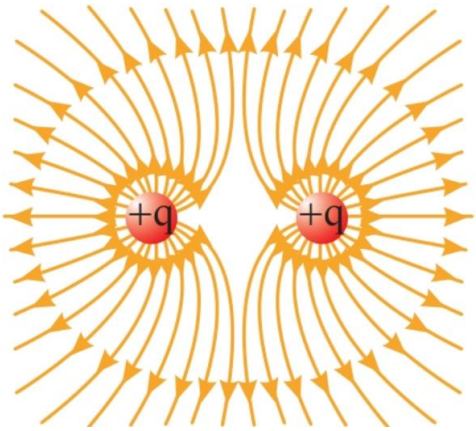


نکته: خطوط میدان در واقع طرحی سه‌بعدی دارند و صرفاً برای سادگی آن‌ها را دوبعدی رسم می‌کنیم.



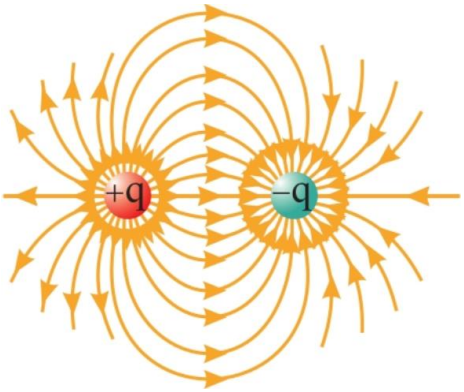
۹- میدان الکتریکی یکنواخت

خط‌های میدان بین دو صفحهٔ رسانای موازی و به دور از لبه‌های صفحات، **مستقیم، موازی** و **هم‌فاصله‌اند.** به این میدان الکتریکی، میدان الکتریکی یکنواخت می‌گویند.



۱۰- میدان الکتریکی بین دو بار مثبت هم‌اندازه

چون دو بار هم‌نام و هم‌اندازه‌اند، خطوط میدان آن چنین شکل متقارنی دارند. اگر هم دو بار منفی بودند، تغیی در شکل میدان ایجاد نمی‌شد، فقط جهت خطوط به سمت داخل بارها تغییر می‌کرد.



۱۱- میدان الکتریکی دوقطبی الکتریکی

در این حالت دو ذره با بار یکسان و علامت مخالف در فاصلهٔ معینی از هم قرار می‌گیرند. به این آرایش، دوقطبی الکتریکی گفته می‌شود.

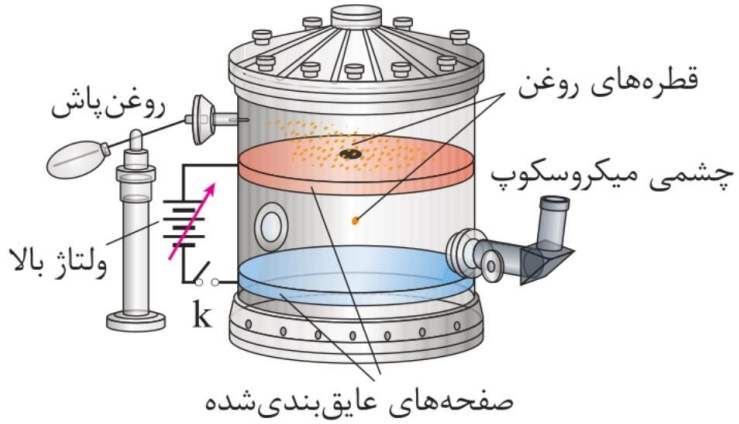
۱۲- آزمایش قطره-روغن میلیکان

آقای میلیکان:

۱) به کمک یک منبع ولتاژ بالا بین دو ورقهٔ فلزی موازی و افقی میدان الکتریکی قائم یکنواخت $\vec{E}$ را تولید کرد.

۲) در مرکز ورقهٔ بالایی چند سوراخ ریز ایجاد کرد تا بتواند قطره‌های روغن یک روغن‌پاش را بین دو ورقه بپاشد. اکثر این قطره‌ها در اثر مالش با دهانهٔ خروجی روغن‌پاش، باردار می‌شوند.

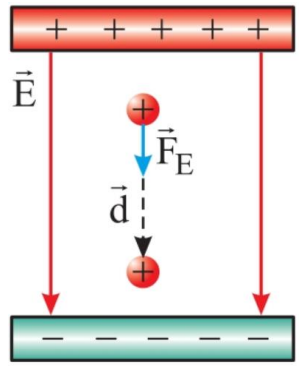
۳) با تغییر میدان الکتریکی بین صفحات، حرکت قطرهٔ روغن را بررسی کرد و توانست بار الکتریکی هر قطره را مشخص کند.



نتیجه: میلیکان با تکرار زیاد این آزمایش فهمید که بار الکتریکی قطره‌ها مضربی از بار بنیادی (e) است (کوانتومی بودن بار الکتریکی را ثابت کرد).

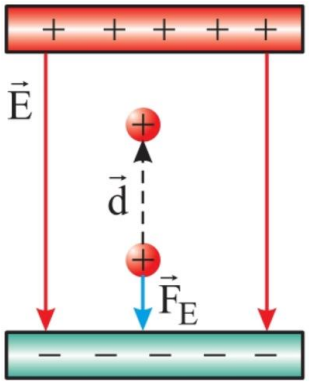
۱۳- کار میدان الکتریکی و تغییر انرژی پتانسیل گرانشی درحالت‌های مختلف

الف) بار مثبت را در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم:



$$\theta = 0 \xrightarrow{W_E = Fd\cos\theta} W_E > 0$$
$$\xrightarrow{\Delta U_E = -W_E} \Delta U_E < 0$$

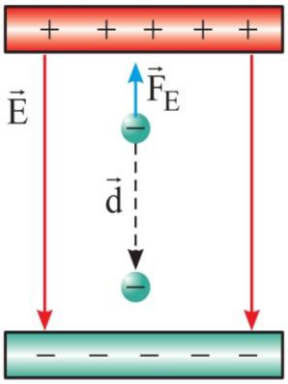
ب) بار مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم:



$$\theta = 180^\circ \xrightarrow{W_E = Fd\cos\theta} W_E < 0$$
$$\xrightarrow{\Delta U_E = -W_E} \Delta U_E > 0$$

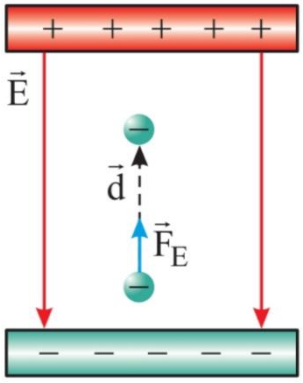
حواستان باشد که θ زاویهٔ بین بردار جابه‌جایی ($\vec{d}$) و نیروی الکتریکی ($\vec{F}_E$) است.

پ) بار منفی در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می کنیم:



$$\theta = ۱۸۰^\circ \Rightarrow W_E < ۰ \Rightarrow \Delta U_E > ۰$$

ت) بار منفی را در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می کنیم:



$$\theta = ۰ \Rightarrow W_E > ۰ \Rightarrow \Delta U_E < ۰$$

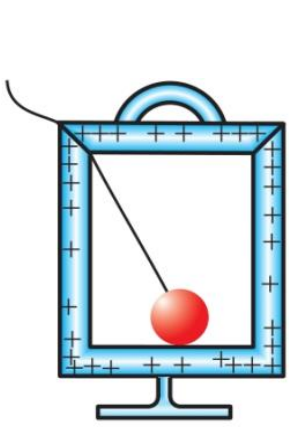
اگر بار را عمود بر خطوط میدان جابه‌جا کنیم ($\theta = ۹۰^\circ$) کار میدان و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی صفر خواهد بود.

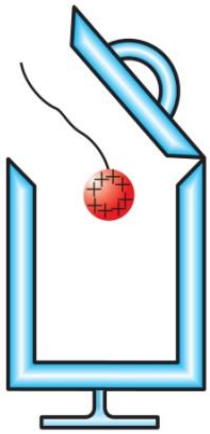
۱۴- آزمایش توزیع بار الکتریکی در داخل رساناها

مراحل انجام آزمایش:

الف) یک گوی فلزی باردار را وارد یک ظرف رسانای بدون بار می کنیم.

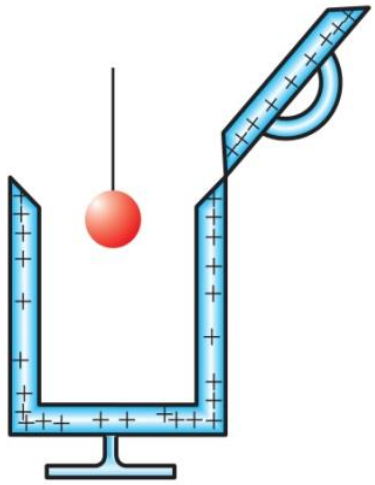
ب) گوی فلزی را با کف ظرف تماس می‌دهیم و بعد درپوش فلزی را می‌بندیم.


(ب)


(الف)

پ) درپوش فلزی را با دستهٔ عایق برمی‌داریم و گوی را از ظرف خارج می‌کنیم.

ت) حالا گوی را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می‌کنیم و می‌بینیم که عقربهٔ الکتروسکوپ تکان نمی‌خورد.



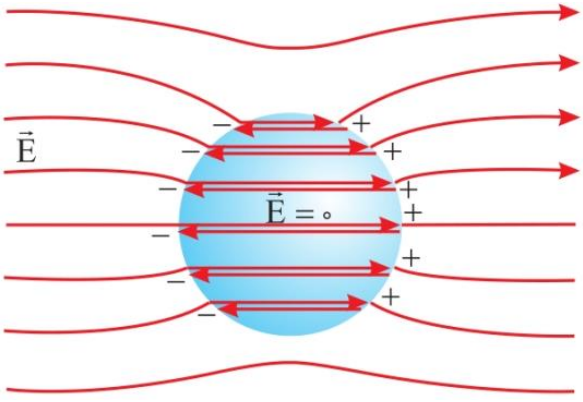
(پ)

(ت)

نتیجه: بار اضافی داده‌شده به یک رسانا فقط بر روی سطح خارجی آن پخش می‌شود و داخل رسانا هیچ باری باقی نمی‌ماند.

۱۵- رسانای خنثی در میدان الکتریکی خارجی

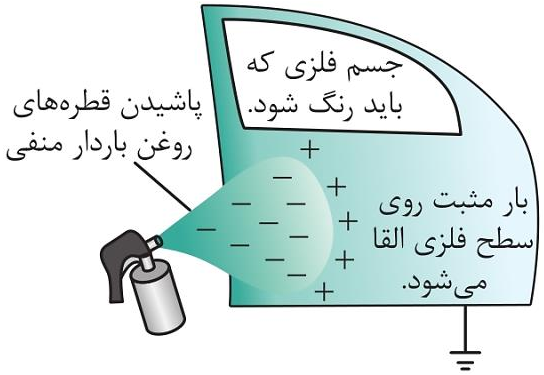
در این شکل، یک گوی رسانا داخل میدان الکتریکی خارجی قرار دارد. در این حالت، توزیع بار روی گوی به گونه‌ای است که میدان الکتریکی داخل آن صفر می‌شود.



نکته: میدان الکتریکی خارجی، باعث جدا شدن بارهای مثبت و منفی در دو وجه رسانا می‌شود، به شکلی که میدان حاصل از این بارها، میدان خارجی درون رسانا را خنثی می‌کند.

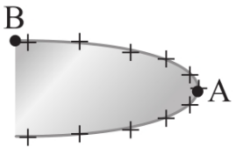
۱۶- رنگ‌پاش الکتروستاتیکی

یکی از کاربردهای پدیدهٔ القای بار الکتریکی، رنگ‌پاش الکتروستاتیکی است. در این روش سطح فلزی که قرار است رنگ شود به زمین متصل می‌شود. از طرفی قطره‌های ریز رنگ هنگام خروج از دهانهٔ رنگ‌پاش باردار می‌شوند.



از آن‌جا که جسم فلزی به زمین وصل است، با نزدیک شدن قطره‌های رنگ به آن، بارهای القایی با علامت مخالف روی وجه نزدیک به قطره‌های رنگ، ظاهر می‌شوند تا در نهایت، قطره‌های جذب سطح فلزی می‌شوند. این روش رنگ‌پاشی، از پاشیده شدن قطره‌ها به اطراف جلوگیری می‌کند و رنگ یک‌دستی روی سطح جسم فلزی پخش می‌شود.

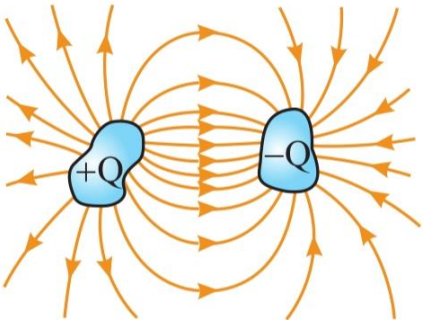
۱۷- چگالی سطحی بار در اجسام رسانا



آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تراکم بار (چگالی سطحی بار) در نقاط نوک تیز روی سطح جسم رسانای باردار بیشتر از نقطه‌های دیگر است. مثلاً در شکل زیر چگالی سطحی بار در نقطهٔ A بیشتر از نقطهٔ B است.

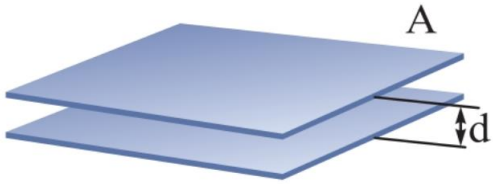
به زبان ریاضی: $\sigma_A > \sigma_B$

۱۸- ساختمان کلی خازن



شکل مقابل، آرایش کلی یک خازن معمولی را نشان می‌دهد. خازن، شامل دو رسانا با هر شکلی است که از محیط اطراف خود منزوی شده‌اند و در فاصلهٔ معینی از هم قرار دارند.

۱۹- خازن تخت



این خازن، شامل دو صفحهٔ رسانای **موازی** به مساحت A است که به فاصلهٔ d از هم قرار گرفته‌اند. خازن تخت و هر خازن دیگری را در مدار با نماد ⊣⊢ نشان می‌دهند.

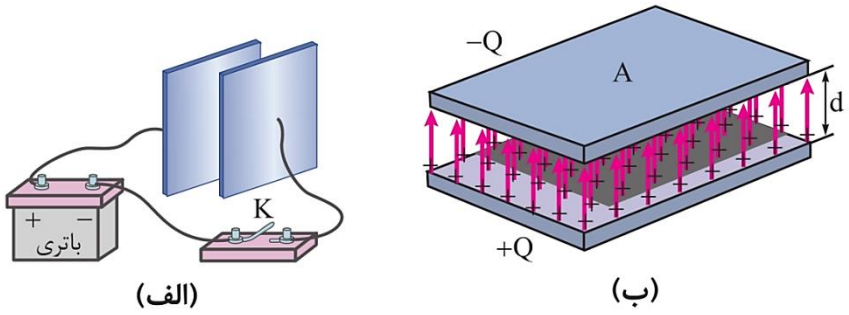
نکته: فضای بین دو صفحهٔ خازن می‌تواند خلأ، هوا یا هر مادهٔ نارسانای دیگری هم باشد که به آن دی‌الکتریک می‌گویند.

۲۰- شارژ خازن

اول یک خازن خالی را در مداری مثل شکل (الف) قرار می‌دهیم. با بستن کلید k، بار از طریق سیم‌های رسانا به جریان درمی‌آید و این شارش بار آن‌قدر ادامه می‌یابد تا این‌که اختلاف پتانسیل میان دو صفحهٔ خازن با اختلاف پتانسیل باتری یکسان شود.

در این حالت، خازن شارژ می‌شود و دیگر هیچ باری از آن عبور نمی‌کند.

با شارژ شدن خازن، صفحه‌های خازن دارای اندازهٔ بار یکسان ولی با علامت مخالف Q+ و Q- می‌شوند. با توجه به همین موضوع بین دو صفحهٔ خازن میدان الکتریکی از صفحهٔ مثبت به صفحهٔ منفی ایجاد می‌شود (شکل ب).

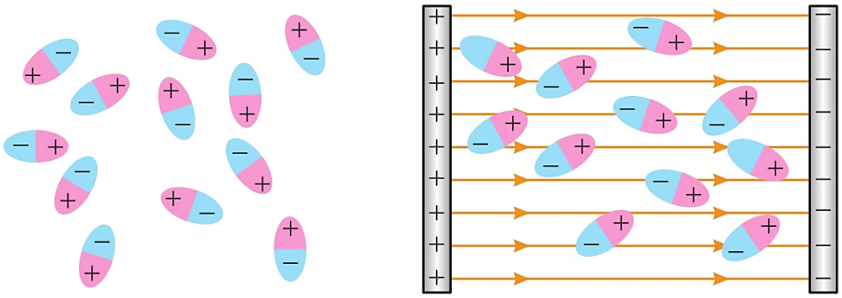


بار یک خازن را به‌صورت Q نشان می‌دهند که همان بار صفحهٔ مثبت است.

۲۱- دی‌الکتریک قطبی در میدان الکتریکی

در نبود میدان الکتریکی، جهت‌گیری مولکول‌های دوقطبی یک دی‌الکتریک قطبی نامنظم است (شکل الف).

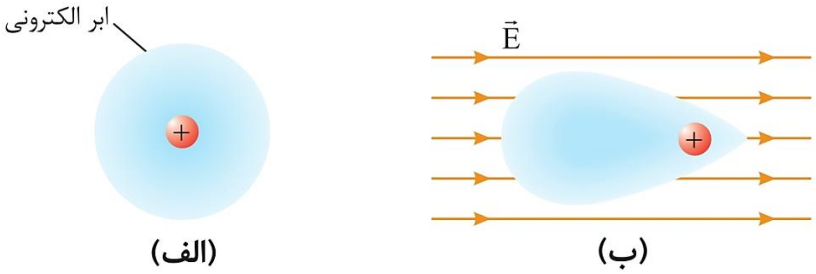
اما وقتی دی‌الکتریک قطبی در میدان الکتریکی بین دو صفحهٔ خازن قرار می‌گیرد مولکول‌های دوقطبی می‌کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی خارجی هم ردیف کنند (شکل ب).



(الف) (ب)

۲۲- دی‌الکتریک غیرقطبی در میدان الکتریکی

در نبود میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی یک دی‌الکتریک غیرقطبی بر هم منطبق‌اند(شکل الف). اما در حضور میدان الکتریکی ، مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند و دی‌الکتریک قطبیده می‌شود. در این حالت، ابر الکترونی درخلاف جهت میدان جابه‌جا می‌شود (شکل ب).

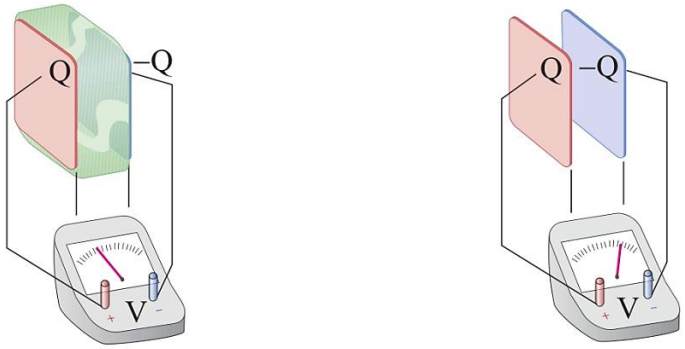


(الف) (ب)

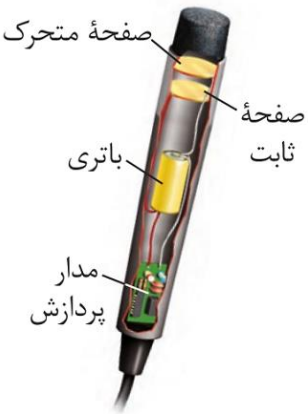
نکته: با کمی تحلیل می‌توان فهمید که اگر یک دی‌الکتریک (چه قطبی و چه غیرقطبی) بین صفحه‌های خازن قرار گیرد، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد.

۲۳- تأثیر دی‌الکتریک بر اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ خازن

با وارد کردن دی‌الکتریک بین صفحه‌های خازن، ظرفیت آن افزایش می‌یابد. حالا با توجه به رابطهٔ $V = \frac{Q}{C}$ از آن‌جا که بار الکتریکی تغییری نکرده، اختلاف پتانسیل باید کاهش یابد. شکل زیر، این گفته را تأیید می‌کند.



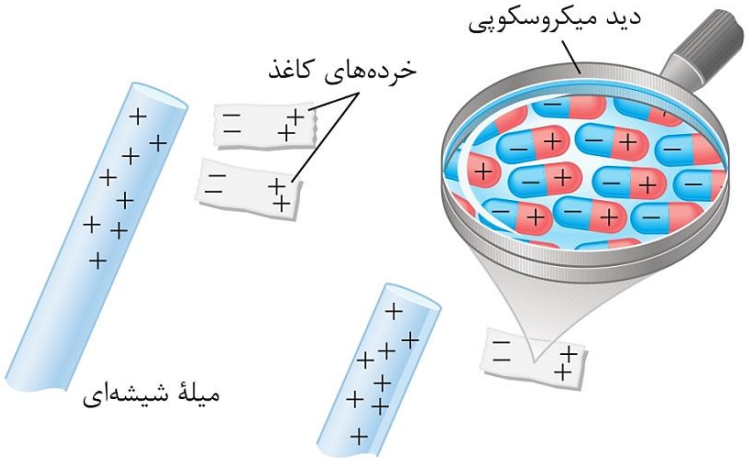
۲۴- میکروفون خازنی



این میکروفون یک خازن دارد که یکی از صفحه‌های آن ثابت و صفحهٔ دیگر (دیافراگم) متحرک است. با ارتعاش صفحهٔ متحرک خازن بر اثر صدا، فاصلهٔ صفحه‌ها تغییر می‌کند که باعث تغییر ظرفیت خازن می‌شود. نتیجهٔ این اتفاق، ایجاد یک سیگنال به خصوص و ارسال آن به یک بلندگو است.

۲۵- ربایش خرده‌های کاغذ توسط میلهٔ باردار شیشه‌ای

مولکول‌های غیرقطبی مثل کاغذ، وقتی در میدان الکتریکی خارجی ناشی از میلهٔ باردار قرار می‌گیرند، بر اثر القا، قطبیده می‌شوند. این میدان الکتریکی باعث جدا شدن مرکز بارهای مثبت و منفی از هم می‌شود، جوری که سرِ منفی خرده‌های کاغذ در مقابل بار مثبت شیشه قرار گیرد و در نهایت جذب آن شود.



مفاهیم

۱) **ذرات زیراتمی:** اتم‌ها از سه ذرهٔ الکترون (بار منفی)، پروتون (بار مثبت) و نوترون (بدون بار) تشکیل می‌شوند.

۲) **سری الکتریسیتهٔ مالشی:** نوع باری که دو جسم بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آن‌ها بستگی دارد. برای تعیین نوع این بار، از سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک) استفاده می‌شود؛ این‌گونه که هر جسمی که به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد، الکترون‌خواهی بیشتری دارد، به‌خاطر همین منفی می‌شود و جسم دیگر که به انتهای مثبت نزدیک‌تر است، مثبت می‌شود.

۳) **اصل پایستگی بار:** مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است؛ یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

۴) **دستگاه منزوی:** دستگاهی است که نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد.

۵) **اصل کوانتیده بودن بار:** اندازهٔ بار الکتریکی یک جسم، همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است.

۶) **نیروی الکتریکی:** نیرویی که اجسام به خاطر داشتن بار الکتریکی به هم وارد می‌کنند که می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد.

۷) **مفهوم میدان الکتریکی:** بار q خاصیتی در فضای اطراف خود ایجاد می‌کند که به آن میدان الکتریکی بار q گفته می‌شود.

۸) **بار آزمون:** بار خیلی کوچک و مثبت

۹) گرده‌افشانی زنبور عسل در اثر پدیدهٔ القای الکتریکی است.

۱۰) **انرژی پتانسیل الکتریکی:** انرژی و ابسته به نیروی الکتریکی بین دو جسم!

۱۱) معمولاً پتانسیل زمین یا نقطه‌ای از مدار را برابر صفر می‌گیرند و برای همین مهندسان برق در اصطلاح به آن نقطهٔ زمین می‌گویند و پتانسیل نقطه‌های دیگر را نسبت به آن می‌سنجند. در مدارهای الکتریکی، نقطهٔ زمین را با نماد ⏚ نشان می‌دهند.

۱۲) **حالت تعادل الکتروستاتیکی:** وقتی که پتانسیل الکتریکی تمام نقاط یک رسانا یکسان شود، جسم در این حالت قرار دارد؛ یعنی بارهای الکتریکی آن در حال تعادل‌اند و برایند نیروهای وارد بر آن‌ها صفر است.

۱۳) **رسانای منزوی:** جسم رسانایی که به وسیلهٔ عایقی از محیط اطراف خود جدا شده و تحت تأثیر هیچ میدان الکتریکی خارجی نباشد.

نکته: در یک جسم رسانای منزوی (خنثی)، در مدت بسیار کوتاهی (از مرتبهٔ 10^{-9} s) بار در سطح خارجی رسانا پخش می‌شود و میدان الکتریکی داخل آن صفر می‌شود.

۱۴) **صفحات هم‌پتانسیل:** تمام نقاط روی یک صفحهٔ فرضی عمود بر خطوط میدان الکتریکی در فضا، پتانسیل یکسانی دارند.

۱۵) **چگالی سطحی بار الکتریکی:** بار الکتریکی موجود در واحد سطح

۱۶) وارد کردن دی‌الکتریک بین صفحه‌های خازن، باعث کاهش اندازهٔ میدان الکتریکی می‌شود.

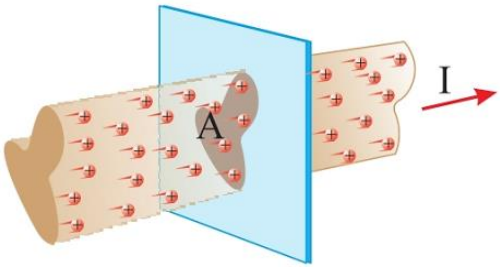
۱۷) **فروریزش الکتریکی:** اگر اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ یک خازن از مقدار مشخصی بیشتر شود، تعدادی از الکترون‌های اتم مادهٔ دی‌الکتریک توسط میدان الکتریکی ایجادشده بین دو صفحه، کنده می‌شوند و مسیرهای

رسانایی درون دی‌الکتریک ایجاد می‌شود که باعث تخلیهٔ خازن می‌گردد. به این پدیده فروریزش الکتریکی می‌گویند.

فصل ۲: جریان الکتریکی

تصاویر

۱- مفهوم جریان الکتریکی



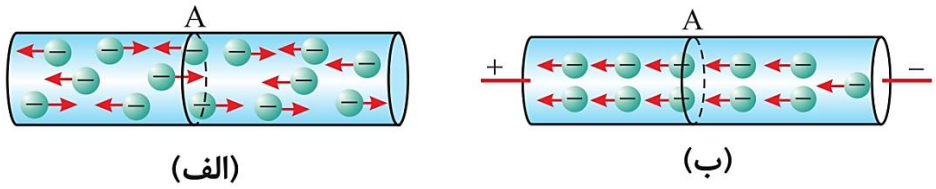
هر وقت انتقال خالص بار از یک سطح مقطع معین انجام شود، جریان الکتریکی خواهیم داشت. مثلاً در شکل زیر، باریکه‌ای از بارهای مثبت از سطح مقطع A می‌گذرند و جریان I را ایجاد می‌کنند.

بار مثبت جابه‌جا می‌شود، ولی ذرهٔ پروتون نه! در واقع ۲ بار مثبت یعنی کم‌تر بودن تعداد الکترون‌ها از پروتون‌ها به اندازه ۲ واحد!

۲) تأثیر میان الکتریکی و اختلاف پتانسیل بر الکترون‌های آزاد

در شکل (الف)، در دو سر سیم اختلاف پتانسیل وجود ندارد؛ برای همین شارش بار خالصی از سطح A نداریم و جریان صفر است.

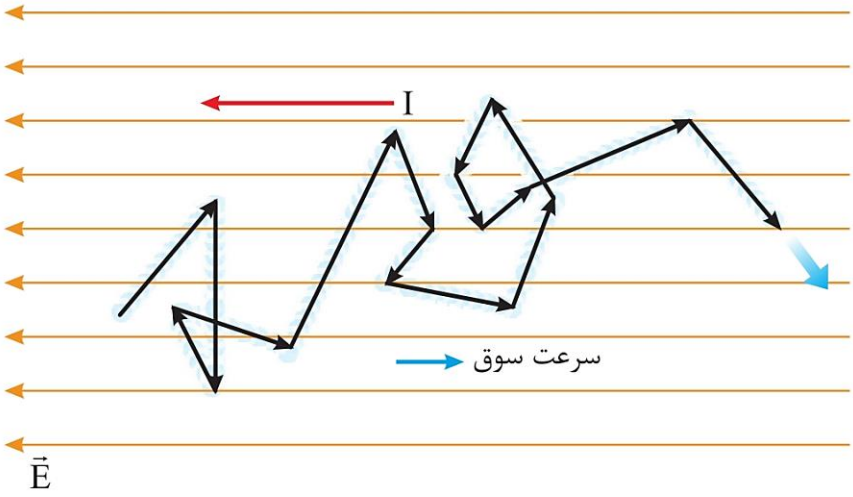
اما در شکل (ب)، با ایجاد و اختلاف پتانسیل الکتریکی، در دو سر سیم رسانا دیگر شارش بار صفر نیست و جریان خواهیم داشت.



۳- سرعت سوق

وقتی درون یک رسانای فلزی میدان الکتریکی ایجاد می‌شود به الکترون‌های آن نیرویی در خلاف جهت میدان وارد می‌شود. این نیرو باعث می‌شود الکترون‌های حرکت کاتوره‌ای زیگزاگی (نامنظم) خود را کمی تغییر دهند و با سرعتی متوسط که خلاف جهت میدان است، به طور بسیار آهسته‌ای سوق پیدا کنند. به این سرعت، سرعت سوق می گویند.

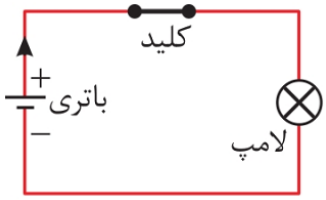
جهت قراردادی جریان الکتریکی (I)، در خلاف جهت سوق الکترون‌ها است.



۴- مدار الکتریکی ساده

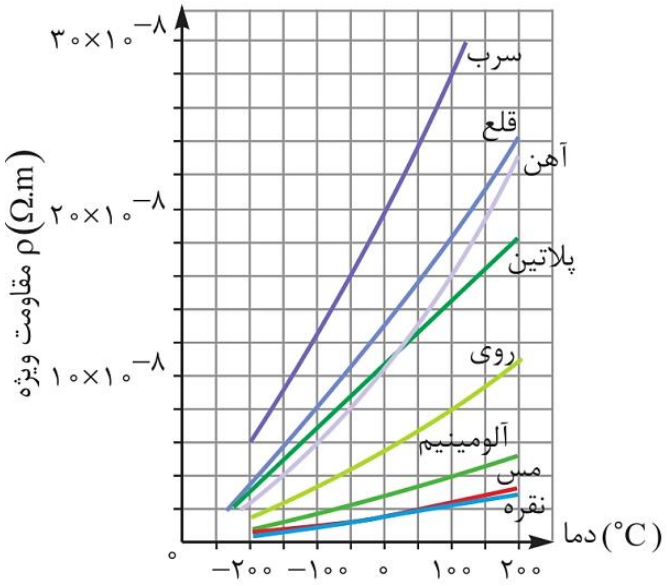
برای رسم مدارها معمولاً از نمادهایی مشخص استفاده می‌شود. درشکل زیر، یک مدار الکتریکی ساده را می‌بینید که شامل لامپ، باتری، کلید و سیم‌های رابط است.

با توجه به جهت قراردادی جریان، جریان الکتریکی در مدار از پایانهٔ مثبت به پایانهٔ منفی باتری خواهد بود.



۵- تأثیر دما بر مقاومت ویژهٔ فلزات

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مقاومت ویژهٔ فلزات در یک بازهٔ دمایی نسبتاً بزرگ تقریباً به طور خطی تغییر می کند.

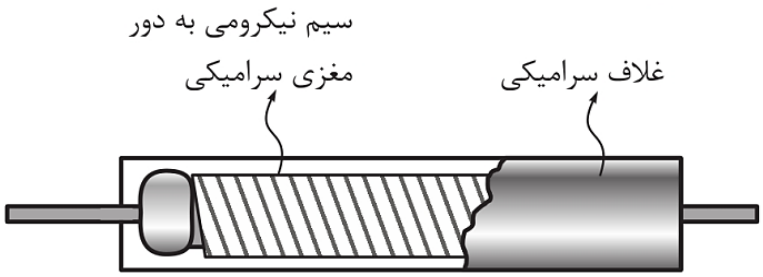


۶- مقاومت پیچه‌ای (آجری)

این دسته از مقاومت‌ها، پیچه‌ای از سیم نازک (مثلاً آلیاژ نیکروم یا منگانین) هستند که در غلافی سرامیکی قرار می‌گیرند. این مقاومت‌ها:

الف) برای به‌دست آوردن مقاومت‌های پایین و بسیار دقیق به کار می‌روند.

ب) توان تحملشان بالا است.

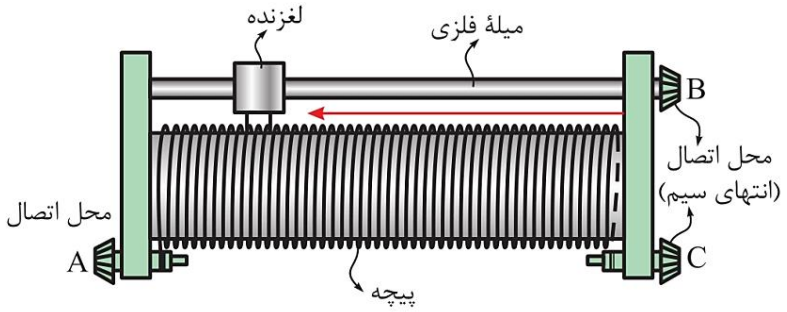


۷- رئوستا و پتانسیومتر

رئوستا و پتانسیومتر هر دو مقاومت پیچه‌ای **متغیر** هستند، با این تفاوت که از رئوستا برای کنترل جریان و از پتانسیومتر برای کنترل اختلاف پتانسیل استفاده می‌شود (البته کتاب درسی به این مقاومت اشاره نکرده است).

رئوستا، از یک پیچیهٔ با مقاومت ویژهٔ نسبتاً زیاد، دکمهٔ لغزنده (از جنس فلز) و میلهٔ فلزی با مقاومت کم تشکیل شده است.

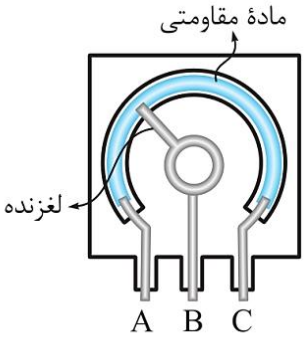
با استفاده از دکمهٔ لغزنده، که پیچه را به میله متصل می‌کند، می‌توانیم هر طول دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهیم (شکل الف).



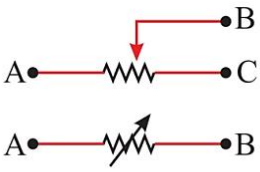
(الف)

نکته: جریان از محل اتصال A به پیچه وارد و از طریق پیچه و میله و در نهایت محل اتصال B خارج می‌شود.

در پتانسیومتر، با چرخاندن لغزنده به سمت راست، طول مادهٔ مقاومتی که از آن جریان می‌گذرد، بیشتر و باعث افزایش R می‌شود. در این‌جا هم جریان از پایهٔ A وارد و از پایهٔ B خارج می‌شود (شکل پ). در مدارهای الکتریکی رئوستا یا پتانسیومتر را با یکی از دو نماد شکل (پ) نشان می‌دهیم.



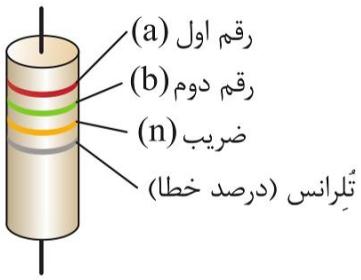
(ب)



(پ)

۸- مقاومت‌های ترکیبی

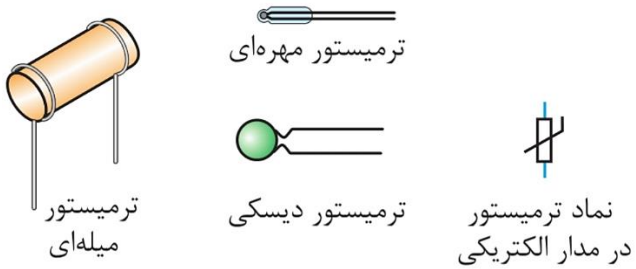
این مقاومت‌ها، معمولاً از کربن، برخی نیم‌رسانا‌ها، و یا لایه‌های نازک فلزی ساخته می‌شوند. روی این مقاومت‌ها، ۳ یا ۴ حلقهٔ رنگی وجود دارد که هر رنگ، معرف یک عدد (کد) است. مطابق شکل دو حلقهٔ اول به ترتیب رقم اول و دوم، حلقهٔ سوم توان عدد ۱۰ و حلقهٔ چهارم در صورت وجود، تُلرانس (درصد خطا) را نشان می‌دهد. در صورت نبود این حلقه، تُلرانس ۲۰ درصد است. به زبان ریاضی: $\bar{R}_s = \overline{ab} \times 10^n$



۹- ترمیستور (مقاومت حساس به دما)

این نوع مقاومت‌ها خیلی بیشتر از مقاومت‌های معمولی، به تغییرات دما حساس‌اند، برای همین از آن‌ها به‌عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما مثلاً زنگ خطر آتش، دماسنج‌های الکتریکی (ترموکوپل) و دماپاها (ترموستات‌ها) استفاده می‌شود.

ترمیستورهای ۳ مدل معروف دارند: **دیسکی، مهره‌ای و میله‌ای**

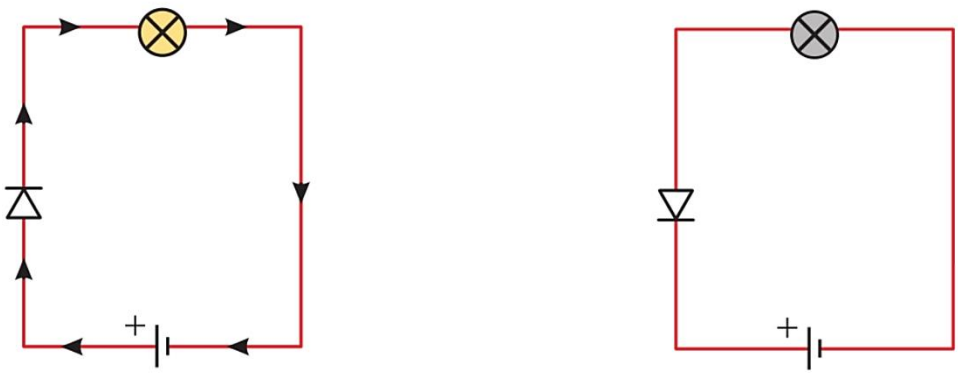


۱۰- مقاومت‌های نوری (LDR)

مقاومت الکتریکی این نوع مقاومت‌ها به نور تابیده‌شده به آن بستگی دارد. این گونه که با افزایش شدت نور، مقاومت آن‌ها کم می‌شود. جنس آن‌ها از مواد نیم‌رسانا است. LDR را با یکی از دو نماد زیر نمایش می‌دهند.

۱۱- دیودها

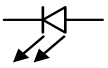
کار دیودها، یکسو کردن جهت جریان در مدار است؛ برای همین به آن‌ها یکسوکنندهٔ جریان می‌گویند و با نماد نشان داده می‌شوند. جهت پیکان، همان جهتی است که جریان می‌تواند از دیود عبور کند. اگر جهت جریان عوض شود، دیود با مقاومت زیاد خودش مانع از عبور جریان می‌شود.



نکته: از دیود برای تبدیل جریان‌های متناوب (AC) به جریان مستقیم (DC) استفاده می‌شود.

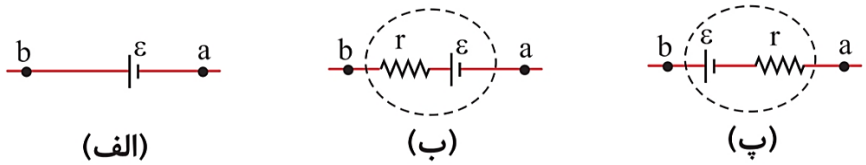
۱۲- دیود نورگسیل (LDE)

یک مدل معروف دیود، LDEها هستند که نور را گسیل می‌کنند، یعنی انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می‌کنند.

این دیود را با نماد  نشان می‌دهند. در ساختمان LED از نیم‌رساناهایی استفاده می‌شود که می‌توانند نورهایی از فروسرخ تا فرابنفش تابش کنند. ویژگی خیلی خوب LEDها در مقایسه با لامپ‌های معمولی، توان الکتریکی کم و در عوض تولید نور بسیار زیاد است. از LED در چراغ خودروها، روشنایی منازل، تابلوهای تبلیغاتی و نمایشگرهای LED استفاده می‌شود. شکل رو به‌رو، ساختمان کلی این دیود را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید، پایهٔ بلند به پایانهٔ مثبت و پایهٔ کوتاه به پایانهٔ منفی وصل می‌شود.

۱۳- نماد نیروی محرکهٔ الکتریکی در مدار

در مدارهای الکتریکی، منبع نیرو محرکهٔ آرمانی (بدون مقاومت درونی r) را به‌صورت (الف) و منبع‌های واقعی را به صورت (ب) یا (پ) نشان می‌دهند.



مفاهیم

۱) **تفاوت سرعت الکترون‌ها و سرعت سوق:** تندی حرکت کاتوره‌ای الکترون‌های آزاد از مرتبهٔ $10^6\ m/s$ و سرعت سوق الکترون‌ها از مرتبهٔ mm/s ۱ است.

۲) **جریان الکتریکی متوسط:** نسبت بار خالص عبوری از رسانا (Δq) به بازهٔ زمانی (Δt)؛ یعنی $\frac{\Delta q}{\Delta t}$!

۳) **جریان مستقیم (DC):** مقدار و جهت آن با زمان تغییر نمی‌کند.

۴) **مقاومت:** واژهٔ مقاومت دو معنی دارد؛ یکی به معنای $Resistance$ (کمیت مقاومت) که در فرمول‌ها با R نشان می‌دهیم و یکی به معنای $Resistor$ (قطعهٔ مقاومت‌دار) که در مدار با نماد نشان داده می‌شود.

۵) **مقاومت اهمی:** اگر مقاومت الکتریکی در ولتاژهای مختلف (دما ثابت)، مقدار ثابتی باشد، آن وسیله از قانون اهم پیروی می‌کند. به این وسیله، مقاومت(رسانای) اهمی گفته می‌شود.

۶) **مقاومت غیراهمی:** به وسایلی که با تغییر V، مقاومتشان تغییر می‌کندو از قانون اهم پیروی نمی‌کنند، رسانا یا مقاومت غیراهمی می‌گویند. مثل LEDها!

۷) **منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی:** وسیله‌ای که با انجام کار روی بار الکتریکی، جریان ثابتی از بارهای الکتریکی را در مدار ایجاد می‌کند.

۸) **قاعدهٔ حلقه:** در هر دور زدن کامل حلقه‌ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های اجزای مدار صفر است.

۹) **اتصال کوتاه:** اگر دو نقطه از مدار را با سیم بدون مقاومت به هم وصل کنیم، آن دو نقطه اتصال کوتاه می‌شود؛ یعنی جریان عبوری صفر می‌شود و می‌توانیم آن بخش را از مدار حذف کنیم.

۱۰) **ولت‌سنج آرمانی:** ولت سنجی که مقاومتش بی‌نهایت است و از آن جریانی عبور نمی‌کند.

۱۱) **آمپرسنج آرمانی:** آمپرسنجی که مقاومتش صفر است و به خاطر همین مقدار جریان را کاملاً دقیق نشان می‌دهد.

۱۲) **قاعدل انشعاب:** مجموع جریان‌هایی که به هر نقطهٔ انشعاب وارد می‌شود، برابر با مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطهٔ انشعاب خارج می‌شود.

فصل ۳: مغناطیس

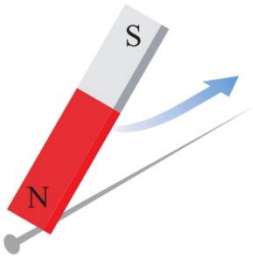
تصاویر

۱- قطب‌های آهن‌ربا

وقتی مثل شکل زیر آهن‌رباییی را داخل براده‌های آهن فرو ببریم، براده‌های آهن در دو ناحیه خیلی بیشتر از بقیهٔ جاها به آهن‌ربا می‌چسبند.

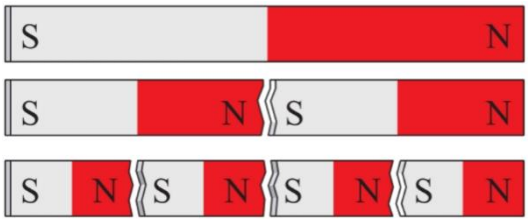
این ناحیه‌ها، قطب‌های آهن‌ربا هستند که خاصیت مغناطیسی‌شان بیشتر از جاهای دیگر آهن‌ربا است. در هر مدل آهن‌رباییی، این دو قطب وجود دارد. این قطب‌ها، N (شمال) و S (جنوب) نام دارد.

۲- آهن‌ربای موقت



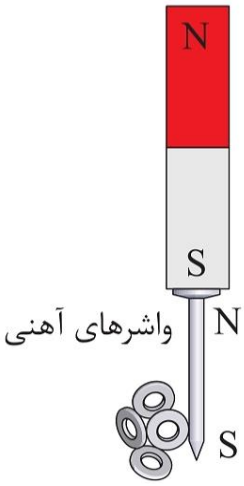
هر وقت یکی از قطب‌های آهن‌ربا (دائمی) را درچند بار در یک جهت به یک میلهٔ کوچک فلزی (مثل سوزن ته‌گرد) بکشید، سوزن برای مدتی دارای خاصیت مغناطیسی شده و آهن‌ربای موقت می‌شود.

۳- دوقطبی مغناطیسی



اگر یک آهن‌ربا را به دو قسمت تقسیم کنیم، به دو آهن‌ربای مستقل تبدیل می‌شود. اگر این کار را تکرار کنیم، باز هم هر قسمت یک آهن‌ربا می‌شود. به کوچک‌ترین آهن‌ربای ممکن، دوقطبی مغناطیسی می گویند.

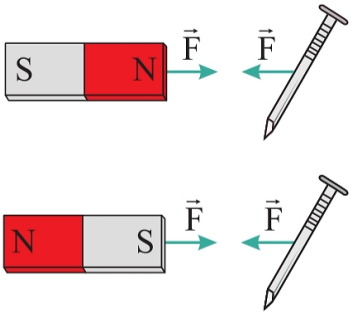
۴- القای مغناطیسی



در شکل رو به‌رو، میخ که خودش در تماس با آهن‌ربا است، واشرهای آهنی را جذب کرده؛ یعنی خود میخ هم آهن‌ربا شده!به این ویژگی که یک آهن‌ربا در جسم‌های آهنی مجاور خود خاصیت آهن‌ربایی القا می کند، القای مغناطیسی می گویند.

توجه: در القای مغناطیسی، همیشه آهن‌ربا (جسم القاکننده) قطعهٔ آهنی (جسم القاشونده) را جذب می کند.

۵- میدان مغناطیسی



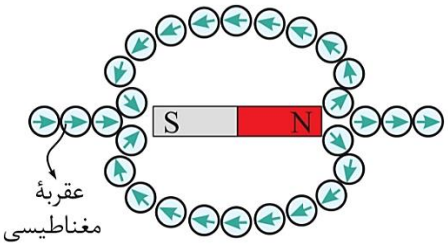
هرگاه یک میخ آهنی را به آهن‌ربا نزدیک کنیم (چه قطب N چه قطب S)، آهن‌ربا میخ را جذب می کند. این اتفاق نشان می‌دهد که در فضای اطراف آهن‌ربا، خاصیتی وجود دارد که باعث ا عمال نیرو به قطعه‌های آهنی و آهن‌رباهای اطرافش می‌شود. به این خاصیت، میدان مغناطیسی می گویند.

۶- عقربهٔ مغناطیسی

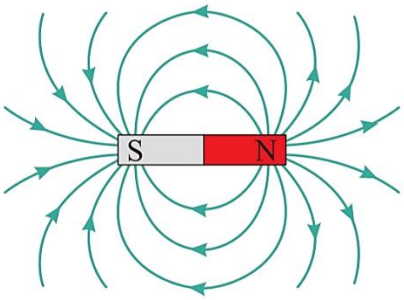
در شکل رو به‌رو، یک آهن‌ربای میله‌ای به عقربهٔ مغناطیسی نزدیک شده! همان‌طور که می‌بینید با چرخش عقربهٔ مغناطیسی قطب ناهم‌نام عقربه می‌چرخد و به سمت آهن‌ربا نزدیک می‌شود و قطب هم‌نام عقربه از آهن‌ربا دور می‌شود.

۷- خط‌های میدان مغناطیسی

برای تشخیص جهت میدان مغناطیسی، از عقربهٔ مغناطیسی استفاده می‌کنیم (شکل الف). با تعیین این جهت در چند نقطه از فضا، می‌توان خط‌های میدان مغناطیسی را رسم کرد (شکل ب).



(الف)



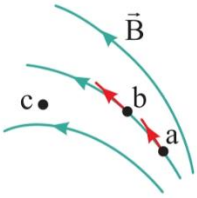
(ب)

۸- ویژگی خط‌های میدان مغناطیسی

۱) در خارج از آهن‌ربا، خط‌های میدان مغناطیسی از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شوند (شکل ب).

۲) این خط‌ها (برخلاف خطوط میدان الکتریکی) یک حلقهٔ بسته را تشکیل می‌دهند (شکل ب).

۳) هرچه تراکم خطوط مغناطیسی بیشتر باشد،م یدان مغناطیسی در آن ناحیه قوی‌تر است.



(پ)

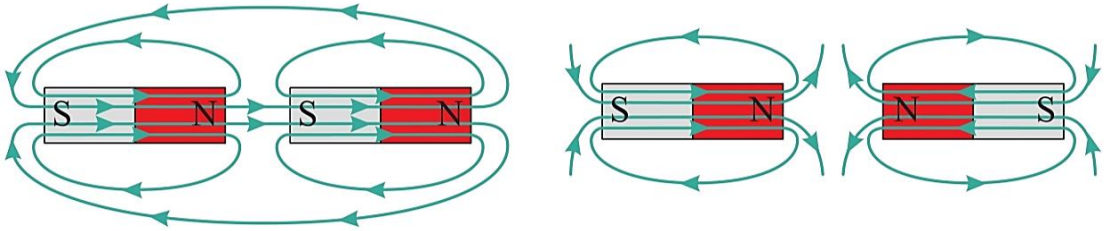
برای همین تراکم خطوط در نزدیکی قطب‌های آهن‌ربا بیشتر است. با توجه به این موضوع در شکل (پ): $B_a > B_b > B_c$

۴) بردار میدان مغناطیس در هر نقطه از فضا، مماس بر خط میدان در آن نقطه و هم‌جهت با آن است. در شکل (پ) بردار میدان در نقطهٔ a و b را می‌بینید.

۵) از هر نقطه در فضا، نهایتاً یک خط مغناطیسی عبور می‌کند، پس یعنی خط‌های میدان مغناطیسی هیچ وقت همدیگر را قطع نمی‌کنند.

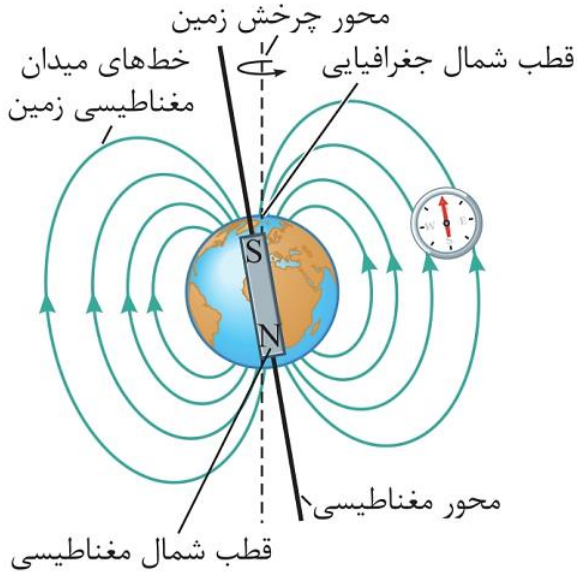
۹- خط‌های میدان مغناطیسی اطراف دو آهن‌ربا

در شکل‌های زیر، خط‌های میدان را در دو وضعیت مختلف می‌بینید.



۱۰- میدان مغناطیسی زمین

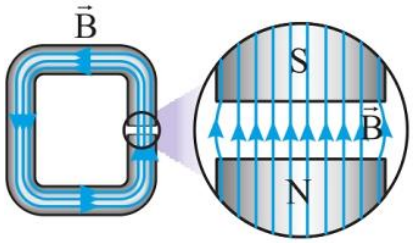
قطب N یک عقربهٔ مغناطیسی در حالت عادی (بدون میدان خارجی) جهت شمال جغرافیایی را نشان می‌دهد. دلیل این پدیده، ساختار آهن‌ربایی زمین است که قطب S آن در نزدیکی قطب شمال (N) جغرافیایی و قطب N آن در نزدیکی قطب جنوب (S) جغرافیایی زمین قرار دارد.



نکته: شکل بالا، صرفاً یک مدل ساده از ساختار پیچیده و ناشناختهٔ میدان مغناطیسی زمین است و با واقعیت کمی تفاوت دارد؛ چرا که شواهد نشان می‌دهد که جهت میدان مغناطیسی زمین در بازه‌های زمانی نامنظم (از ده هزار تا یک میلیون سال) به طور کامل وارونه می‌شود.

توجه: قطب‌های مغناطیسی زمین دقیقاً منطبق بر قطب‌های جغرافیایی آن نیستند؛ این‌گونه که قطب جنوب مغناطیسی (S) در فاصلهٔ ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی (N) قرار دارد. برای همین عقربهٔ مغناطیسی دقیقاً شمال جغرافیایی را نشان نمی‌دهد و کمی انحراف دارد.

۱۱-میدان مغناطیسی یکنواخت

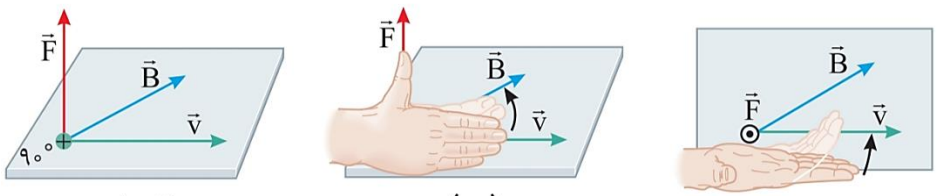


هر وقت در نقطه‌های مختلف ناحیه‌ای از فضا، اندازه و جهت بردار میدان مغناطیسی یکسان باشد، میدان مغناطیسی در آن ناحیه، یکنواخت است.

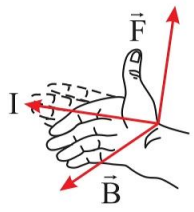
نکته: خط‌های میدان یکنواخت، راست، موازی، هم‌جهت و هم‌فاصله هستند. ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیهٔ بزرگی از فضا کار سختی است و عملاً امکان‌پذیر نیست، ولی در ناحیهٔ کوچکی، می‌توان میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد. مثلاً در آهن‌ربای C شکل صفحهٔ قبل ناحیهٔ بین قطب‌های آهن‌ربا با تقریب خوبی یکنواخت است.

۱۲- تعیین جهت نیروی مغناطیسی وارد بر یک ذرهٔ متحرک باردار

ابتدا یک دستگاه مختصات سه‌بعدی مثل شکل (الف) را در نظر بگیرید. با توجه به این شکل، اگر ذرهٔ باردار q با سرعت $\vec{v}$ در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ حرکت کند، در صورتی که بردارهای $\vec{B}$ و $\vec{v}$ موازی نباشند، به آن ذره نیرو وارد می‌شود. برای تعیین جهت این نیرو، مطابق شکل (ب)، اگر دست راست را در جهت بردار $\vec{v}$ بگیرید، جوری که جهت خم شدن چهار انگشت بردار $\vec{B}$ را نشان دهد، انگشت شست، درجهت نیروی وارد بر ذرهٔ باردار مثبت است (شکل پ). نیروی وارد بر بار منفی هم در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت است.

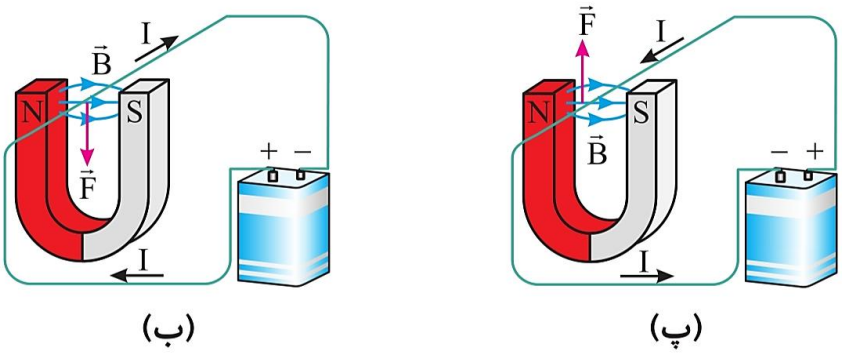


۱۳- تعیین جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان



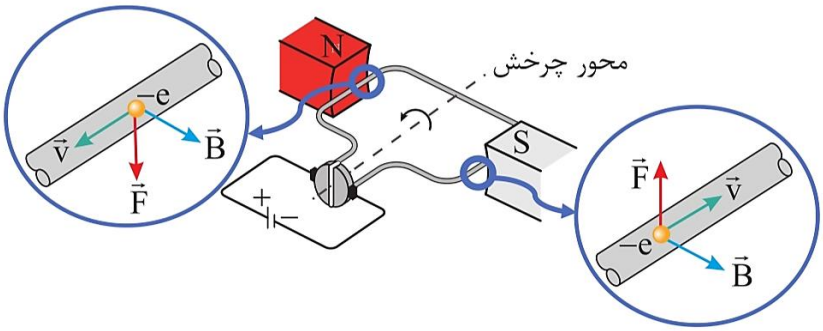
برای این کار، از قاعدهٔ دست راست استفاده می‌کنیم. مطابق شکل، اگر چهار انگشت دست راست را در جهت جریان (I) قرار دهیم، جوری که جهت خم شدن این چهار انگشت، جهت میدان ($\vec{B}$) را نشان دهند، انگشت شست جهت نیروی مغناطیسی ($\vec{F}$) را نشان می‌دهد (شکل الف).

در شکل (ب) و (پ)، جهت جریان را در دو حالت می‌بینید. همان‌طور که پیدا است، جهت نیرو هم مثل جریان برعکس شده است.



۱۴- موتور الکتریکی

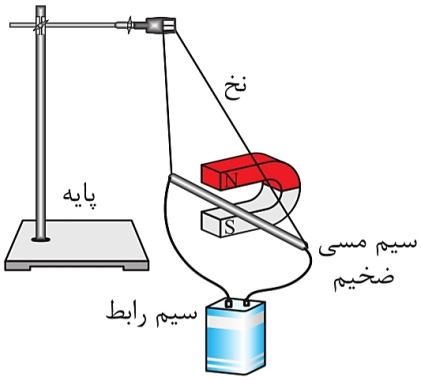
در هر موتور الکتریکی، سیم‌هایی وجود دارند که حامل جریان‌اند. در ضمن، آهن‌رباهایی هم وجود دارد که بر بارهای متحرک نیرو وارد می‌کنند، برای همین، به هر سیم حامل جریان، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود که باعث چرخش حلقه‌ها می‌شود. در شکل زیر، به کمک قاعدهٔ راست جهت نیروی مغناطیسی در دو جای مختلف مشخص شده است.

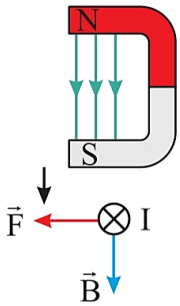


۱۵- آزمایش بررسی نیروی وارد بر سیم حامل جریان

این آزمایش، اثر نیروی مغناطیسی بر سیم حامل جریان را نشان می‌دهد. با برقراری جریان در سیم، مطابق قاعدل دست راست میلهٔ مسی به طرف چپ منحرف می‌شود.

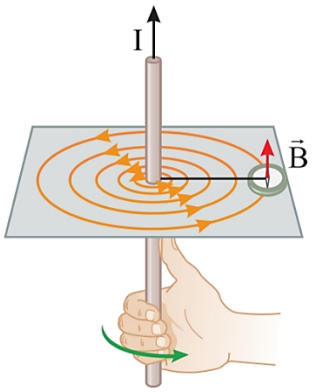
قرارداد: جهت عمود بر صفحه به طرف داخل را درون‌سو (⊗) و جهت عمود بر صفحه به سمت بیرون را برون‌سو (⊙) می‌گوییم.



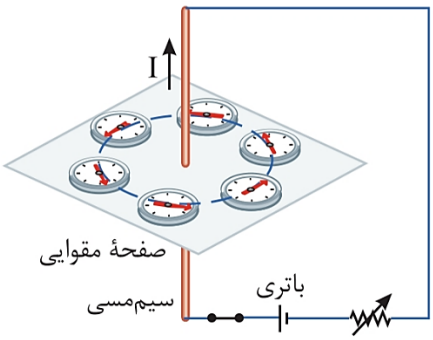


۱۶- میدان مغناطیسی حاصل از سیم حامل جریان

اگر مثل شکل (الف) چند عقربهٔ مغناطیسی را در چند نقطه اطراف یک سیم حامل جریان قرار دهیم، می‌بینیم که این عقربه‌ها به شکل دایره‌های هم‌مرکز جهت‌گیری می‌کنند. برای تعیین جهت این میدان، کافی است مثل شکل (ب) سیم را در دست راست خود بگیرید، جوری که انگشت شست در جهت جریان (I) باشد. در این حالت، جهت‌خم شدن چهار انگشت، جهت میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) را در اطراف سیم نشان می‌دهد.



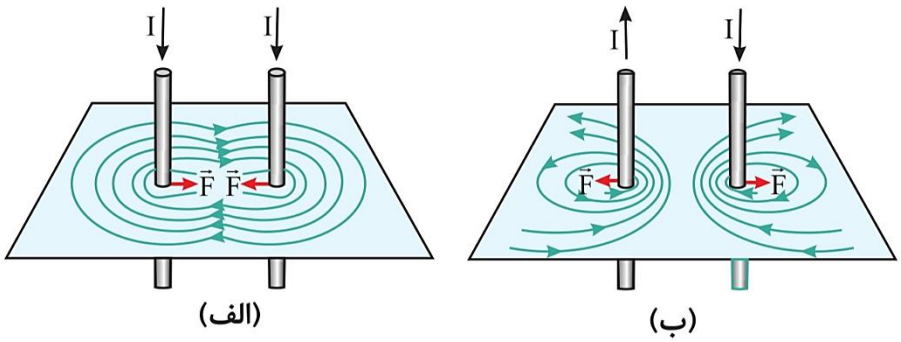
(ب)



(الف)

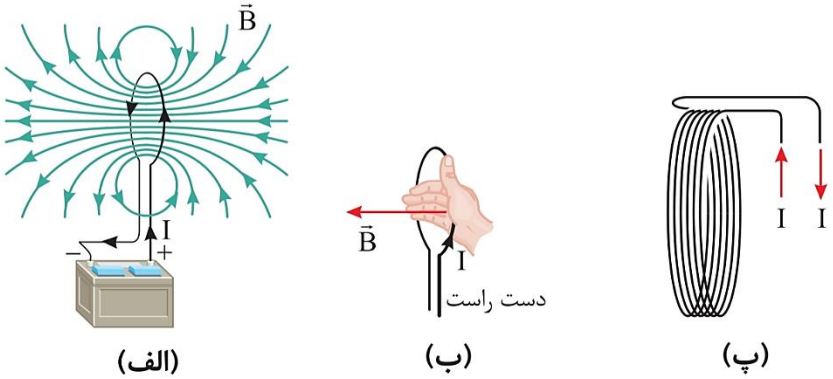
۱۷- نیروی مغناطیسی بین دو سیم

شکل‌های زیر، نیروی مغناطیسی و خطوط میدان مغناطیسی بین دو سیم موازی حامل جریان را نشان می‌دهد. در شکل (الف) که جریان دو سیم در یک جهت هستند، نیروی بین آن‌ها **ربایشی** است. اگر جریان‌ها در جهت مخالف هم باشند، نیروی بین آن‌ها **رانشی** می‌شود (شکل ب).



۱۸- میدان مغناطیسی حاصل از حلقه یا پیچهٔ حامل جریان

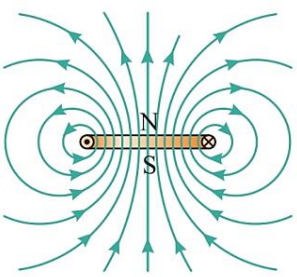
در شکل (الف)، خطوط میدان مغناطیسی در اطراف یک حلقه یا پیچهٔ حامل جریان (شکل پ) را می‌بینید. طبق قاعدهٔ دست راست، اگر انگشت شست دست راست را در جهت جریان (I) نگه داریم، جهت خم شدن چهار انگشت دیگر، جهت میدان را نشان می‌دهد (شکل ب).



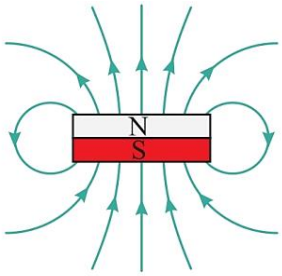
نکته: خط‌های میدان مغناطیسی در داخل حلقه به هم نزدیک‌تر هستند (شکل الف)، بنابراین میدان مغناطیسی داخل حلقه قوی‌تر است.

۱۹- شباهت حلقهٔ (پیچه) حامل جریان با آهن‌ربای تخت دایره‌ای

میدان مغناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان و یک آهن‌ربای تخت دایره‌ای شکل، درست مثل هم هستند. برای همین، هر حلقهٔ حامل جریان را می‌توان یک دوقطبی مغناطیسی در نظر گرفت.



(الف) حلقهٔ حامل جریان



(ب) آهن‌ربای دائم

(پ) آهن‌ربای تخت دایره‌ای

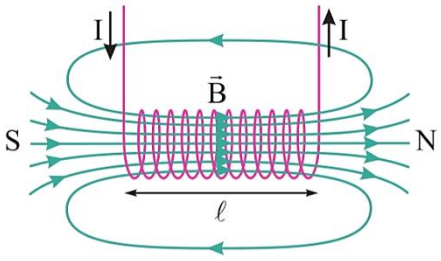
۲۰- میدان مغناطیسی حاصل از سیم‌لولهٔ حامل جریان

سیم‌لوله، سیم درازی است که به صورت مارپیچی بلند پیچیده شده است (شکل الف). سیم‌لوله ۳ ویژگی دارد:

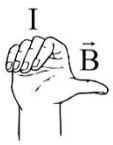
الف) خط‌های میدان داخل سیم‌لوله متراکم‌تر است، بنابراین میدان در داخل سیم‌لوله قوی‌تر است.

ب) میدان مغناطیسی در داخل سیم‌لوله (به دور از لبه‌ها) یکنواخت است.

پ) جهت میدان مغناطیسی در داخل و خارج سیم‌لوله، عکس هم است. برای تعیین جهت هم از قاعدهٔ دست راست استفاده می‌کنیم. این گونه که چهار انگشت دست راست را در جهت جریان قرار می‌دهیم. در این حالت انگشت شست، جهت میدان و قطب N آن را نشان می‌دهد (شکل پ).



(الف)

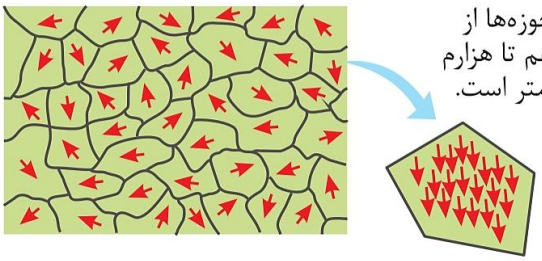


(ب)

۲۱- مواد پارامغناطیسی (در غیاب میدان خارجی)

در شکل رو به‌رو، جهت‌گیری کاتوره‌ای دوقطبی‌های مغناطیسی در یک مادهٔ پارامغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی را می‌بینید.

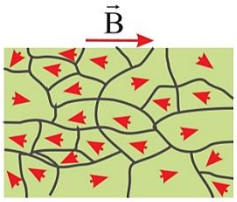
۲۲- مواد فرومغناطیسی (در غیاب میدان خارجی)



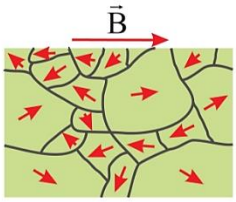
حوزه‌های یک مادهٔ فرومغناطیس در نبود میدان خارجی را در شکل زیر می‌بینید.

۲۳- مواد فرومغناطیسی (در حضور میدان خارجی)

در شکل (الف) و (ب) به ترتیب جهت‌گیری حوزه‌ها در یک میدان خارجی ضعیف و قوی را می‌بینید.



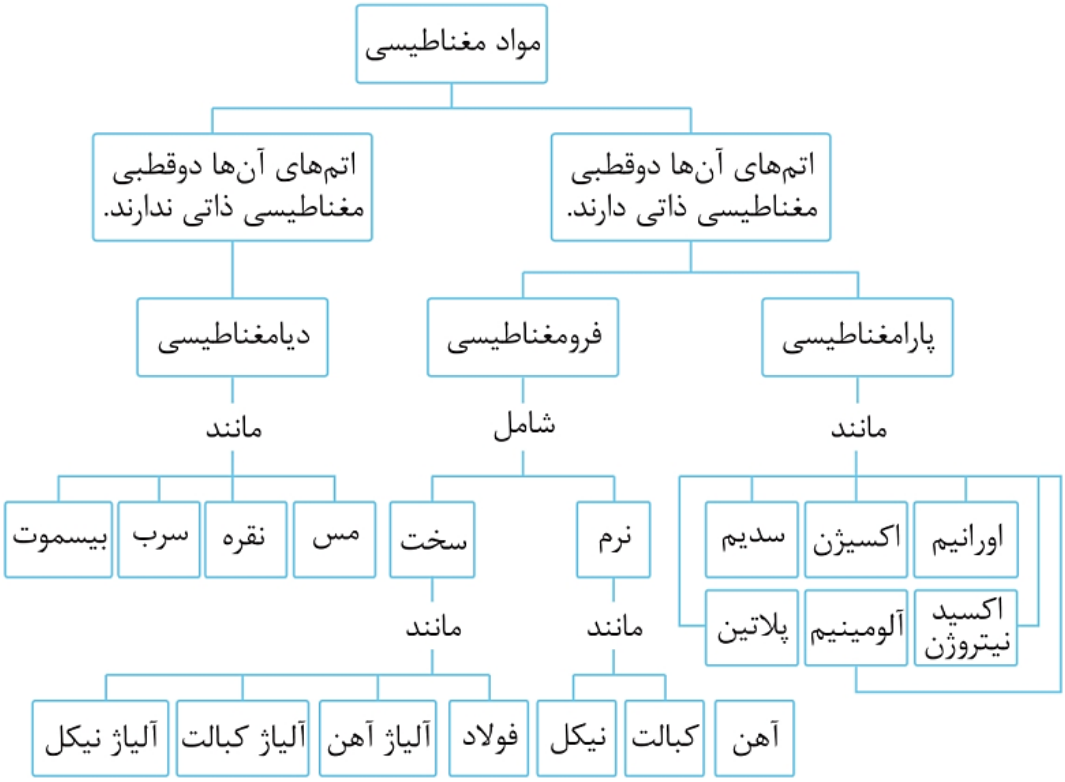
(الف)



(ب)

۲۴-مقایسهٔ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

در نقشهٔ زیر ویژگی‌های مغناطیسی مواد را در یک نگاه می‌توانید ببینید.



مفاهیم

۱) آهن‌ربا، قطعه‌ای از مادهٔ کانی مگنتیت Fe_3O_4 است.

۲) یک قطب آهن‌ربا N (North) و قطب دیگر آن S (South) است.

۳) قطب‌ها هم‌نام دو آهن‌ربا یکدیگر را دفع و قطب‌ها هم‌نام آن‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند.

۴) قطب‌های مغناطیسی N و S در ظاهر مشابه بارهای الکتریکی مثبت و منفی هستند، اما یک تفاوت مهم بین این دو وجود دارد. بار الکتریکی مثبت و منفی به صورت مجزا وجود دارد، اما تک‌قطبی مغناطیسی وجود ندارد، یعنی قطب‌های مغناطیسی همواره به صورت زوج جدانشدنی! هستند.

۵) **القای مغناطیسی:** القای خاصیت آهن‌ربایی به اجسام آهنی اطراف توسط یک آهن‌ربا!

۶) **شیب مغناطیسی:** عقربهٔ مغناطیسی آویزان در پیشتر نقاط زمین به شکل افقی قرار نمی‌گیرد و امتداد آن با سطح افقی زمین، زاویه می‌سازد. به این زاویه، شیب مغناطیسی می‌گویند.

۷) **یکای گاوس:** چون تسلا یکای بزرگی است، از یکای کوچک‌تری به اسم گاوس (G) استفاده می‌کنند که چنین رابطه‌ای با تسلا دارد:

$$1T = 10^4\,G$$

۸) نیرویی که در یک میدان مغناطیسی به یک ذرهٔ متحرک باردار وارد می‌شود، بر راستای سرعت و میدان مغناطیسی عمود است.

۹) نیرویی که در یک میدان مغناطیسی به سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، بر راستای سیم و میدان مغناطیسی عمود است.

۱۰) **سیم‌لولهٔ آرمانی:** اگر قطر حلقه‌های سیم‌لوله در مقایسه به طول آن بسیار کوچک و حلقه‌های آن، خیلی به هم نزدیک باشند، سیم‌لوله آرمانی است.

۱۱) **آهن‌ربای الکتریکی:** وقتی جریان در سیم‌لوله برقرار می‌باشد، میدان مغناطیسی سیم‌لوله، در هستهٔ آهنی خاصیت مغناطیسی القا می‌کند و هستهٔ آهن، تبدیل به آهن‌ربا می‌شود. به این آهن‌ربا، آهن‌ربای الکتریکی می‌گویند.

۱۲) **مواد مغناطیسی:** موادی که اتم‌ها یا مولکول‌های سازندهٔ آن خاصیت مغناطیسی دارند.

۱۳) **مواد پارامغناطیسی:** این مواد به طور ذاتی خاصیت مغناطیسی دارند، اما دوقطبی‌های مغناطیسی این مواد در نبود میدان مغناطیسی خارجی به صورت کاتوره‌ای جهت‌گیری می‌کنند، برای همین میدان مغناطیسی خالص ایجاد نمی‌کنند. در صورت حضور میدان مغناطیسی قوی، به طور موقت خاصیت مغناطیسی ضعیفی پیدا می‌کنند.

۱۴) **مواد دیامغناطیسی:** این مواد به طور ذاتی خاصیت مغناطیسی ندارند؛ اما با این حال، در صورت حضور میدان مغناطیسی قوی، دوقطبی‌های مغناطیسی‌شان درخلاف جهت میدان القا می‌شوند.

۱۵) **حوزهٔ مغناطیسی:** به هر یک از ناحیه‌های هم‌جهت در مواد فرومغناطیسی، حوزهٔ مغناطیسی گفته می‌شود.

۱۶) **مواد فرومغناطیسی:** مثل مواد پارامغناطیسی، این مواد هم به طور ذاتی خاصیت مغناطیسی دارند؛ ولی چون بین دوقطبی‌های مغناطیسی این مواد، برهم‌کنش‌های قوی وجود دارد، این دوقطبی‌ها، در حوزه‌های مغناطیسی خودشان، حتی در نبود میدان مغناطیسی خارجی، باز هم هم‌سو می‌شوند. این مواد در حضور میدان مغناطیسی خارجی، آهن‌ربا می‌شوند.

۱۷) **فرومغناطیس نرم:** حوزه‌های مغناطیسی برخی از مواد فرومغناطیسی، در حضور میدان خارجی خیلی راحت تغییر می‌کند و ماده به سادگی آهن‌ربا می‌شود. برای همین به آن‌ها، فرومغناطیس نرم می‌گویند. در ضمن با حذف میدان خارجی، این خاصیت را به همان راحتی از دست می‌دهند. این مواد در ساخت هستهٔ پیچه‌ها و سیم‌لوله‌ها به کار می‌روند.

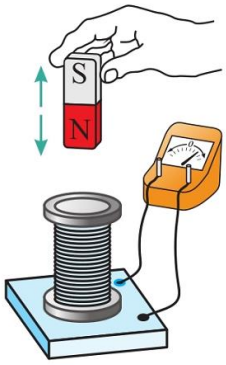
۱۸) **فرومغناطیس سخت:** حوزه‌های مغناطیسی در برخی مواد دیگر فرومغناطیسی در حضور میدان خارجی، به سختی تغییر می‌کند و آهن‌ربا می‌شوند. برای همین به آن‌ها، فرومغناطیس سخت می‌گویند. این مواد پس از حذف میدان، باز هم خاصیت آهن‌ربایی خود را حفظ می‌کنند.

۱۹) **حالت اشباع:** برای خاصیت آهن‌ربایی هر مادهٔ فرومغناطیسی، مقدار اشباع یا بیشینه‌ای وجود دارد. این حالت، زمانی به وجود می‌آید که مادهٔ فرومغناطیسی در یک میدان مغناطیسی خارجی خیلی قوی قرار بگیرد و حجم حوزه‌های مغناطیسی هم‌سو با میدان به بیشتر مقدار خود برسد؛ طوری که بعد از آن، هر چه‌قدر هم که میدان خارجی را قوی‌تر کنیم، دیگر حجم حوزه‌های هم‌سو رشدی نمی‌کند.

فصل ۴: القای الکترومغناطیسی

تصاویر

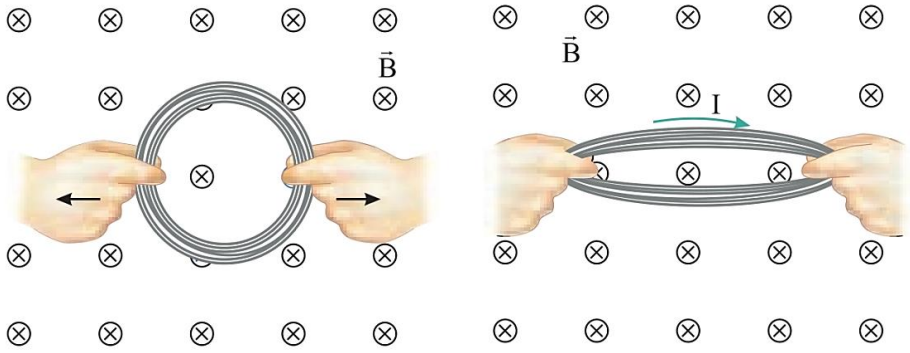
۱- پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی



با دور و نزدیک کردن یک آهن‌ربا به پیچه، گالوانومتر عبور جریان از مدار را نشان می‌دهد. درست مثل زمانی که در مدار باتری وجود دارد. به این پدیده، القای الکترومغناطیسی می‌گویند. جریان تولیدشده را هم جریان القایی می‌نامیم.

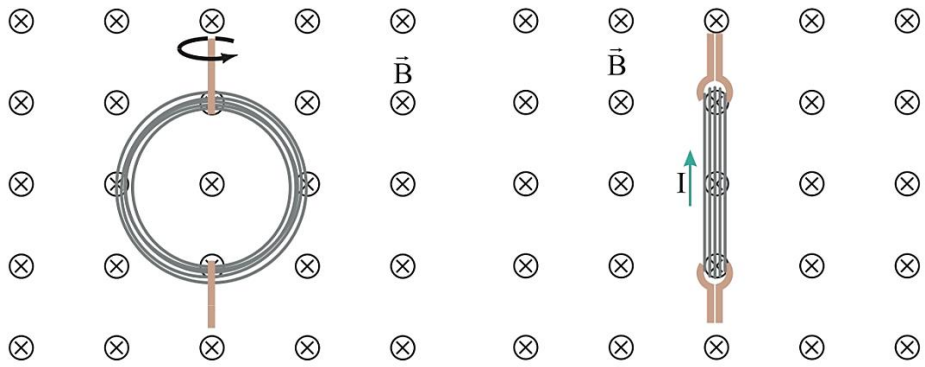
۲- تغییر مساحت پیچه و ایجاد جریان القایی

با تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$، جریان الکتریکی در آن القا می‌شود.



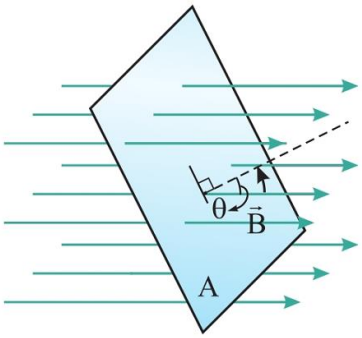
۳- تغییر زاویه بین میدان و پیچه و ایجاد جریان القایی

با چرخاندن پیچه درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$، جریانی در پیچه القا می‌شود.



(الف) (ب)

۴- شار مغناطیسی



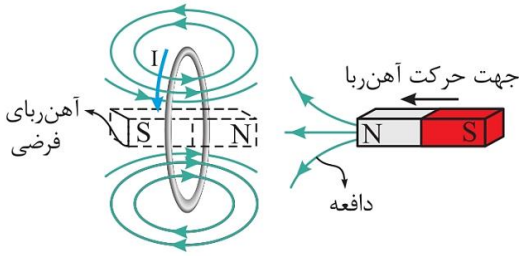
تعداد نسبی خط‌های میدان گذرنده از یک سطح را با کمیتی به نام شار مغناطیسی معرفی می‌کنیم. در رابطهٔ شار ($\Phi = BA\cos\theta$)، θ زاویهٔ بین بردار میدان مغناطیس ($\vec{B}$) و نیم‌خط عمود بر سطح است.

۵- قانون لنز

تعریف: جهت جریان القایی در یک حلقه یا پیچه جوری است که میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی با عامل به وجود آورندهٔ آن، یعنی تغییر شار، مخالفت می‌کند.

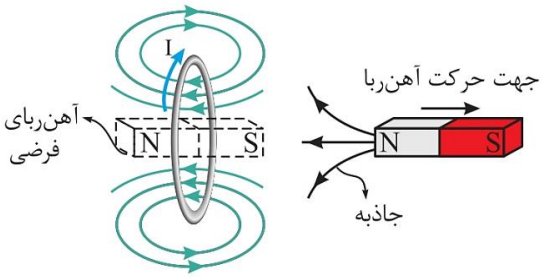
با توجه به این قانون:

الف) وقتی یک آهن‌ربا را به حلقه نزدیک می‌کنیم، جریانی در حلقه ایجاد می‌شود که با زیاد شدن شار مخالفت می‌کند. در این حالت میدان ناشی از این جریان، دوست ندارد آهن‌ربا به حلقه نزدیک شود، درست مثل این که یک آهن‌ربای دیگر را وارد حلقه کرده‌ای تا جلوی ورود آهن‌ربای واقعی را بگیرد! برای همین، جریان در جهت نشان داده شده القا می‌شود (شکل الف).



(الف)

ب) با همین استدلال، وقتی آهن‌ربا را از حلقه دور می‌کنیم، جریانی در حلقه ایجاد می‌شود که با کاهش شار مخالفت می‌کند. در این حالت، آهن‌ربای فرضی دلش نمی‌خواهد آهن‌ربای واقعی دور شود. برای همین جریان در جهت نشان داده شده، القا می‌شود (شکل ب).



(ب)

۶- کاربردهایی از پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی

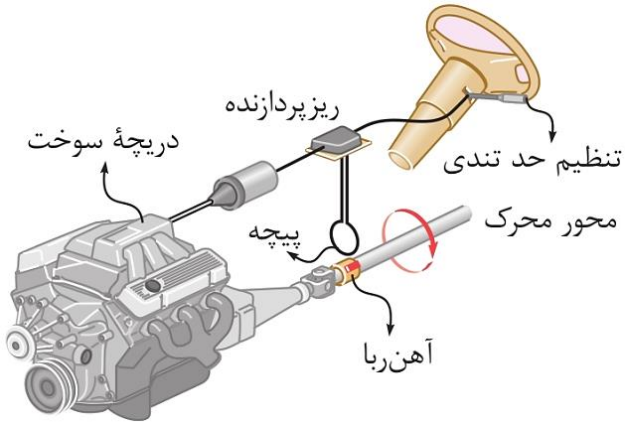
الف) تندی‌سنج دوچرخه

تندی‌سنج‌ها یک پیچه و یک آهن‌ربای کوچک دارند. مطابق شکل، پیچه بر روی دو شاخ و آهن‌ربا روی یکی از پره‌های چرخ جلو نصب می‌شود. با چرخیدن چرخ، آهن‌ربا نسبت به پیچه حرکت می‌کند. این حرکت باعث تغییر شار مغناطیسی در حلقه‌های پیچه می‌شود. با هر بار چرخش، یک دورهٔ کامل جریان در پیچه القا می‌شود. این دوره‌های جریان به پردازنده و نمایشگر تندی‌سنج ارسال می‌شود و پردازنده آن را به صورت تندی دوچرخه نشان می‌دهد.

ب) سامانهٔ تثبیت تندی خودرو (Cruise Control)

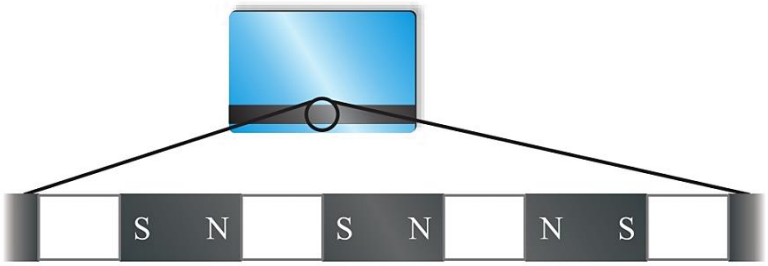
مثل تندی‌سنج دوچرخه، وقتی محور محرک خودرو می‌چرخد، جریانی در پیچه القا می‌شود. ریزپردازنده (مغز رایانه) تعداد تپ (پالس)های جریان را در هر ثانیه می‌شمارد و این گونه تندی خودرو را اندازه می‌گیرد. از طرف

دیگر، ریزپردازنده تندی اندازه‌گیری‌شده را با تندی دلخواه راننده مقایسه می‌کند و با توجه به آن، سوخت مورد نیاز را به موتور تزریق می‌کند. تا زمانی که راننده ترمز نگیرد، خودرو با همین تندی به حرکت خودش ادامه می‌دهد.



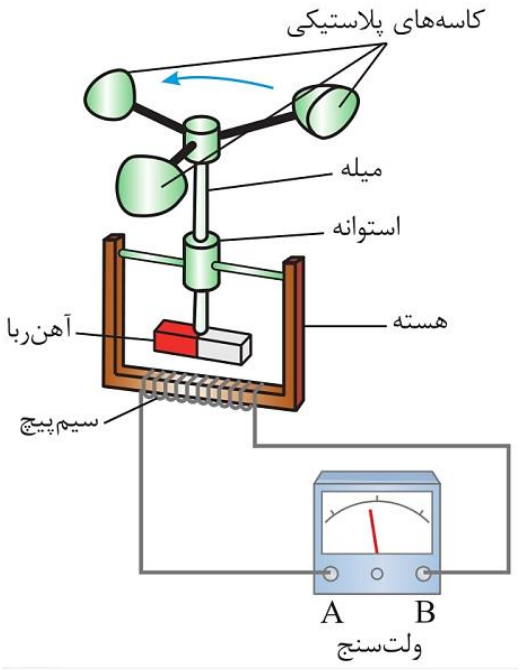
پ) کارت‌های اعتباری و دستگاه‌های کارت‌خوان

در این دستگاه، یک نوار مغناطیسی از کنار یک پیچه می‌گذرد و در آن جریان القا می‌کند. این نوارها شامل تعداد زیادی ذرهٔ فرومغناطیسی هستند که داده‌ها به صورت کد رمز دودویی (صفر و یک) در آن ذخیره می‌شوند. حالا وقتی کارت درون دستگاه کارت‌خوان کشیده می‌شود، میدان مغناطیسی ناشی از این نوارها روی پیچهٔ دستگاه اثر می‌گذارد و جریان القا می‌کند و البته متغیری را در آن القا می‌کند. این جریان پس از تقویت توسط ریزرایانه رمزگشایی می‌شود.



ت) بادسنج الکترومغناطیسی

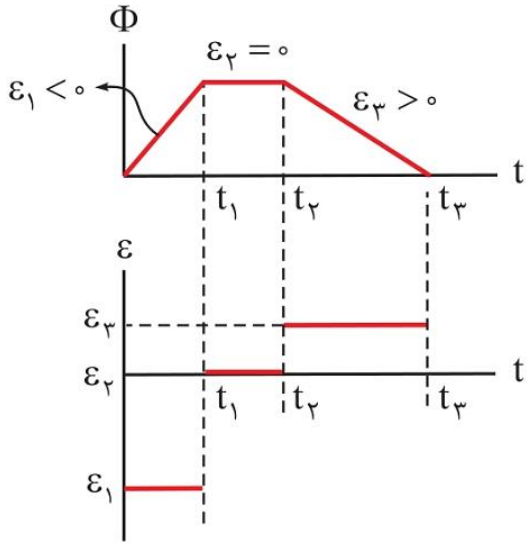
در این وسیله، وزش باد باعث چرخش کاسه‌های پلاستیکی می‌شود. با چرخش کاسه‌ها، میله و آهن‌ربا هم می‌چرخند و باعث تغییر شار سیم‌لوله می‌شوند. این تغییر شار، باعث ایجاد نیروی محرکهٔ القایی می‌شود. اندازهٔ این نیروی محرکه را هم ولت‌سنج نشان می‌دهد.



نکته: هرچه سرعت باد بیشتر باشد، $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ بیشتر می‌شود و در نتیجه نیروی محرکهٔ القایی ($\mathcal{E}$) افزایش می‌یابد.

۷- مقایسهٔ نمودار $\Phi - t$ و $\mathcal{E} - t$

بعضی وقت‌ها یکی از نمودارهای $\Phi - t$ و $\mathcal{E} - t$ را می‌دهند و آن یکی را می‌خواهند. در این حالت، با توجه به این‌که در کتاب درسی فقط نمودار $\Phi - t$ به صورت خطی داده می‌شود:



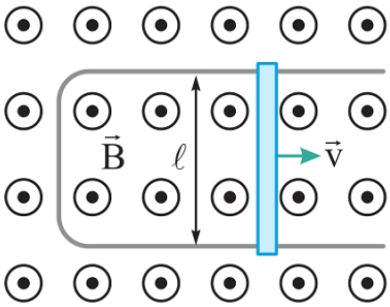
الف) $\Delta\Phi > 0$ باشد، $\mathcal{E} < 0$ است و برعکس!

ب) اگر $\Delta\Phi < 0$ باشد، $\mathcal{E} > 0$ است و برعکس!

پ) اگر $\Delta\Phi = 0$ (Φ ثابت) باشد، $\mathcal{E} = 0$ است. اگر هم $\mathcal{E} = 0$ باشد، Φ یا صفر است یا ثابت!

ت) هر چه شیب خط بیشتر باشد، اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی ($|\mathcal{E}|$) هم بیشتر است. برای درک بهتر، شکل‌های رو به‌رو را ببینید:

۸- نیروی محرکهٔ القایی در دو سر میلهٔ متحرک



با حرکت میله، نیروی محرکه‌ای در دو سر آن القا می‌شود. اندازهٔ این نیروی محرکه از رابطهٔ $\mathcal{E} = Bv\ell$ به‌دست می‌اید که در قسمت فرمول‌ها گفتیم.

۹- خودالقاوری

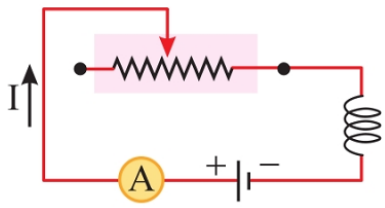
مدار شکل زیر شامل مولد، مقاومت رئوستا و القاگر است.

با تغییر مقاومت رئوستا:

الف) جریان در مدار تغییر می کند.

ب) تغییر جریان، باعث تغییر میدان و تغییر شار عبوری از القاگر می‌شود.

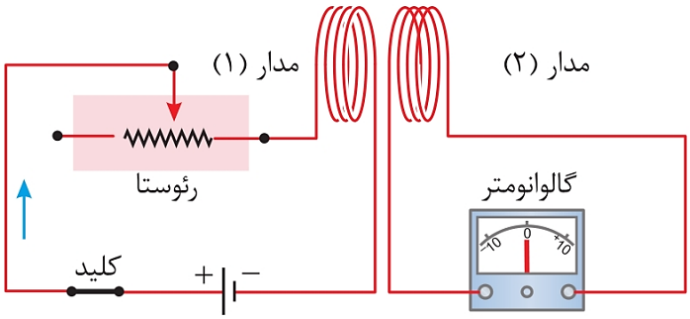
پ) این تغییر شار، باعث القای نیروی محرکه ($\mathcal{E}_L$) و جریان القایی (I_L) در القاگر می‌شود.



ت) طبق قانون لنز، این جریان القایی در القاگر با تغییر جریان عبوری از آن مخالفت می‌کند. حالا چون این تغییر جریان در خود مدار اتفاق می‌افتد به این پدیده، اثر خود-القاوری می‌گویند.

۱۰- القای متقابل

مطابق شکل زیر دو پیچهٔ مجاور هم را در نظر بگیرید. این را دیگر می‌دانیم که جریان I_1 در مدار (۱)، میدان مغناطیسی B را در پیچهٔ (۱) به وجود می‌آورد. این میدان، شاری را تولید می‌کند که از پیچهٔ (۲) هم می‌گذرد. حالا اگر کلید را ببندیم، یا مقاومت رئوستا را تغییر دهیم جریان I_1 تغییر می‌کند. این تغییر جریان، شار عبوری از پیچهٔ (۲) را هم تغییر می‌دهد. نتیجهٔ این تغییر شار، القا شدن نیروی محرکه در پیچهٔ (۲) و ایجاد جریان القایی در آن است.



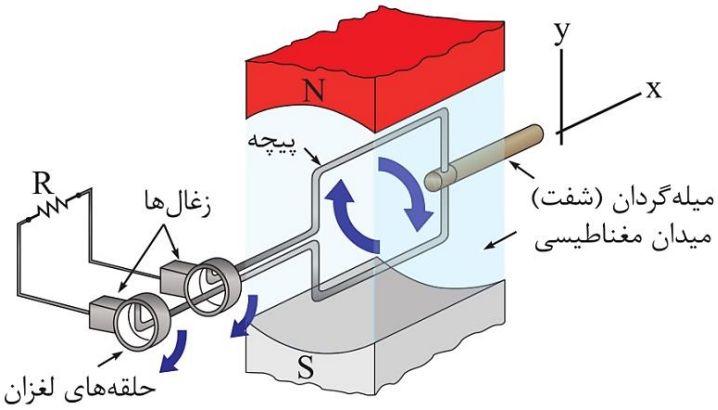
این تغییر جریان در پیچهٔ (۲)، باعث ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ (۱) هم می‌شود. به خاطر همین، به این پدیده، القای متقابل می‌گوییم.

۱۱- کاربرد القای متقابل در شمع خودرو

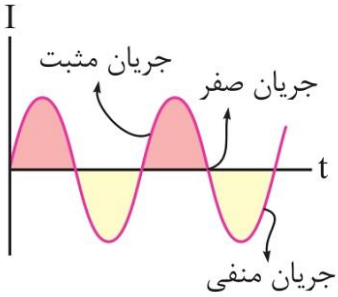
شمع خودرو یک پیچهٔ اولیه و یک پیچهٔ ثانویه دارد. پیچهٔ اولیه تعداددور کم‌تری دارد (حدود ۲۵۰ دور) و به باتری خودرو وصل می‌شود و میدان مغناطیس قوی‌ای هم تولید می‌کند. این پیچه دورن یک پیچهٔ ثانویه با تعداد دور بیشتر (حدود ۲۵۰۰ دور) قرار دارد. برای جرقه زدن شمع، جریان در پیچهٔ اولیه قطع می‌شود و در زمان بسیار کوتاهی میدان مغناطیسی صفر می‌شود. این کار، باعث تولید نیروی محرکهٔ القایی خیلی زیاد (ده‌ها هزار ولت) می‌شود. این جریان القایی لحظه‌ای به همراه میدان مغناطیسی همراه در دو سر مدار این پیچه، باعث جهش قابل ملاحظهٔ الکترون‌ها همراه با جرقهٔ زیاد می‌شود.

۱۲- تولید جریان متناوب

شکل زیر، اجزای یک مولد (ژنراتور) جریان متناوب را نشان می‌دهد. در این دستگاه، حرکت مکانیکی میل گردان، باعث چرخیدن پیچه در میدان مغناطیسی می‌شود و جریان القایی را در مدار به‌وجود می‌آورد. دلیل فیزیکی تولید این جریان، تغییر زاویهٔ پیچه و در نتیجه تغییر شار ($\Delta\Phi = BA\Delta\cos\theta$) است.

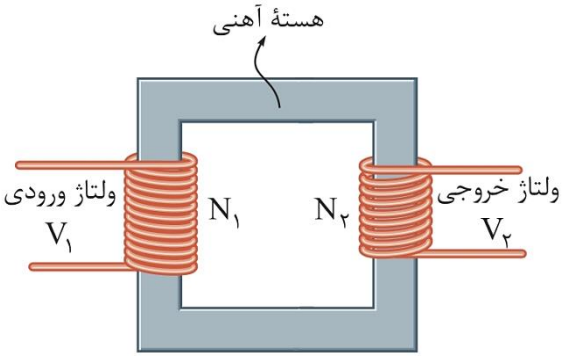


۱۳- نمودار جریان متناوب



در نمودار رو به‌رو، جریان متناوب سینوسی را می‌بینید که رایج‌ترین نوع جریان متناوب است.

۱۴- مبدل



شکل رو به‌رو، یک مبدل آرمانی را نشان می‌دهد که دو پیچه دارد و روی یک هستهٔ آرمانی پیچیده شده است. کار اصلی مبدل تقویت یا کاهش ولتاژ ورودی است.

مفاهیم

۱) تغییر شار مغناطیسی در یک حلقهٔ بسته، جریان الکتریکی القا می‌کند.

۲) **قانون فاراده:** با تغییر شار مغناطیسی در یک حلقهٔ بسته، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن برابر با آهنگ تغییر شار مغناطیسی گذرنده از حلقه است.

۳) **قانون لنز:** جهت جریان القایی در یک مدار، به گونه‌ای است که آثار مغناطیسی ناشی از جریان القایی با عامل به وجود آورندهٔ آن، یعنی تغییر شار مغناطیس مخالفت می‌کند.

۴) ویژگی‌های فیزیکی هر القاگر، توسط ضریب القاوری آن مشخص می‌شود.

۵) **وظیفهٔ القاگر:** تولید میدان مغناطیسی دلخواه، ذخیرهٔ انرژی مغناطیسی، پایا نگه داشتن جریان در برابر افت و خیزهای نیروی محرکه در مدار DC و جلوگیری از تغییرات سریع جریان در مدار AC است.

۶) **جریان متناوب (AC):** جریانی که به طور متناوب تغییر کند. متداول‌ترین جریان متناوب، جریانی است که به‌طور سینوسی تغییر می‌کند.

۷) رایج‌ترین روش برای تغییر شار مغناطیسی، تغییر زاویهٔ میدان مغناطیسی با پیچه است.

۸) **دوره (زمان تناوب):** مدت زمان یک دور چرخش کامل

۹) **بسامد:** تعداد دورهایی که پیچه در مدت ۱ s می‌زند.

۱۰) **مولدهای صنعتی جریان متناوب:** در نیروگاه‌های برق برای تولید جریان متناوب از مولدهای خاصی استفاده می‌شود که به آن‌ها مولدهای صنعتی جریان متناوب می‌گویند. در این مولدها، پیچه‌ها ساکن‌اند و آهن‌ربای الکتریکی در آن‌ها می‌چرخد.

۱۱) بهترین روش انتقال و توزیع انرژی الکتریکی از محل تولید تا محل مصرف، استفاده ازجریان متناوب (AC) است.

۱۲) یکی از مزیت‌های مهم توزیع عتوان الکتریکی AC به DC آن است که افزایش و کاهش ولتاژ AC بسیار آسان‌تر از DC است.

۱۳) برای انتقال توان الکتریکی در فاصله‌های دور، تا جایی که امکان دارد باید از **ولتاژهای بالا** و **جریان‌های کم** استفاده کنیم تا اتلاف توان در خطوط انتقال کاهش یابد.

۱۴) **مبدل:** وسیله‌ای که ولتاژ تولیدشده توسط مولد را به ولتاژ دلخواه موردنیاز تبدیل می‌کند.

فیزیک ۳- فصل ۱: حرکت برخط راست

تصاویر

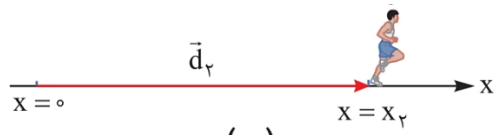
۱- بردار مکان

به پرداری که مبدأ محور را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، بردار مکان جسم در آن لحظه گفته می‌شود. شکل‌های (الف) و (ب)، بردار مکان یک شخص را نشان می‌دهند. در شکل (پ) هم، بردار مکان نقطهٔ A را می‌بینید که در دو بعد حرکت کرده است. (حرکت در دو بعد خارج از بحث کتاب درسی است، اما دانستنش به صورت کلی خالی از لطف نیست.)

اگر این بردارها را بخواهیم بر حسب بردار یکه بنویسیم، چنین روابطی خواهیم داشت:

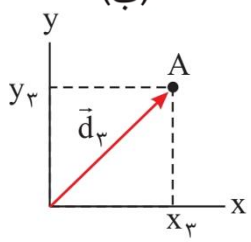
(الف)

$$\vec{d}_1 = x_1\vec{i}$$



(ب)

$$\vec{d}_2 = x_2\vec{i}$$



(پ)

$$\vec{d}_3 = x_3\vec{i} + y_3\vec{j}$$

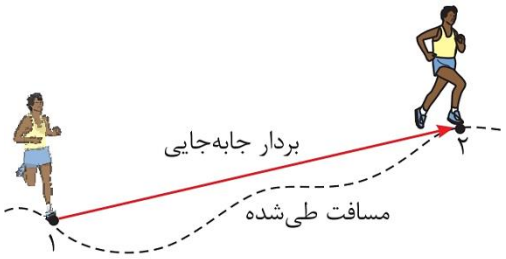
۲- بردار جابه‌جایی

به پرداری که مکان آغاز حرکت را به مکان پایان حرکت وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی گفته می‌شود. در شکل (الف)، مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی یک دونده و در شکل (ب) بردار جابه‌جایی ناشی از دو بردار مکان را می‌بینید.

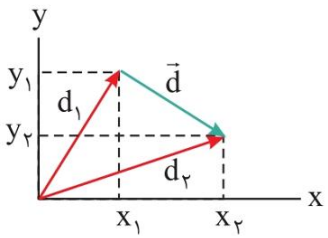
تفاوت جابه‌جایی و مسافت طی‌شده: در شکل (الف)، هم مسیر حرکت و هم بردار جابه‌جایی رسم شده است. همان‌طور که از شکل پیداست، مسافت طی‌شده کاملاً به مسیر حرکت بستگی دارد، ولی در جابه‌جایی فقط نقطهٔ آغاز و

پایان حرکت مهم است. به خاطر همین اندازهٔ جابه‌جایی همیشه کوچک‌تر یا مساوی مسافت طی شده است؛ یعنی:

$$d \leq \ell$$



(الف)



(ب)

$$\vec{d} = \vec{d}_۲ - \vec{d}_۱ = (x_۲ - x_۱)\vec{i} + (y_۲ - y_۱)\vec{j}$$

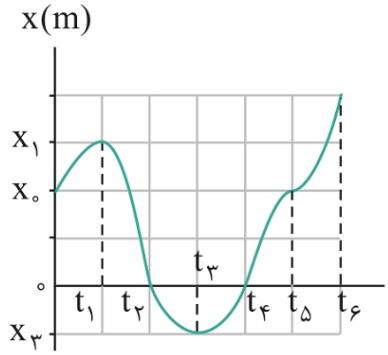
۳- نمودار مکان- زمان

برای مشخص کردن مکان یک متحرک در هر لحظه، از نمودار مکان- زمان استفاده می‌کنیم. از این نمودار چند چیز را می‌توان فهمید:

۱) **مکان متحرک در لحظهٔ t** (مثلاً در لحظهٔ $t_۱$، متحرک در مکان $x_۱$ قرار دارد.)

۲) **جابه‌جایی متحرک در بازهٔ زمانی دلخواه** (مثلاً متحرک در بازهٔ زمانی $t_۱$ تا $t_۲$، از مکان $x_۱$ به مبدأ مکان برگشته است.)

۳) **تعداد دفعات عبور متحرک از مبدأ مکان** (مثلاً متحرک در لحظهٔ $t_۲$ و $t_۴$ از مبدأ مکان عبور کرده است.)



۴) **دور یا نزدیک شدن متحرک از مبدأ با توجه به تغییرات x** (مثلاً در بازهٔ زمانی $t_۲$ - $t_۳$ متحرک از مبدأ دور شده و در بازهٔ زمانی $t_۳$ - $t_۴$ به مبدأ نزدیک شده است.)

۵) **تعداد دفعات تغییر جهت حرکت متحرک با توجه به نقطه‌های بیشینه و کمینه** (مثلاً در لحظه‌های $t_۱$ و $t_۳$ جهت حرکت متحرک تغییر کرده است.)

۶) **تشخیص مسافت طی‌شده با توجه به تغییر جهت‌ها** (مثلاً در بازهٔ زمانی ۰ تا t_5 جابه‌جایی صفر است، اما مسافت طی‌شده می‌شود:

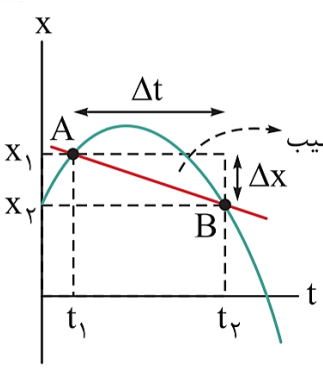
$$|x_1 - x_0| + |x_3 - x_1| + |x_0 - x_3|$$

۷) **تشخیص تندی و سرعت متوسط در هر بازهٔ زمانی دلخواه** (در شکل بعد این مورد را بررسی می کنیم.)

۴- سرعت متوسط

در نمودار مکان-زمان یک متحرک، سرعت متوسط در یک بازهٔ زمانی برابر است با شیب پاره‌خطی که نقطه‌های نظیر این دو لحظه در نمودار را به هم وصل می کند؛ یعنی:

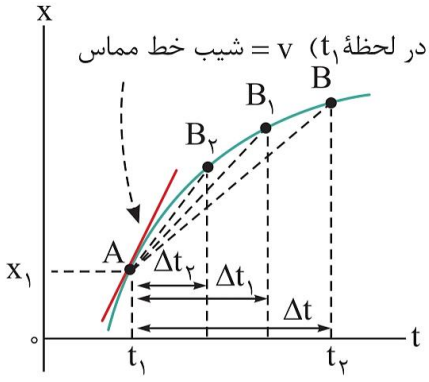
$$m_{AB} = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$



شیب $= \frac{\Delta x}{\Delta t} = v_{av}$ (سرعت متوسط در بازهٔ t_1 تا t_2)

نکته: شیب می‌تواند مثبت یا منفی باشد که نشان‌دهندهٔ جهت جابه‌جایی و علامت سرعت است.

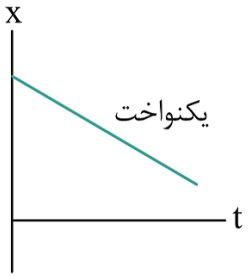
۵- سرعت لحظه‌ای



سرعت لحظه‌ای یعنی سرعت متحرک در یک نقطه از مسیر یا یک لحظه از زمان. در نمودار مکان- زمان رو به‌رو، اگر بازهٔ زمانی Δt کوچک و کوچک‌تر شود، نقطهٔ B به A نزدیک و نزدیک‌تر می‌شود. حالا اگر Δt به صفر میل کند ($\Delta t \to 0$)، نقطهٔ B هم خیلی نزدیک به A می‌شود، جوری که خط واصل بین این دو نقطه به خط مماس بر نمودار در نقطهٔ A می‌رسد. با توجه به این موضوع، **سرعت در لحظهٔ t در نمودار مکان-زمان، برابر است با شیب خط مماس در لحظهٔ t.**

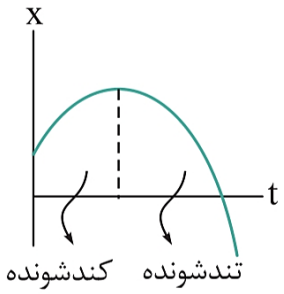
۶- تشخیص نوع حرکت متحرک از نمودار مکان - زمان

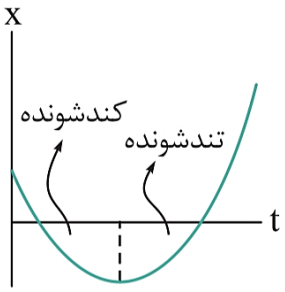
الف) اگر نمودار مکان- زمان به صورت خطی غیرافقی باشد، حرکت متحرک یکنواخت (سرعت ثابت) است. در این حالت سرعت لحظه‌ای و متوسط با هم برابر است.



نکته: اگر نمودار خط افقی باشد، سرعت متحرک صفر است؛ یعنی متحرک ایستاده!

ب) اگر نمودار غیرخطی باشد، حرکت می‌تواند تندشونده یا کندشونده باشد. این گونه که اگر در حال نزدیک شدن به نقاط کمینه یا بیشینه باشیم، حرکت کندشونده و اگر در حال دور شدن از این نقاط باشیم، حرکت تندشونده خواهد بود.





۷- نمودار سرعت- زمان

برای مشخص کردن سرعت لحظه‌ای یک متحرک، از نمودار سرعت- زمان استفاده می‌کنیم.

از این نمودار چند چیز را می‌توان فهمید:

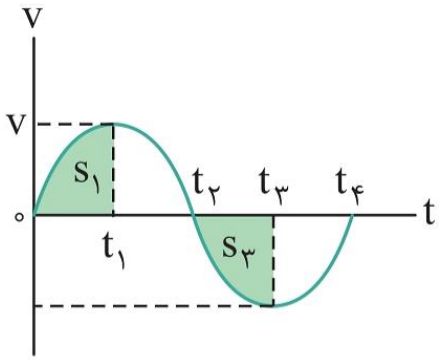
۱) **سرعت متحرک در لحظهٔ t:** مثلاً سرعت متحرک در لحظهٔ t_1 برابر ۷ است.

۲) **جهت حرکت متحرک:** این گونه که هرجا ۷ مثبت بود (بالای محور t) متحرک در جهت مثبت حرکت کرده و هرجا ۷ منفی بود (پایین محور t)، متحرک در جهت منفی حرکت کرده است. (مثلاً در این نمودار در بازهٔ زمانی $(0, t_2)$ متحرک در جهت مثبت و در بازهٔ زمانی (t_2, t_4) متحرک در جهت منفی حرکت کرده.)

۳) **لحظه‌های تغییر جهت متحرک:** این‌گونه که هرجا نمودار محور t را قطع می‌کند، یعنی تغییر جهت داده است (مثلاً در این نمودار، در لحظهٔ t_2 متحرک تغییر جهت داده).

نکته: اگر نمودار صرفاً به محور t برسد، ولی علامت v تغییر نکند، متحرک تغییر جهت نداده است.

۴) **محاسبهٔ جابه‌جایی به کمک مساحت محصور زیر نمودار:** این‌گونه که اگر مساحت محصور بالای محور t باشد، جابه‌جایی مثبت و اگر پایین محور t باشد، منفی است. مثلاً در این نمودار، جابه‌جایی در بازهٔ زمانی $(0, t_1)$ مثبت و در بازهٔ زمانی (t_3, t_4) منفی است؛ به زبان ریاضی: $\Delta x_3 = -S_3$ و $\Delta x_1 = S_1$

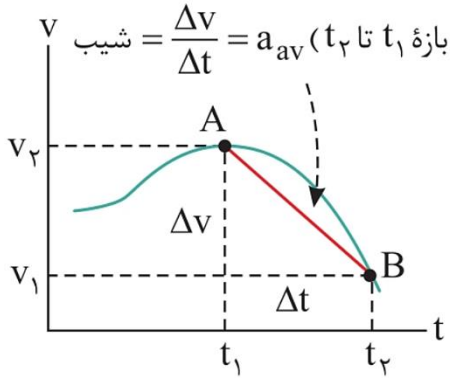


۵) **محاسبهٔ مسافت طی‌شده به کمک مساحت محصور زیر نمودار:** مثل جابه‌جایی محاسبه می‌شود، با این تفاوت که چه نمودار بالای محور t و چه پایین محور t باشد، برابر مساحت محصور است؛ یعنی: $\ell_3 = S_3$, $\ell_1 = S_1$

۶) **تشخیص شتاب متوسط و لحظه‌ای** (در شکل بعد این مورد را بررسی می‌کنیم.)

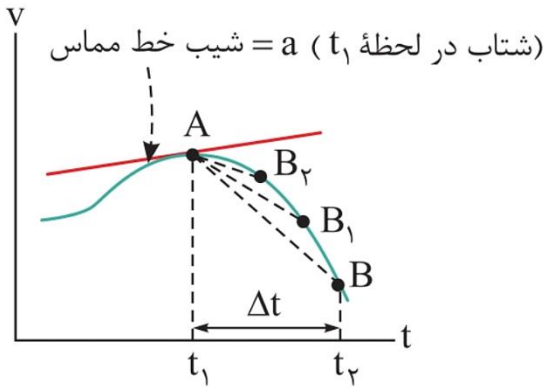
۷) **تشخیص تند یا کندشونده بودن حرکت** (جلوتر آن را بررسی می‌کنیم.)

۸- شتاب متوسط



مشابه سرعت متوسط، در یک نمودار سرعت - زمان شتاب متوسط در یک بازهٔ زمانی برابر است با شیب پاره‌خطی که نقطه‌های نظیر لحظهٔ شروع و پایان بازهٔ زمانی را به هم وصل می‌کند.

۹- شتاب لحظه‌ای



مشابه سرعت لحظه‌ای، شتاب در لحظهٔ دلخواه t، برابر است با شیب خط مماس بر نمودار سرعت- زمان در آن لحظه!

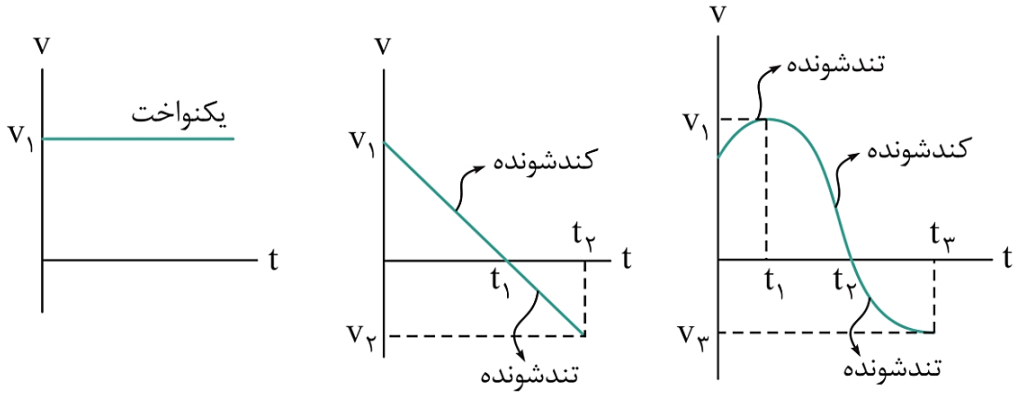
۱۰- تشخیص نوع حرکت متحرک از نمودار سرعت -زمان

الف) اگر نمودار افقی باشد:

سرعت ثابت و شتاب صفر است؛ پس حرکت یکنواخت خواهد بود.

ب) اگر نمودار غیرافقی (چه خطی چه غیرخطی) باشد:

در صورتی که نمودار درحال نزدیک شدن به محور t باشد، کندشونده و در صورتی که نمودار در حال دور شدن از محور t باشد، حرکت تندشونده است.



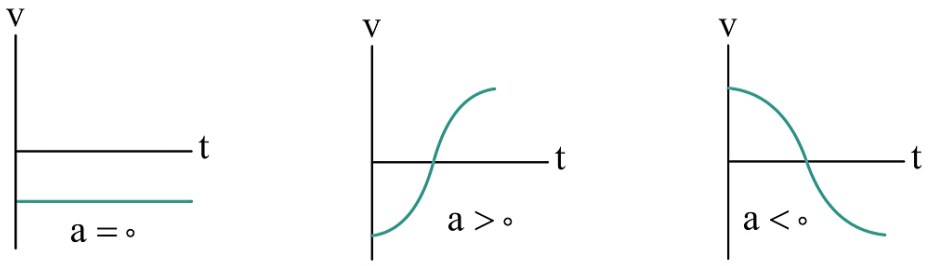
توجه: در نمودار خطی، شتاب ثابت است. در این حالت، شتاب متوسط و لحظه‌ای با هم برابر می‌شود.

۱۱- تشخیص علامت و جهت شتاب

اگر نمودار سرعت - زمان:

صعودی باشد ← علامت و جهت شتاب مثبت است. ($a > 0$)

نزولی باشد ← علامت و جهت شتاب منفی است. ($a > 0$)



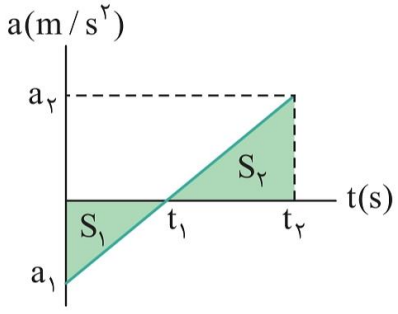
نکته: علامت شتاب جهت نیروی خالص را نشان می‌دهد.

۱۲- نمودار شتاب- زمان

برای مشخص کردن شتاب یک متحرک در هر لحظه، از نمودار شتاب- زمان استفاده می‌شود. از این نمودار می‌توان چند چیز را فهمید:

۱) **علامت و جهت شتاب:** مثلاً در نمودار زیر از لحظهٔ ۰ تا t_1، شتاب منفی و در لحظهٔ t_1، شتاب از منفی به مثبت تغییرعلامت می‌دهد.

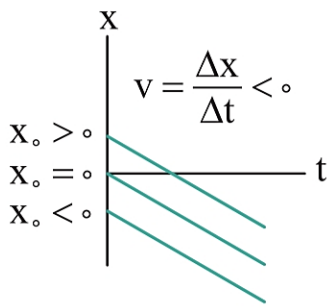
۲) **محاسبهٔ تغییرات سرعت به کمک مساحت زیر نمودار:** این‌گونه که اگر مساحت محصور بالای محور t باشد، تغییرات سرعت مثبت و اگر پایین محور t باشد، تغییرات سرعت منفی است؛ مثلاً در این نمودار $\Delta v_1 = -S_1$ و $\Delta v_2 = S_2$ است.

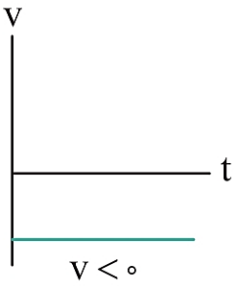


۱۳- نمودارهای حرکت با سرعت ثابت

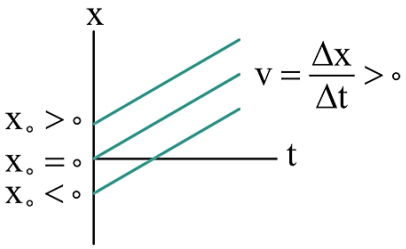
وقتی سرعت ثابت باشد، شتاب صفر می‌شود و نمودار مکان - زمان به صورت خط غیرافقی خواهد بود ($x = vt + x_0$). با توجه به این موضوع، چنین نمودارهایی خواهیم داشت:

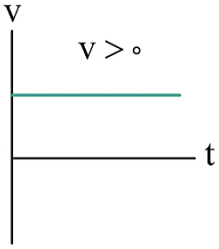
الف) در خلاف جهت محور x:

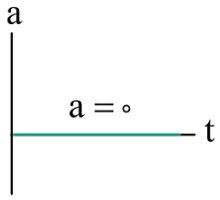




ب) در جهت محور x:



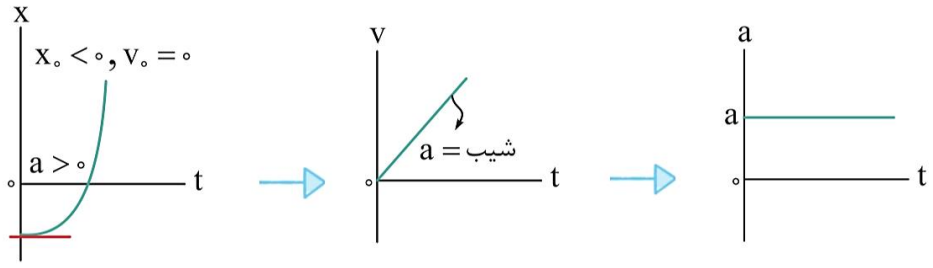




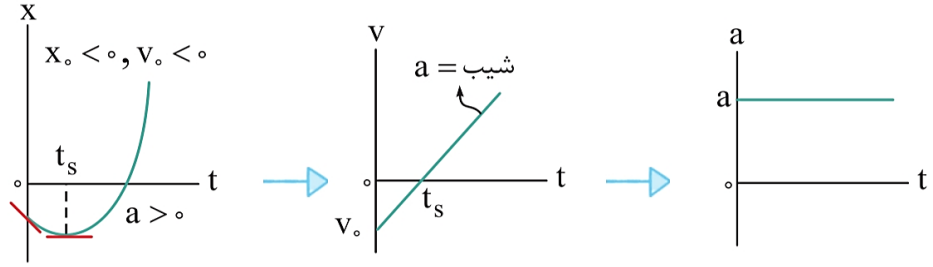
۱۴- نمودارهای حرکت با شتاب ثابت

وقتی شتاب ثابت باشد، معادلهٔ مکان- زمان درجهٔ دو می‌شود و به شکل سهمی در می‌آید. در این حالت با توجه به رابطه‌های $x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0$، $v=at+v_0$ و مقدار ثابت a، نمودارهای این نوع حرکت را در چند حالت معروف رسم می‌کنیم:

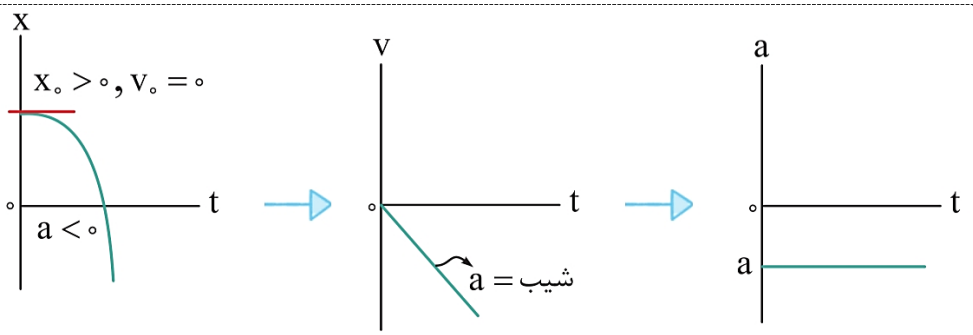
الف)



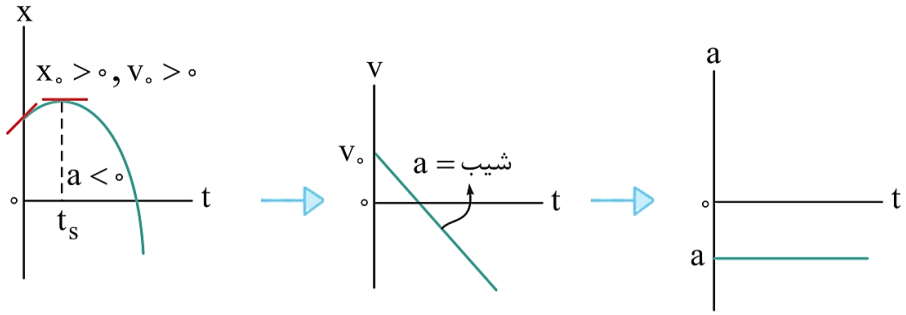
ب)



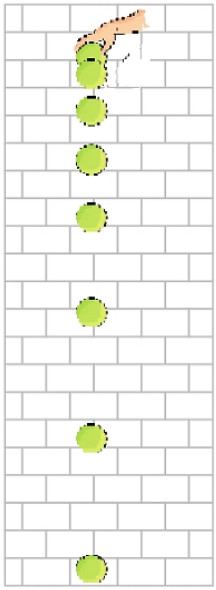
پ)



ت)



t_s: لحظهٔ توقف (تغییرجهت متحرک)



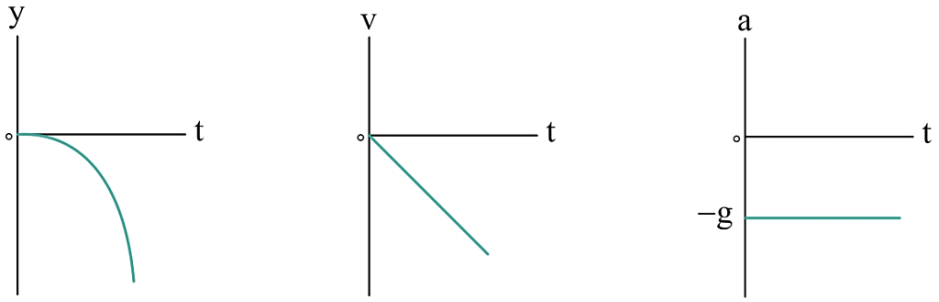
۱۵- سقوط آزاد

شکل مقابل، تصویری پی‌درپی از یک توپ در حال سقوط را نشان می‌دهد که برای بازه‌های زمانی مساوی رسم شده است.

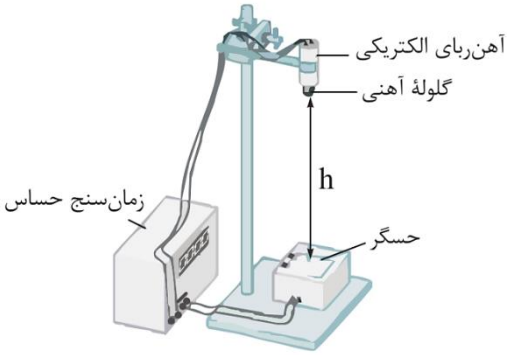
همان‌طور که پیداست، سرعت توپ پیوسته افزایش می‌یابد و جابه‌جایی در هر ثانیه بیشتر می‌شود (اندازهٔ این جابه‌جایی از رابطهٔ تصاعد که در بخش فرمول‌ها گفتیم، به‌دست می‌آید).

۱۶- نمودارهای حرکت سقوط آزاد (بدون سرعت اولیه)

در این حرکت، $\Delta y < 0$ ، $v_0 = 0$ و $a = -g < 0$ است؛ بنابراین:



۱۷-آزمایش اندازه‌گیری شتاب گرانش



در این آزمایش، ارتفاع h معلوم و گلولهٔ آهنی به آهن‌ربای الکتریکی متصل است. یک لحظه آهن‌ربای الکتریکی قطع و گلوله رها می‌شود و به حسگر برخورد می‌کند. زمان‌سنج هم به‌صورت دقیق بازهٔ زمانی رها شدن تا برخورد را حساب می‌کند. با داشتن این داده‌ها، شتاب گرانش به سادگی از رابطهٔ $h = \frac{1}{2} gt^2$ معلوم می‌شود.

مفاهیم

۱) **مسافت:** طول مسیری که متحرک می‌پیماید.

۲) **جابه‌جایی:** بردارى که نقطهٔ آغاز رکت را به نقطهٔ پایان وصل می‌کند.

۳) **تفاوت مسافت و جابه‌جایی:** مسافت یک کمیت **نرده‌ای** است، ولی جابه‌جایی یک کمیت **برداری** است. ضمناً مقدار جابه‌جایی همیشه کم‌تر یا مساوی مسافت است. ($d \leq \ell$)

توجه: در واقع مسافت دقیقاً طول همان مسیری است که طی می‌کنیم، اما جابه‌جایی کوتاه‌ترین مسیر بین نقطهٔ ابتدا و انتها است.

۴) **تفاوت تندی متوسط و سرعت متوسط:** تندی نسبت مسافت طی‌شده به زمان است، ولی سرعت نسبت جابه‌جایی به زمان! برای همین تندی یک کمیت **نرده‌ای** و سرعت یک کمیت **برداری** است.

۵) اگر مسیر حرکت مستقیم باشد و جهت حرکت تغییر نکند، مسافت طی‌شده و جابه‌جایی با هم برابر می‌شوند. در این حالت، سرعت متوسط هم مساوی تندی متوسط می‌شود.

۶) **تفاوت سرعت لحظه‌ای و تندی لحظه‌ای:** سرعت لحظه‌ای، هم مقدار دارد، هم جهت (برداری)؛ اما تندی لحظه‌ای صرفاً مقدار دارد که در واقع همان مقدار سرعت لحظه‌ای است.

۷) **شتاب:** نسبت تغییرات بردار سرعت به زمان. این تغییر می‌تواند هم به خاطر تغییر در اندازهٔ سرعت باشد، هم جهت آن و هم هر دوی آن‌ها!

۸) **حرکت راست‌خط یکنواخت:** حرکتی که اندازه و جهت سرعت متحرک در طول مسیر آن ثابت است.

۹) **حرکت تندشونده:** حرکتی که اندازهٔ سرعت در آن زیاد می‌شود.

۱۰) **حرکت کندشونده:** حرکتی که اندازهٔ سرعت در آن کم می‌شود.

۱۱) **حرکت راست‌خط با شتاب ثابت:** حرکتی که بردار شتاب متحرک با گذشت زمان تغییر نکند.

۱۲) **سقوط آزاد:** حرکتی که جسم فقط تحت تأثیر نیروی گرانشی زمین سقوط کند. در این حرکت شتاب ثابت (g) است.

فصل ۲: دینامیک و حرکت دایره‌ای

تصاویر

۱- قانون اول نیوتون

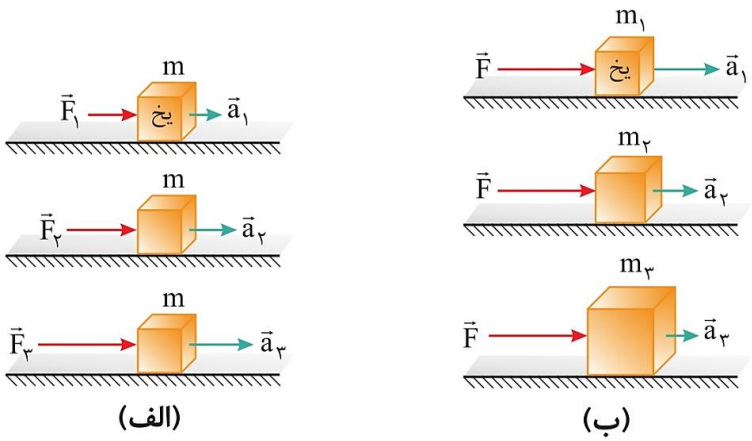
در شکل (الف)، وقتی مقوا را سریع از زیر سکه می‌کشیم، سکه داخل لیوان سقوط می‌کند. این اتفاق به‌خاطر قانون اول نیوتون است که سکه تمایل دارد حالت سکون خود را حفظ کند، برای همین با کاغذ همراه نمی‌شود و سقوط می‌کند. در شکل (ب) هم، وقتی نخ را آرام بکشیم، چون نخ بالایی نیروی بیشتری را تحمل می‌کند، زودتر پاره می‌شود. اما وقتی که نخ را سریع می‌کشیم، گلوله دلش می‌خواهد حالت سکون خود را به‌خاطر قانون اول نیوتون حفظ کند، برای همین گلوله، نخ را همراهی نمی‌کند و نخ از پایین پاره می‌شود.

(الف)

(ب)

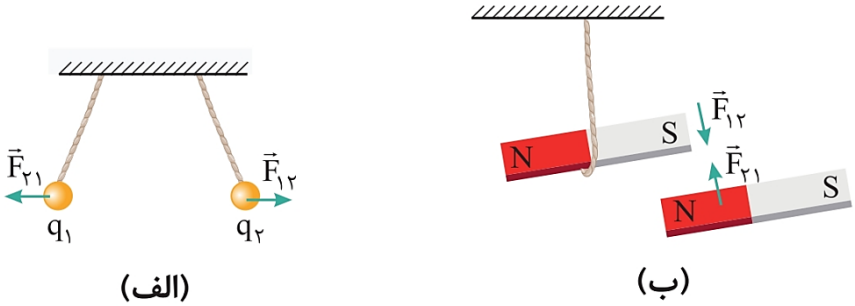
۲- قانون دوم نیوتون

در شکل (الف)، می‌بینید که هر چه نیروی وارد به یک جسم با جرم ثابت بیشتر شود، شتاب جسم بیشتر می‌شود. در شکل (ب) می‌بینید که به ازای یک نیروی ثابت، هر چه جرم جسم بیشتر باشد، شتاب آن کم‌تر است. این مشاهده قانون دوم نیوتون را تأیید می‌کند و رابطهٔ $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$ نتیجهٔ آن می‌شود.



۳- قانون سوم نیوتون

شکل (الف)، نیروی بین دو بار الکتریکی و شکل (ب) نیروی بین دو قطب مغناطیسی را نشان می‌دهد. این نیروها کنش و واکنش هستند و به صورت هم‌زمان بر دو جسم وارد می‌شوند. مطابق شکل، نیروهای کنش و واکنش **هم‌اندازه، هم‌راستا** و در **خلاف جهت** یکدیگرند.



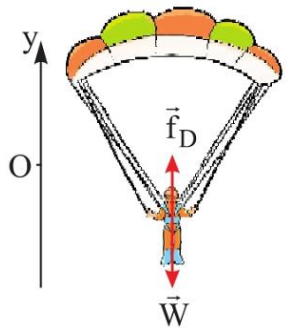
۴- نیروی وزن

به هر جسم روی زمین، نیروی گرانشی ($\vec{W}$) وارد می‌شود و جسم نیز به زمین نیروی گرانشی ($\vec{W}$) را وارد می‌کند.

توجه: W و W' نیروهای کنش و واکنش هستند.

۵- نیروی مقاومت شاره و نیروی مقاومت هوا

وقتی یک جسم رها می‌شود، علاوه بر نیروی وزن، نیرویی از طرف شاره (مایع یا گاز) در خلاف جهت حرکت جسم، به آن وارد می‌شود که به آن نیروی مقاومت شاره می‌گویند و آن را با $\vec{F}_D$ نشان می‌دهند. این نیرو به تندی جسم، بزرگی جسم و سطح درگیر با آن بستگی دارد. اگر این جسم در هوا باشد، به آن نیروی مقاومت هوا می‌گویند.



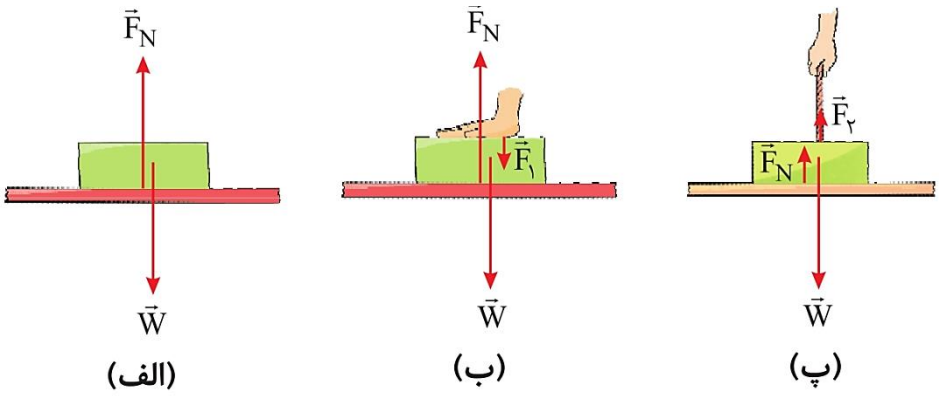
تندی حدی: با افزایش تندی یک جسم پس از رها شدن، اندازهٔ نیروی مقاومت شاره هم بیشتر می‌شود تا این‌که با اندازهٔ نیروی وزن به توازن برسد($f_D = W$). در این حالت نیروی خالص صفر و تندی جسم ثابت می‌شود که به آن **تندی حدی** می‌گویند.

تندی حدی برای یک نوع چترباز (مثل شکل) حدود $5m/s$ و برای قطرات باران حدود $7m/s$ است.

۶- نیروی عمودی سطح (تکیه‌گاه)

در شکل (الف)، جعبه روی میز ساکن است؛ پس طبق قانون اول نیوتون، نیروی خالص وارد به جعبه صفر است. با این حساب، باید نیرویی هم‌اندازه با وزن جعبه به آن وارد شود تا این نیرو را خنثی کند. به این نیرو که عمود بر سطح است، نیروی عمودی سطح (تکیه‌گاه) می‌گویند که آن را با $\vec{F}_N$ نشان می‌دهند و اندازهٔ آن در این حالت برابر است با: $F_N = W$

در شکل‌های (ب) و (پ)، نیروی $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ هم وارد شده است که باعث تغییراندازهٔ نیروی عمودی سطح می‌شود.

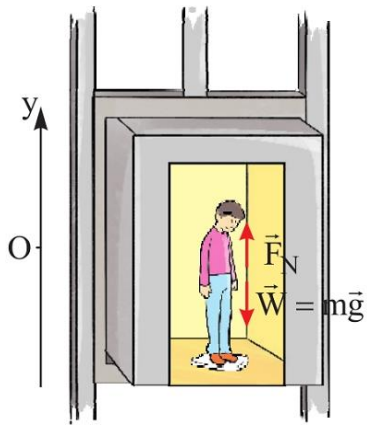


در این صورت در شکل (ب)، نیوری عمودی سطح بیشتر از نیروی وزن و در شکل (پ) کم‌تر از وزن می‌شود؛ چرا که طبق قانون اول نیوتون:

شکل (پ): $F_N = W + F_2$ شکل (ب): $F_N = W + F_1$

نکته: نیروی عمودی سطح ناشی از تغییر شکل سطح تماس دو جسم است.

۷- نیروی عمودی سطح در آسانسور



در آسانسوری که حرکتش شتابدار باشد، نیروی عمودی سطح با وزن جسم داخل آن آسانسور دیگر برابر نیست؛ چرا که جسم حرکت شتابدار دارد و طبق قانون دوم نیوتون باید به آن نیروی خالص وارد شود. با این حساب در آسانسور نیروی عمودی سطح برابر است با: $F_N = m(g \pm a)$

در این رابطه: اگر آسانسور به طرف بالا برود، از علامت + و اگر به سمت پایین برود، از علامت - استفاده می کنیم. علامت شتاب را هم با توجه به کندشونده یا تندشونده بودن حرکت آن به ترتیب - یا + قرار می‌دهیم.

۸- نیروی اصطکاک ایستایی

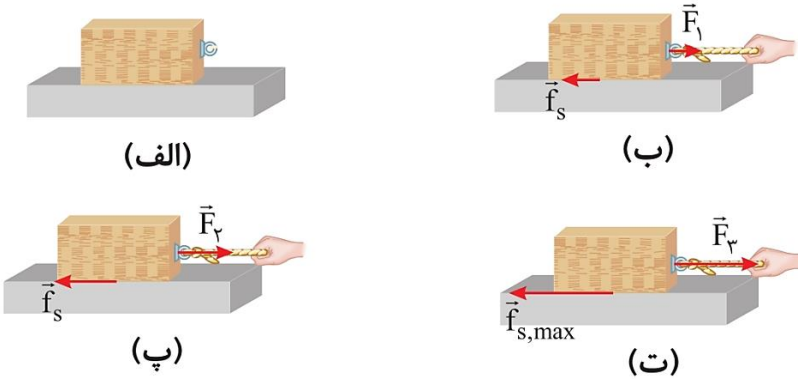
اگر به یک جسم ساکن (شکل الف)، نیروی $\vec{F}_1$ را وارد کنیم (شکل ب)، می‌بینیم که باز جسم ساکن می‌ماند؛ پس باید یک نیرویی هم‌اندازه و در جهت مخالف نیروی ما باشد که نیروی خالص وارد بر جسم صفر بماند.

این نیرو، اصطکاک از نوع ایستایی است که برابر است با: $f_s = F_1$

باز هم نیروی $\vec{F}_1$ را تا $\vec{F}_2$ زیاد می‌کنیم و جسم ساکن می‌ماند؛ یعنی نیروی اصطکاک ایستایی هم به اندازهٔ نیروی $\vec{F}_2$ زیاد می‌شود (شکل پ): $f_s = F_2$

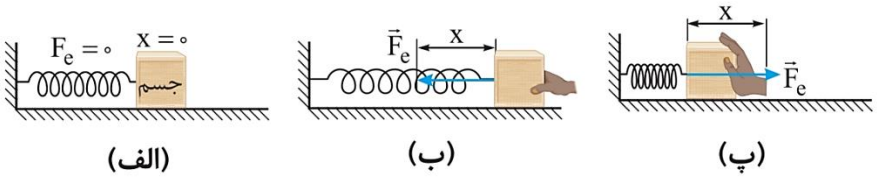
حالا نیروی را به اندازهٔ $\vec{F}_3$ زیاد می‌کنیم و جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد (شکل ت). به این نیرو اصطکاک ایستایی بیشینه می‌گویند که بعد از آن جسم شروع به حرکت خواهد کرد.

$f_{s,max} = F_3$



۹- نیروی کشسانی فنر

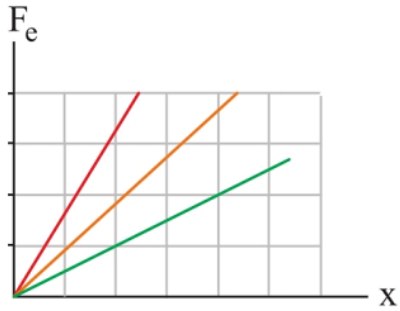
مطابق شکل (الف)، فنر همیشه یک طول عادی دارد که جسم متصل به آن در آن نقطه، در حال تعادل است. حالا وقتی این فنر به اندازهٔ x کشیده یا فشرده می‌شود، نیرویی به اسم نیروی کشسانی فنر به سمت نقطهٔ تعادل به جسم وارد می‌شود تا آن را به وضعیت تعادل برگرداند. هر چه این فنر را بیشتر بکشیم یا فشرده کنیم، نیروی کشسانی فنر هم بیشتر می‌شود. برای همین اندازهٔ آن چنین رابطه‌ای دارد: $F_e = kx$



(الف) (ب) (پ)

توجه: فنر در یک محدودهٔ معینی از تغییرطول خاصیت کشسانی خود را حفظ می کند و برای بیشتر از آن دیگر این رابطه جواب نمی‌دهد.

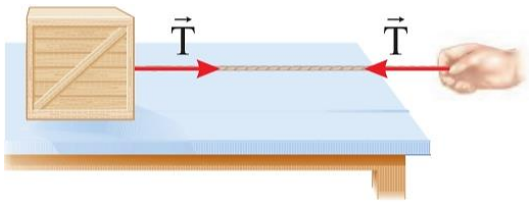
۱۰- نمودار نیروی کشسانی بر حسب تغییر طول (F_e - x)



در نمودار زیر، نیروی کشسانی بر حسب تغییر طول برای سه فنر با ثابت‌های مختلف (k) رسم شده است. مطابق نمودار، هرچه ثابت فنر بیشتر باشد، شیب نمودار بیشتر و فنر سخت‌تر است.

۱۱- نیروی کشش طناب

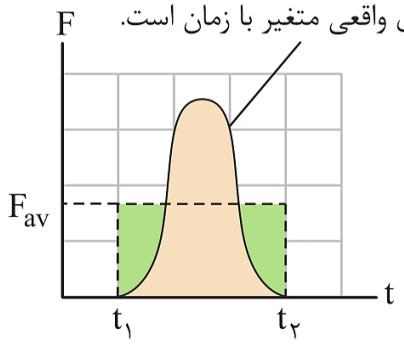
وقتی یک جعبه را مثل شکل زیر، با طناب ($\vec{T}$) می کشیم، طناب جسم را با نیرویی که جهت آن به سمت بیرون جسم و در راستای طناب است، می کشد ($\vec{T}$). به این نیرو، نیروی کشش طناب گفته می‌شود. بزرگی این نیرو، دقیقاً برابر نیرویی است که ما به طناب وارد کرده‌ایم.



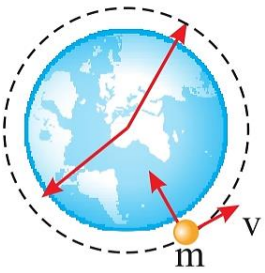
۱۲- نمودار $F-t$ (تغییر تکانه)

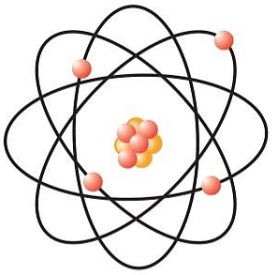
این نمودار، نیروی وارد بر یک جسم در هر لحظه را نشان می‌دهد. مطابق شکل، مقدار نیروی متوسط (خط‌چین افقی) جوری است که مساحت مستطیل ($F_{av}\Delta t$) برابر با مساحت سطح زیر منحنی می‌شود که مقدار آن برابر است با تغییر تکانه در این بازهٔ زمانی!

تغییر تکانهٔ ناشی از نیروی متوسط برابر با تغییر تکانهٔ نیروی واقعی متغیر با زمان است.



۱۳- نمونه‌های حرکت دایره‌ای

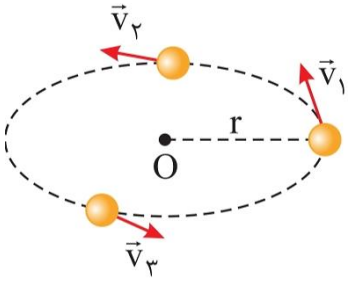




گردش الکترون‌ها به دور هسته و گردش ماهواره به دور کرهٔ زمین، نمونه‌ای از حرکت دایره‌ای است.

۱۴- حرکت دایره‌ای یکنواخت

هر وقت جسمی با تندی ثابت و در یک مسیر دایره‌ای حرکت کند، حرکتش دایره‌ای یکنواخت است. در این حرکت با این که اندازهٔ سرعت (تندی) ثابت است ($v_1 = v_2 = v_3 = \dots$)، حرکت ذره شتابدار است؛ چرا که جهت بردار سرعت دائماً در حال تغییر است.

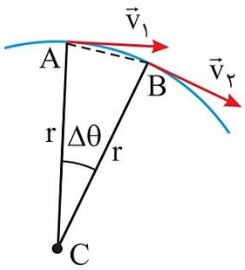


نکته: بردار سرعت ذره ($\vec{v}$) همواره مماس بر مسیر حرکت دایره‌ای است.

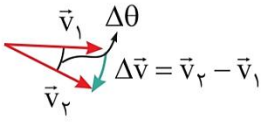
۱۵- شتاب مرکزگرا

در حرکت دایره‌ای یکنواخت چون جهت سرعت دائماً تغییر می‌کند، این حرکت، شتابدار است. همان‌طور که از شکل‌ها پیداست، اگر بردار $\Delta\vec{v}$ در یک بازهٔ زمانی خیلی کوچک انتخاب شود، جهت $\Delta\vec{v}$ که همان جهت شتاب لحظه‌ای است، به طرف مرکز دایره خواهد بود.

به خاطر همین به این شتاب، شتاب مرکزگرا می‌گویند و آن را با $\vec{a}_c$ نمایش می‌دهند.



(الف)



(ب)

مفاهیم

۱) **قانون اول نیوتون:** یک جسم، حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می کند؛ مگر آن که نیروی خالص غیرصفر به آن وارد شود.

۲) **قانون دوم نیوتون:** هرگاه بر جسمی نیروی خالص وارد شود، تحت تأثیر آن نیرو شتاب می گیرد که این شتاب با نیروی خالص وارد بر جسم نسبت مستقیم و هم‌جهت با آن است و با جرم نسبت عکس دارد.

۳) **قانون سوم نیوتون:** هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز به جسم اول نیرویی هم‌اندازه و هم‌راستا اما در خلاف جهت وارد می کند.

۴) **نیروی اصطکاک:** وقتی به یک جسم که روی سطح قرار دارد، نیرو وارد می کنیم، چه جسم ساکن باشد چه حرکت کند، با یک نیروی مقاوم روبه‌رو می‌شود که به آن نیروی اصطکاک می گویند.

۵) **تکانهٔ جسم:** حاصل‌ضرب جرم جسم در سرعت آن

نکته: نیروی خالص و همینطور نیروی خالص متوسط وارد بر جسم برابر است با تغییر تکانهٔ جسم تقسیم بر زمان تغییر آن

۶) **دوره:** مدت زمان لازم برای پیمودن یک دور محیط دایره

۷) **شتاب مرکزگرا:** به شتاب ناشی از بردار تغییرسرعت در حرکت دایره‌ای که به طرف مرکز است،شتاب مرکزگرا می گویند.

۸) **نیروی مرکزگرا:** نیروی خالص رو به مرکز که باعث حرکت دایره‌ای می‌شود.

۹) **نیروی گرانشی:** نیروی جاذبهٔ بین دو ذرهٔ جرم‌دار

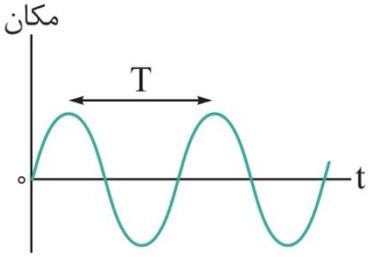
فصل ۳: نوسان و موج

تصاویر

۱- نوسان دوره‌ای

به نوسان‌هایی که هر چرخهٔ آن در دوره‌های دیگر به طور منظم تکرار می‌شود، نوسان دوره‌ای می‌گویند. مثلاً شکل زیر ضربان قلب یک انسان را نشان می‌دهد که به طور منظم تکرار شده است.

۲- نمودار مکان- زمان حرکت هماهنگ ساده



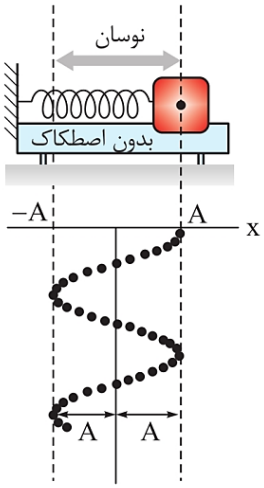
به طور کلی به نوسان‌های سینوسی شکل (چه سینوسی چه کسینوسی)، حرکت هماهنگ ساده (SHM) گفته می‌شود.

مطابق شکل، هر دورهٔ نوسان برابر T است.

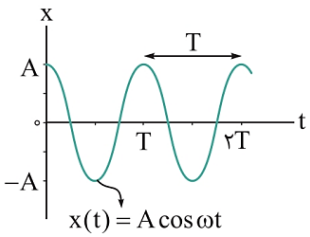
۳- رسم نمودار حرکت هماهنگ ساده به کمک سامانهٔ جرم و فنر

اگر یک جسم متصل به فنر را از وضع تعادل خارج ($x > 0$) و سپس رها کنیم، به جلو و عقب نوسان خواهد کرد. در شکل (الف)، جسم بین $x = -A$ و $x = +A$ به صورت سینوسی جلو و عقب می‌رود. برای همین می‌توان مکان این جسم را به صورت تابعی سینوسی یا کسینوسی از زمان t نوشت.

در کتاب درسی برای راحتی، از تابع کسینوس استفاده می‌شود که در شکل(ب) نمودار آن را می‌بینید.



(الف)



(ب)

نکته:

۱- پیشینهٔ فاصلهٔ جسم از نقطهٔ تعادل، همان A (دامنه) است.

۲- وقتی نوسانگر در نقطهٔ $x = \pm A$ است، سرعتش صفر می‌شود و برمی‌گردد؛ برای همین به این نقطه‌ها، نقطه‌های بازگشت حرکت می‌گویند.

۳- فاصلهٔ میان هر دو قله یا درهٔ متوالی در نمودار می‌شود یک دوره (T).

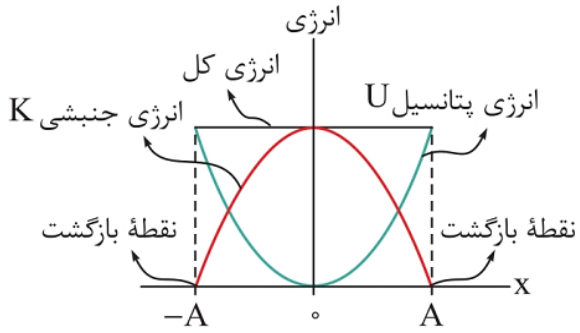
۴- در نمودار کسینوسی شروع حرکت از $x = +A$ است.

هر یک رفت و برگشت متوالی می‌شود یک نوسان!

۴- نمودارهای انرژی در حرکت هماهنگ ساده

در یک سامانهٔ بدون اصطکاک انرژی مکانیکی پایسته می‌ماند، به خاطر همین مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل $(K + U)$ در هر نقطه‌ای از مسیر حرکت، یکسان است.

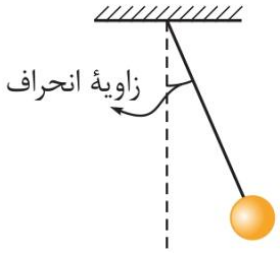
با توجه به این موضوع، نمودارهای انرژی جنبشی، پتانسیل و مکانیکی بر حسب مکان (x) در شکل روبه‌رو رسم شده است.



نکته: در نقطهٔ $x = ۰$ فقط انرژی جنبشی و در نقطهٔ $x = \pm A$ فقط انرژی پتانسیل داریم.

۵- آونگ ساده

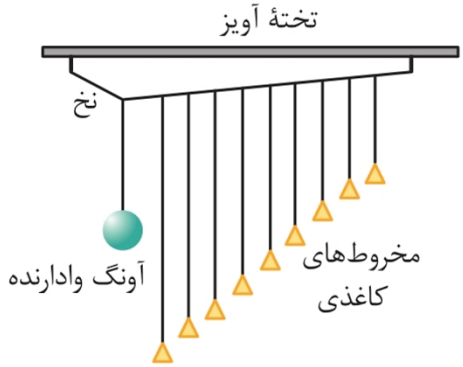
آونگ ساده، یک وزنهٔ کوچک است که از نخی بدون جرم و کشش‌ناپذیر آویزان می‌شود. حالا اگر زاویهٔ انحراف آونگ از وضع تعادل کوچک (کم‌تر از 6°) باشد، آونگ حرکت همانگ ساده خواهد داشت. در قسمت فرمول‌ها گفتیم که دورهٔ تناوب چنین آونگی از رابطهٔ $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ به دست می‌آید.



نکته: طبق این رابطه، دورهٔ تناوب آونگ ساده وابسته به جرم و دامنهٔ آن است.

۶- آونگ‌های بارتون (تشدید)

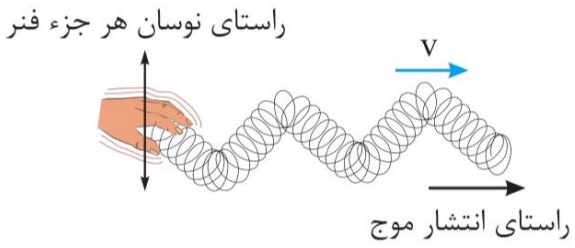
در شکل زیر، یک آونگ سنگین و چند آونگ سبک به طول‌های متفاوت به کمک نخ و یک تختهٔ آویز به هم وصل شده‌اند. در این وسیله، اگر آونگ سنگین را در صفحهٔ عمود به صفحهٔ این شکل به نوسان درآوریم، نخ آویزان و سایر آونگ‌ها هم به نوسان واداشته می‌شوند. **به آونگ سنگین، آونگ وادارنده گفته می‌شود.** نکتهٔ جالب در این آزمایش، آن است که آونگ هم‌طول با آونگ وادارنده، دامنهٔ نوسان بیشتری نسبت به بقیهٔ آونگ‌ها دارد که دلیل آن، پدیدهٔ تشدید است.



نکته: شرط برقراری پدیدهٔ تشدید، برابری بسامد نیروی وارد بر نوسانگر با بسامد طبیعی نوسانگر است که برای آونگ وادارنده این اتفاق می‌افتد.

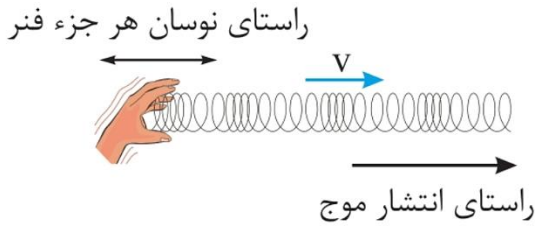
۷- موج عرضی

در این موج، راستای نوسان **عمود بر راستای انتشار** موج است. مثلاً در شکل زیر، در حالی که موج به سمت راست منتشر می‌شود، هر جزء فنر عمود بر راستای انتشار موج، به بالا و پایین نوسان می‌کند.



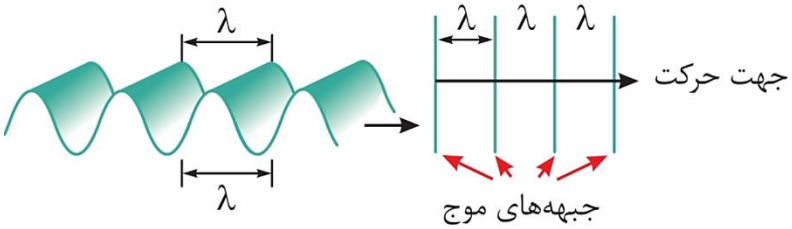
۸- موج طولی

در این موج، راستای نوسان در **راستای انتشار** موج است. مثلاً در شکل زیر، در حالی که موج به سمت راست حرکت می‌کند، هر حلقهٔ فنر **هم‌راستا** با حرکت موج به چپ و راست نوسان می‌کند، چوری که حلقه‌های فنر به طور متناوب جمع و باز می‌شوند.



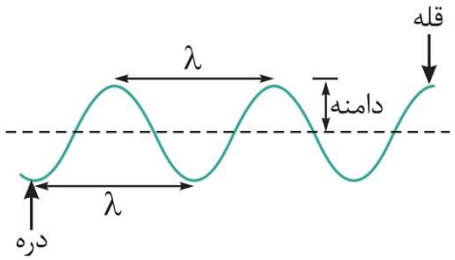
۹- طول موج و جبههٔ موج

به مسافتی که موج در یک دورهٔ تناوب طی می‌کند، طول موج می‌گویند. مطابق شکل صفحهٔ بعد، فاصلهٔ بین دو قله یا درهٔ متوالی برابر یک طول موج (λ) است. ضمناً به هر یک از فرورفتگی‌ها یا برآمدگی‌های ایجادشده در یک موج، جبههٔ موج می‌گویند.

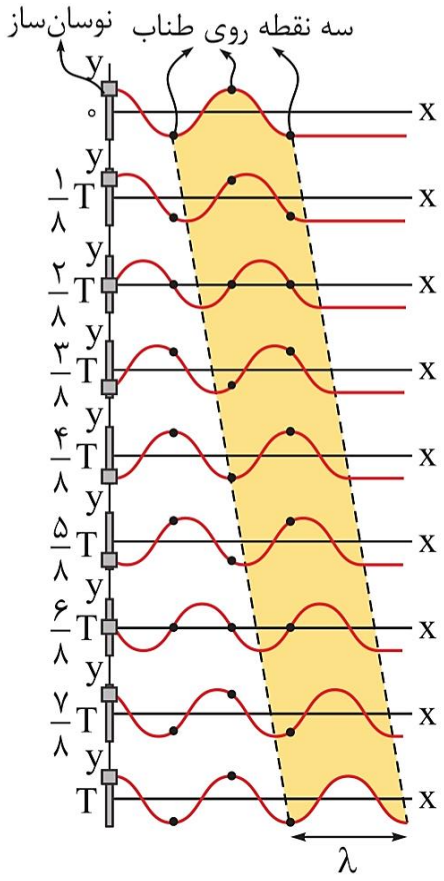


۱۰- دامنه

بیشینهٔ فاصلهٔ یک ذره از مکان تعادل، دامنهٔ موج است که همان فاصلهٔ قله یا دره نسبت به سطح آرام یا ساکن است. در شکل زیر دامنه را در یک موج عرضی می‌بینید.



۱۱- نقش یک موج عرضی در یک دورهٔ تناوب



در شکل مقابل، نقش یک موج عرضی پیش‌رونده را در ۹ لحظهٔ مختلف می‌بینید. همان‌طور که از شکل‌ها پیداست، در یک دورهٔ تناوب (T) موج به اندازهٔ یک طول موج (λ) پیش‌روی کرده است. به سه نقطهٔ روی طناب خوب نگاه کنید. بعد از یک دورهٔ تناوب، هر ذرهٔ روی طناب از جمله این سه نقطه، یک نوسان کامل انجام داده و به جای اولش در راستای نوسان (y) برگشته است.

۱۲- مشخصه‌های امواج الکترومغناطیسی

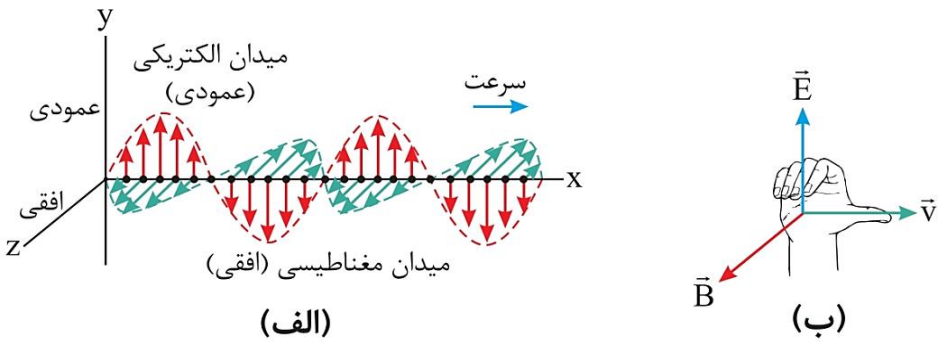
مطابق شکل:

الف) میدان‌های الکتریکی ($\vec{E}$) و مغناطیسی ($\vec{B}$) همیشه **برهم عمودند.**

ب) هم میدان الکتریکی ($\vec{E}$) و هم میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) همیشه بر جهت انتشار موج عمودند، پس امواج الکترومغناطیسی، موج **عرضی** هستند.

پ) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی همگام با هم تغییر می‌کنند، یعنی **هم‌بسامد** هستند و هم‌زمان با هم بیشینه و کمینه می‌شوند.

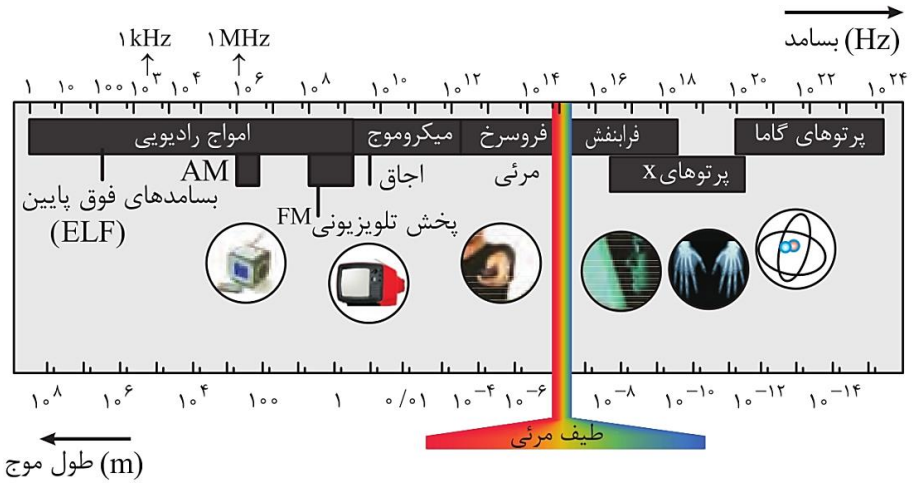
ت) اگر چهار انگشت دست راست را در جهت $\vec{E}$ قرار دهید، به طوری که مثل شکل (ب) جهت چرخش دست در جهت $\vec{B}$ باشد، انگشت شست جهت انتشار موج را نشان می‌دهد.



۱۳- طیف امواج الکترومغناطیسی

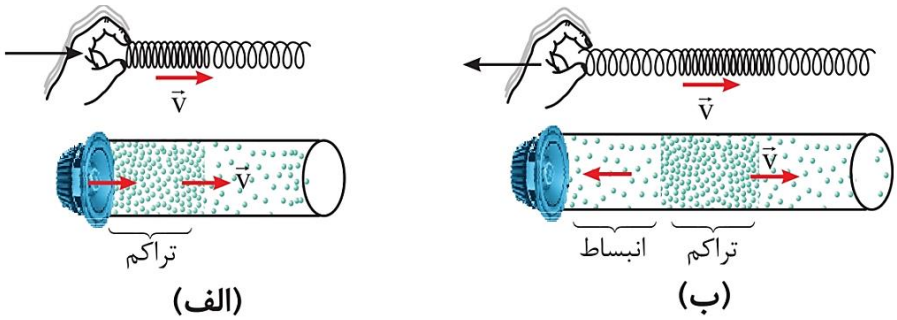
در شکل زیر، طیف امواج الکترومغناطیسی از امواج رادیویی تا پرتوهای گاما را می‌بینید. در این طیف هر چه از چپ به سمت راست بروید، بسامد و انرژی زیاد و طول موج کم می‌شود. مطابق شکل بیشترین بسامد و انرژی (کم‌ترین طول موج) مربوط به پرتوهای گاما و کم‌ترین بسامد و انرژی (بیشترین طول موج) مربوط به امواج رادیویی است.

نکته: تمام امواج الکترومغناطیسی در خلأ با تندی نور (c) منتشر می‌شوند.



۱۴- موج صوتی

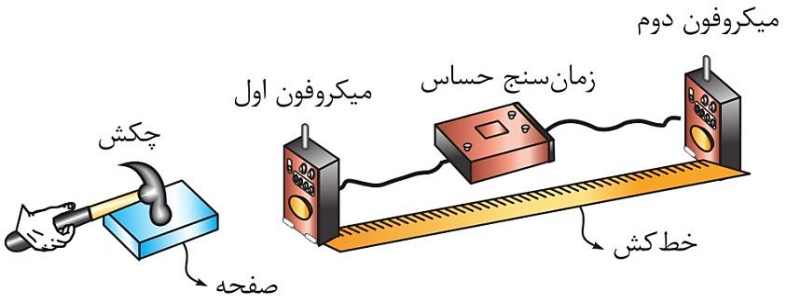
در شکل‌های زیر، دیافراگم یک بلندگو را می‌بینید که موج صوتی تولید می‌کند. حرکت رو به بیرون دیافراگم، یک تراکم هوا ایجاد می‌کند (شکل الف) و حرکت رو به داخل دیافراگم یک انبساط هوا ایجاد می‌کند (شکل ب). این نواحی تراکمی و انبساطی با تندی صوت از بلندگو دور می‌شوند. برای همین موج صوتی مثل یک موج طولی در فنر است؛ با این تفاوت که به جای جمع‌شدگی و بازشدگی‌های فنر، مجموعه‌ای از تراکم‌ها و انبساط‌ها وجود دارد.



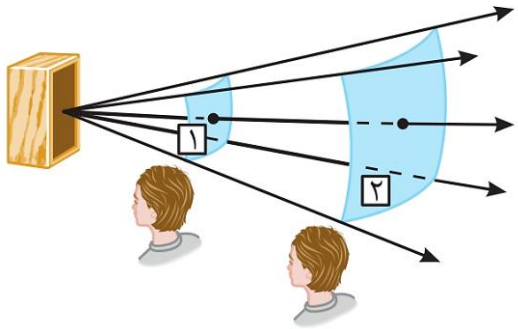
در انتشار موج، مولکول‌های هوا فقط در جای خود نوسان می‌کنند و همراه با موج حرکت نمی‌کنند (شکل پ).

۱۵- آزمایش اندازه‌گیری تندی صوت

مطابق شکل به کمک دو میکروفون، زمان‌سنج حساس، خط‌کش و یک وسیلهٔ تولید کنندهٔ صوت می‌توان تندی صوت را اندازه گرفت؛ این گونه که با ضربهٔ چکس به صفحهٔ فلزی، اول میکروفون نزدیک‌تر و بعد میکروفون دورتر صدا را دریافت می‌کنند. زمان‌سنج حساس هم این اختلاف زمان (Δt) را ثبت می‌کند. حالا با اندازه‌گیری فاصلهٔ این دو میکروفون به کمک خط‌کش (Δx)، تندی به کمک رابطهٔ $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ حساب می‌شود.



۱۶- انتشار موج صوت



موج صوتی به صورت کروی منتشر می‌شود. مطابق شکل، با انتشار صوت از چشمه، اول انرژی به طور عمود وارد سطح ۱ و سپس از سطح ۲ که مساحت بیشتری دارد، می‌گذرد.

۱۷- اثر دوپلر (چشمهٔ متحرک و ناظر ساکن)

در شکل زیر، هنگامی که ماشین آتش‌نشانی (چشمهٔ صوت) به شخص (شنونده) نزدیک می‌شود، نسبت به وقتی که ماشین آتش‌نشانی از شخص دور می‌شود **طول موج کم‌تر** و **بسامد بیشتری** به گوش شخص شنونده می‌رسد. دلیل این پدیده، اصل دوپلر است. طبق این اصل، وقتی ماشین ساکن است (شکل الف)، تجمع جبهه‌های موج در جلو و عقب ماشین یکسان است، ولی با حرکت رو به جلوی ماشین آتش‌نشانی (شکل ب)، تجمع جبهه‌ها در جلوی ماشین بیشتر و در عقب آن کم‌تر می‌شود، پس به زبان ریاضی:

$\lambda_{0\,\text{جلو}} < \lambda_{0\,\text{عقب}}$ و $\lambda_{0\,\text{جلو}} > \lambda_{0\,\text{عقب}}$

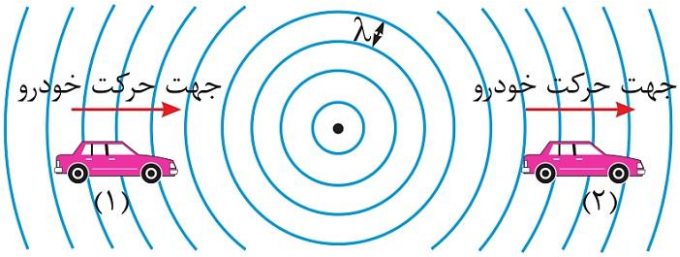
(الف)

(ب)

۱۸- اثر دوپلر (چشمهٔ ساکن و ناظر متحرک)

در این وضعیت، چون چشمه ساکن است، مطابق شکل تجمع جبهه‌های موج در دو طرف چشمه مثل هم است. حالا اگر ناظر (خودرو) به طرف چشمه حرکت کند، در مقایسه با ناظر ساکن، جبههٔ موج بیشتری را در مدت‌زمان یکسان دریافت می‌کند که این باعث افزایش بسامد صوت دریافتی هم می‌شود. برعکس این اتفاق، زمانی است که ناظر از چشمه دور می‌شود. در این حالت ناظر در مقایسه با ناظر ساکن، جبهه‌های موج کم‌تری را در مدت‌زمان یکسان دریافت می‌کند که این باعث کاهش بسامد صوت دریافتی هم می‌شود. به زبان ریاضی:

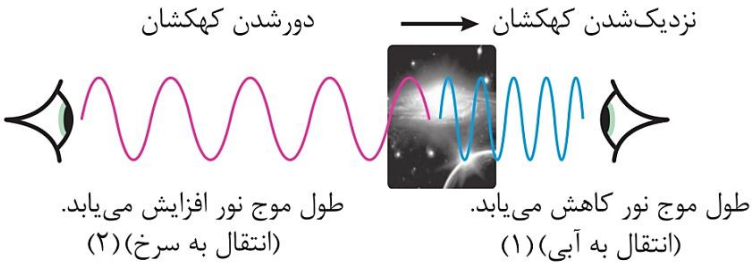
$\lambda_{o_1} = \lambda_{o_2}$ و $f_{o_1} > f_{o_2}$



۱۹- اثر دوپلر برای امواج الکترومغناطیسی

اثر دوپلر با یک تفاوت‌هایی نسبت به صوت، در امواج الکترومغناطیسی هم برقرار است. مطابق شکل، وقتی یک چشمهٔ نور مثل کهکشان؛ از چشم ما (ناظر) دور می‌شود، طول موج افزایش (بسامد کاهش) می‌یابد که به آن **انتقال به سرخ** (طول موج بیشتر) می گویند. زمانی هم که چشمهٔ نور به چشم ما نزدیک می‌شود، طول موج کاهش و بسامد افزایش می‌یابد که به آن **انتقال به آبی** (طول موج کم‌تر) می گویند. به زبان ریاضی:

$f_{o_1} > f_{o_2}$ و $\lambda_{o_1} < \lambda_{o_2}$



مفاهیم

۱) **نوسان‌نگار:** وسیله‌ای برای ثبت نوسان‌ها

۲) **دامنه (A):** بیشترین فاصلهٔ نوسانگر از مبدأ

۳) **بسامد طبیعی (f):** بسامد عادی یک نوسانگر بدون دخالت نیروی خارجی

۴) **نوسان واداشته:** اعمال یک نیروی خارجی هنگام نوسان یک نوسانگر؛ بسامد این نوسان را با f_d نمایش می‌دهند.

۵) **تشدید (رزونانس):** برابر شدن بسامد نوسان‌های واداشته (f_d) با بسامد طبیعی (f_0)

۶) **محیط کشسان:** محیطی که با تغییر شکل در آن، نیروهای کشسانی ایجادشده بین اجزای محیط، تمایل دارند محیط را به حالت اولیهٔ خود برگردانند.

۷) **موج:** هرگاه در ناحیه‌ای از یک محیط کشسان، ارتعاشی به وجود آید، باعث تولید ارتعاش‌های پی در پی دیگر به قسمت‌های دورتر می‌شود؛ در نتیجه، یک موج به‌وجود می‌آید

۸) **تپ:** به هر حرکت بالا و پایین در یک چشمهٔ موج، یک تپ گفته می‌شود؛ به عبارت علمی، تغییر شکل ایجادشده در محیط

۹) **موج پیشرونده:** موجی که از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت کرده و انرژی را با خود منتقل می‌کند.

۱۰) **چشمهٔ موج:** جایی که اولین بخش از محیط را به نوسان درمی‌آورد.

۱۱) **جبههٔ موج:** هر یک از صفحه‌های گذرنده از یک قله یا دره

۱۲) **تندی انتشار موج:** در یک محیط، به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار بستگی دارد، ولی به شرایط فیزیکی چشمهٔ موج کاری ندارد.

۱۳) **امواج الکترومغناطیسی:** به امواجی گفته می‌شود که از تغییرات هم‌زمانِ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به‌وجود می‌آیند.

۱۴) **صوت:** یک موج طولی که فقط در محیط‌های مادی (گاز، مایع و جامد) می‌تواند ایجاد و منتشر شود.

۱۵) **تندی انتشار صوت:** علاوه بر جنس محیط، به دمای آن هم وابسته است.

۱۶) **ارتفاع:** بسامدی که گوش انسان درک می‌کند.

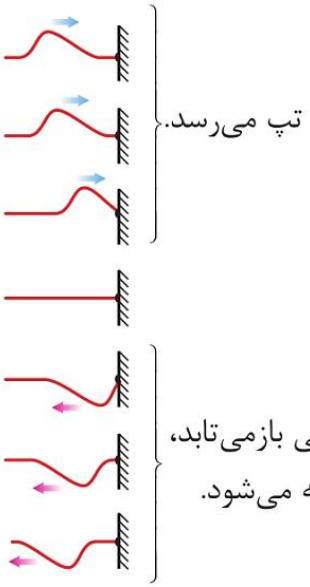
۱۷) **بلندی:** حس دریافتی گوش انسان از شدت صوت

نکته: ادراک شنوایی به ارتفاع و بلندی آن صوت بستگی دارند.

فصل ۴: برهم‌کنش‌های موج

تصاویر

۱- بازتاب در یک بعد



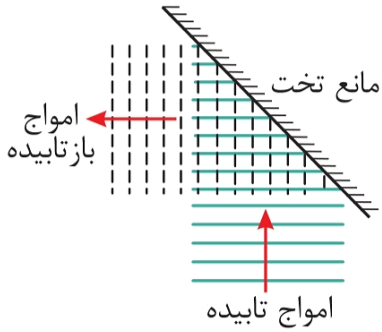
مطابق شکل، وقتی یک تپ موج مکانیکی (مثل ریسمان) به یک انتهای ثابت می‌رسد، نیرویی به تکیه‌گاه وارد می‌کند. طبق قانون سوم نیوتون، نیرویی **هم‌اندازه**، اما **در جهت مخالف** به انتهای ریسمان وارد می‌شود. این نیرو باعث ایجاد تپ بازتابی در ریسمان می‌شود.

برای رسم نقش موج بازتاب نسبت به تپ تابیده (فرودی) دو کار باید انجام دهید:

۱) قرینه کردن تپ فرودی نسبت به محور افقی در راستای طناب

۲) قرینه کردن نقش حاصل نسبت به محور قائم (عمود بر راستای طناب)

۲- بازتاب در دو بعد

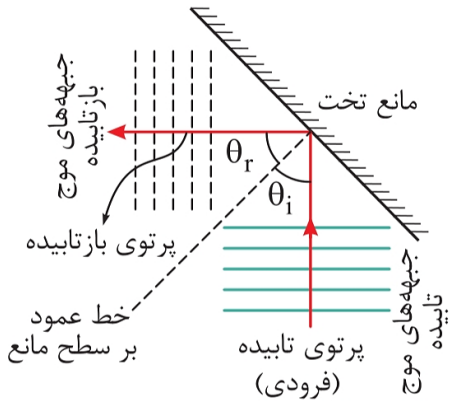


در شکل رو به‌رو، یک موج تخت دوبعدی (مثلاً روی سطح آب) را می‌بینید که به یک مانع تخت برخورد کرده و بازتاب شده است.

توجه: موج بازتاب هم مثل موج تابیده یک موج تخت است.

۳- نمودار پرتویی و قانون بازتاب عمومی

برای نشان دادن رفتار یک موج، از چیزی شبیه شکل زیر استفاده می‌کنیم که به آن نمودار پرتویی می‌گویند. این طرح برای همان موج تخت شکل قبل رسم شده است که در آن، θ_i، زاویهٔ بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی تابیده (فرودی) و θ_r، زاویهٔ بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی بازتابیده است.



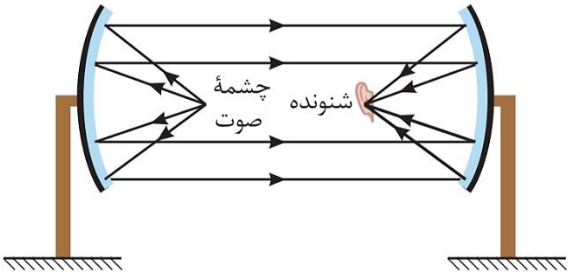
به θ_i، زاویهٔ تابش و به θ_r، زاویهٔ بازتابش می‌گویند.

طبق قانون بازتاب عمومی، برای هر نوع وضعیت مانع و برای همهٔ انواع امواج، همواره $\theta_i = \theta_r$ است و پرتوی فرودی، بازتابیده و خط عمود بر سطح در یک صفحه قرار دارند.

نکته: پرتو یک پیکان مستقیم عمود بر جبهه‌های موج است.

۴- بازتاب امواج صوتی در سطح کاو (سه بعد)

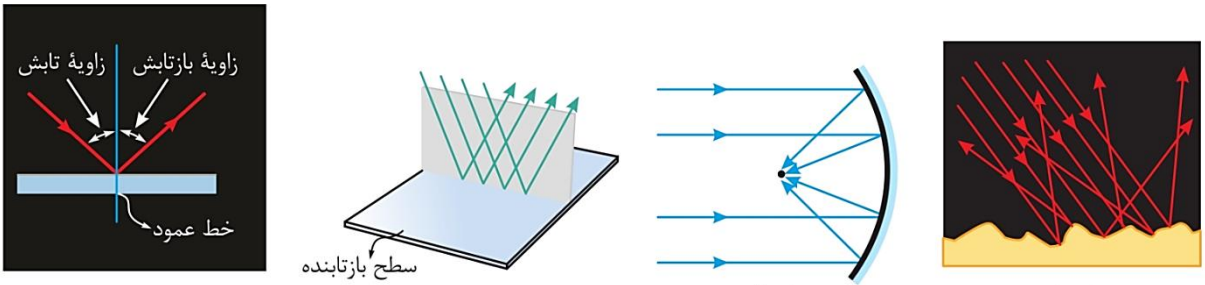
وقتی دو سطح کاو را مقابل هم قرار دهیم و یک چشمهٔ صوت را در کانون یکی از این سطح‌ها بگذاریم، شنونده‌ای که در کانون سطح دیگر قرار دارد، صدای چشمهٔ صوت را خیلی واضح می‌شنود.



در شکل مقابل، نمودار پرتویی این بازتاب را می‌بینید که چگونه صوت از چشمهٔ صوت به گوش شنونده می‌رسد، همان‌طور که پیداست، صوت هم از قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کند.

۵- بازتاب امواج الکترومغناطیسی

مثل امواج مکانیکی، امواج الکترومغناطیسی هم از قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کنند. در شکل‌های (الف) و (پ)، بازتاب یک نوع موج الکترومغناطیسی (مرئی) را می‌بینید که طبق قانون بازتاب عمومی، زاویهٔ تابش و بازتابش آن با هم برابرند (شکل الف) و پرتوی تابش، بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده در یک صفحه قرار دارند (شکل ب). در شکل (پ) هم پرتوهای بازتاب یک موج الکترومغناطیسی تخت از یک سطح کاو را می‌بینید که در کانون به هم رسیده‌اند.



(الف) (ب) (پ) (ت)

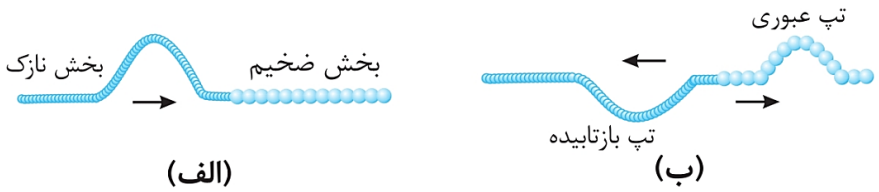
در هر سه شکل (الف)، (ب) و (پ)، بازتاب از یک سطح هموار اتفاق افتاده، برای همین بازتاب، منظم یا آینه‌ای است؛ اما در شکل (ت)،بازتاب از سطحی ناهموار رخ داده که به آن بازتاب نامنظم یا پخشنده می‌گویند. در این حالت، پرتوهای نور به شکل کاتوره‌ای از پستی و بلندی‌های سطح بازتابیده و در تمام جهات پراکنده می‌شوند.

توجه: دقت کنید که قوانین بازتاب در مورد سطوح ناهموار هم‌چنان برقرار است.

نکته: منظور از سطح ناهموار سطحی است که ابعاد ناهمواری‌های آن در مقایسه با طول موج نور (برای نور مرئی در حدود $0/5\mu m$) بسیار بزرگ‌تر است.

۶- شکست موج در یک بعد (طناب)

در شکل‌های زیر، طنابی را می‌بینید که از دو بخش نازک و ضخیم تشکیل شده است. در شکل (الف)، یک تپ از بخش نازک به مرز دو طناب می‌رسد. در شکل (ب)، بخشی از این تپ بازتاب و بخش دیگر عبور می‌کند. پس در واقع، یک موج مکانیکی از یک محیط به محیط دیگر رفته که به آن شکست موج می‌گویند. حالا از آن‌جا که بسامد از ویژگی‌های چشمه است و به محیط کاری ندارد، بسامد موج در همه جای طناب یکسان است. با این حساب، چون تندی موج عبوری در بخش ضخیم کم‌تر می‌شود، طبق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$، طول موج کم‌تری هم نسبت به موج فرودی خواهد داشت.

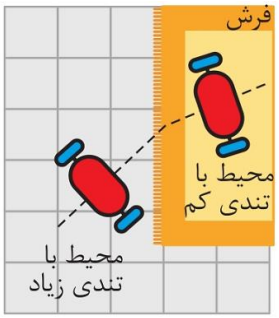


(الف) (ب)

۷- شکست موج در دو بعد (شبیه‌سازی با اسباب‌بازی)

در شکل (الف)، وقتی اسباب‌بازی وارد فرش می‌شود، مسیرش تغییر می‌کند؛ به این خاطر که چرخی که اول به فرش می‌رسد، زودتر کند می‌شود.

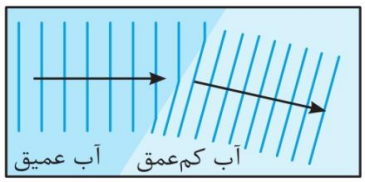
شبیه همین پدیده برای یک موج سطحی (دوبعدی) وقتی که می‌خواهد از یک محیط وارد محیط دیگر شود هم اتفاق می‌افتد؛ یعنی تغییر تندی باعث تغییر جهت انتشار می‌شود. این تغییر جهت انتشار در موج‌های دوبعدی و سه‌بعدی باعث شکست موج می‌شود.



(الف)

در شکل (ب)، نمود واقعی شکست نور در آب را می‌بینید. همان‌طور که از شکل پیدا است، یک موج سطحی از قسمت

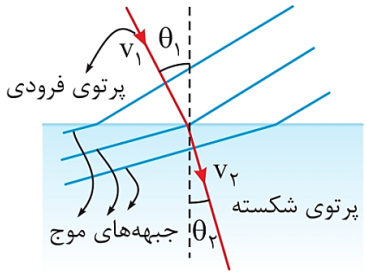
عمیق به کم‌عمق می‌رود. چون تندی موج در بخش کم‌عمق کم می‌شود، هم طول موج کم می‌شود و هم جهت انتشار موج تغییر می‌کند.



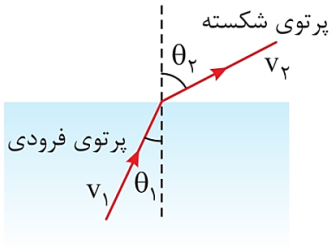
(ب)

۸- قانون شکست عمومی

در بخش فرمول‌ها گفتیم که برای اندازه‌گیری زاویه و تندی در پدیدهٔ شکست، از رابطهٔ $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$ استفاده می‌کنیم. طبق این رابطه، اگر جبههٔ موجی با زاویهٔ تابش θ_1 از محیط با تندی بیشتر به محیط با تندی کم‌تر برود ($v_2 > v_1$)، زاویهٔ شکست θ_2 بزرگ‌تر از زاویهٔ تابش θ_1 می‌شود و پرتوی شکست از خط عمود بر سطح دورتر می‌شود (شکل پ).



(الف)



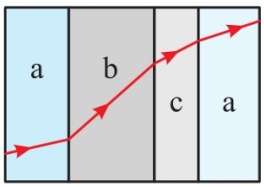
(ب)

توجه: یادتان نرفته که پرتوهای موج همیشه عمود بر جبهه‌های موج هستند؟! اگر شک دارید، شکل (الف) را خوب نگاه کنید.

۹- شکست موج‌های الکترومغناطیسی

هر وقت یک پرتوی موج الکترومغناطیسی از یک محیط وارد محیط دیگر می‌شود، به خاطر تغییر تندی شکسته می‌شود؛ این‌گونه که هر چه تندی در آن محیط کم‌تر باشد، پرتوی شکست به خط عمود بر سطح نزدیک‌تر می‌شود.

با توجه به این نکته، تندی پرتوی موج در سه محیط این‌گونه باید باشد:



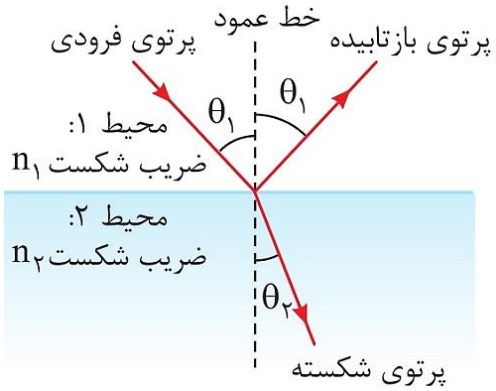
$v_b > v_c > v_a$

۱۰- قانون شکست اسنل

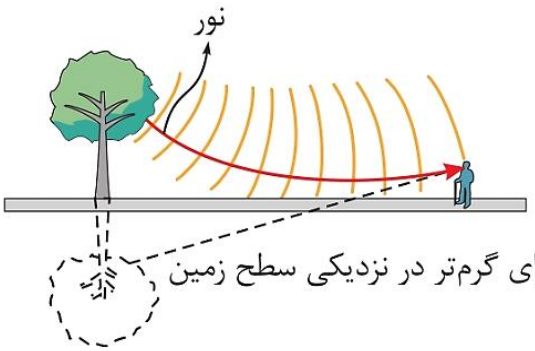
اگر قانون شکست عمومی را با رابطهٔ ضریب شکست (θ_1) ترکیب کنیم، به قانون شکست اسنل می‌رسیم. این قانون برای دو محیط خاص ۱ و ۲، که به ترتیب ضریب شکست $n_1 = \frac{c}{v_1}$ و $n_2 = \frac{c}{v_2}$ را دارند، می‌گوید:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\frac{c}{n_2}}{\frac{c}{n_1}} = \frac{n_1}{n_2}$$

در شکل زیر، طرحی از بازتاب و شکست نور را می‌بینید.



۱۱- سراب

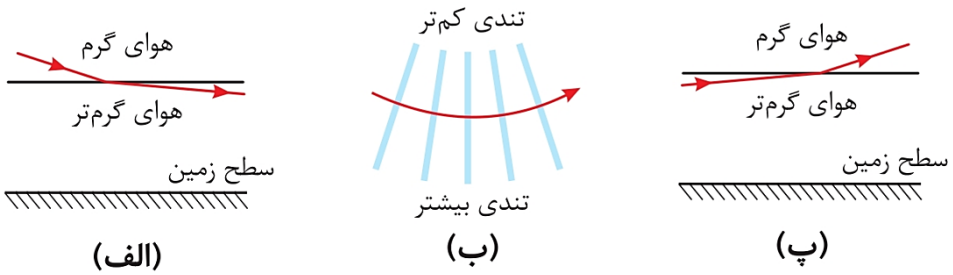


در شکل رو به‌رو، مدل‌سازی کلی پدیدهٔ سراب را می‌بینید. در این پدیده، جبهه‌های موج با نزدیک شدن به سطح زمین، رو به بالا خم می‌شوند و باعث می‌شود که ناظر تصویر آسمان را روی زمین ببیند و حس کند که روی زمین آب هوای گرم‌تر در نزدیکی سطح زمین جمع شده است.

۱۲- نحوهٔ شکل‌گیری پدیدهٔ سراب

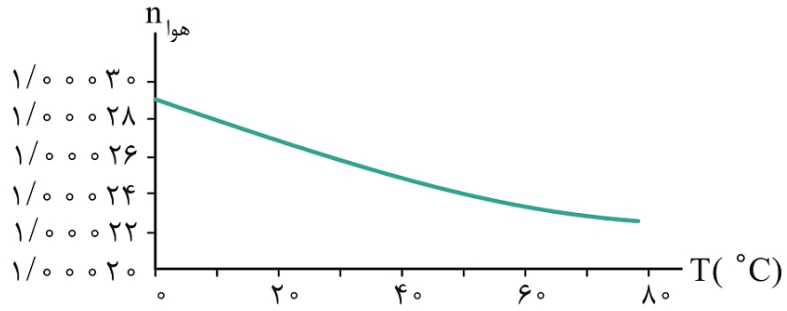
وقتی سطح زمین داغ است، لایه‌های هوا هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شوند، گرم‌تر می‌شوند. از آن‌جا که چگالی هوا با افزایش دما کم می‌شود، هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، چگالی هوا و به تناسب ضریب شکست کم‌تر می‌شود. به خاطر همین، پرتوهای نور هنگام رسیدن به هوای گرم‌تر، بیشتر به سمت افق خم می‌شوند (شکل الف). با توجه به این موضوع، طول موج پرتوها تندی‌شان بیشتر می‌شود (شکل ب). در ادامه، پرتو

به سمت بالا خم می‌شود. در نتیجه پرتو وارد محیط‌های با ضریب شکست بیشتر می‌شود (شکل پ). در نهایت این اتفاقات باعث می‌شود که ما تصویر آسمان را در زمین ببینیم.



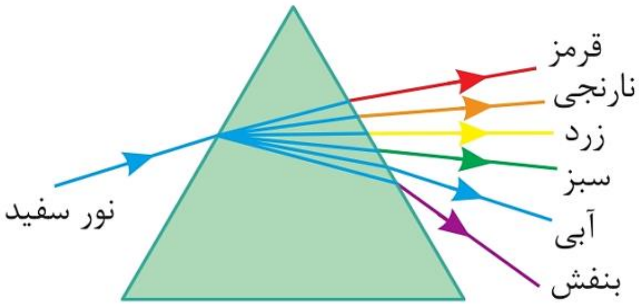
۱۳- نمودار تغییرات ضریب شکست هوا با دما

مطابق نمودار، با افزایش دمای هوا، ضریب شکست کم کم کاهش می‌یابد.

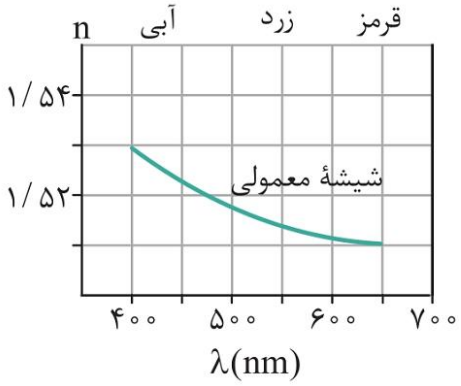


۱۴- پاشندگی نور

ضریب شکست هر محیطی به جز خلأ به طول موج نور بستگی دارد؛ به خاطر همین وقتی نور سفید را به منشور می‌تابانیم، در عبور از آن به رنگ‌های مختلفی تجزیه می‌شود. این پخش‌شدگی نور را پاشندگی نور می‌نامند. هر چه طول موج کم‌تر باشد، ضریب شکست و انحراف آن پرتو بیشتر است؛ پس انحراف نور قرمز (طول موج بیشتر) کم‌تر و انحراف نور بنفش (طول موج کم‌تر) بیشتر خواهد بود.



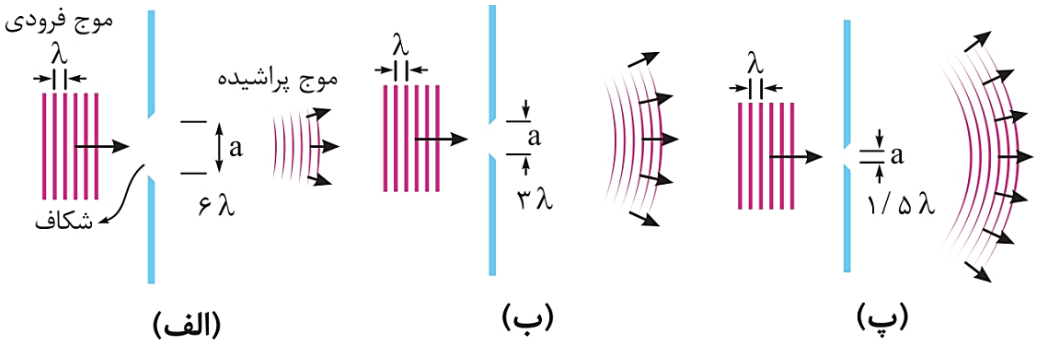
۱۵- نمودار تغییرات ضریب شکست در طیف نور مرئی



مطابق این نمودار، ضریب شکست برای طول موج بیشتر، کم‌تر است.

۱۶- پراش موج

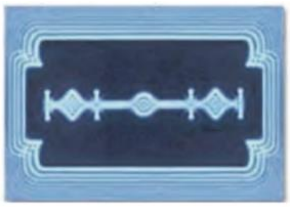
موج در عبور از یک شکاف یا پهنایی از مرتبهٔ طول موج به اطراف گسترده می‌شود. به این پدیده، پراش می‌گویند. حالا هرچه پهنای این شکاف‌ها به طول موج نزدیک‌تر باشد، پراش شدیدتر است. در شکل‌های زیر این موضوع کاملاً مشخص و قابل مقایسه است.



(الف) (ب) (پ)

نکته:

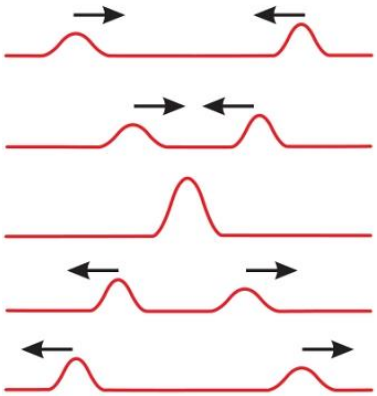
۱- پراش هنگام عبور از لبه‌های تیز هم اتفاق می‌افتد، به خاطر همین در شکل (ت)، نوارهای روشن و تاریک در لبه‌های تیغ تشکیل شده است.



(ت)

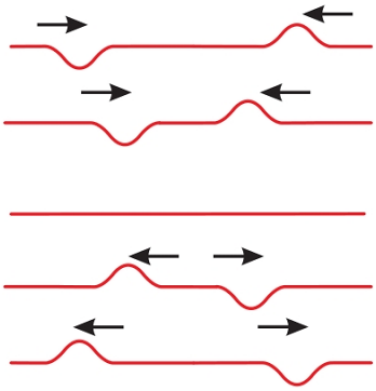
۲- پراش برای همهٔ انواع موج اتفاق می‌افتد.

۱۷- تداخل امواج (سازنده)



اگر تپ‌ها هنگام هم‌پوشانی، جابه‌جایی بزرگ‌تری ایجاد کنند، تداخل سازنده خواهد بود. مثلاً در شکل زیر، دو تپ قله به هم می‌رسند و از هم عبور می‌کنند. همان‌طور که از شکل پیدا است، در لحظهٔ هم‌پوشانی کامل، جابه‌جایی به حداکثر مقدار خود رسیده است.

۱۸- تداخل امواج (ویرانگر)

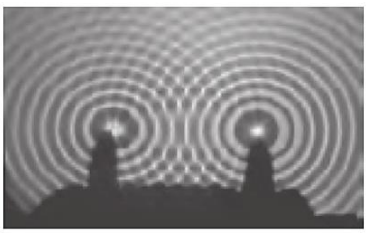


اگر تپ‌ها هنگام هم‌پوشانی، اثر همدیگر را خنثی کنند، جوری که در محل هم‌پوشانی کم‌ترین جابه‌جایی ایجاد شود، تداخل ویرانگر خواهد بود. در شکل‌های روبه‌رو، یک تپ دره و یک تپ قله به هم رسیده‌اند که در لحظهٔ هم‌پوشانی کامل، جابه‌جایی صفر شده است.

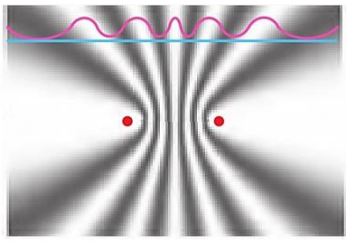
تپ‌ها و موج‌ها هنگام هم‌پوشانی شکل و حرکت یکدیگر را تغییر نمی‌دهند.

۱۹- تداخل امواج سطحی آب

در شکل (الف)، تداخل امواج روی سطح آب را می‌بینید. در این شکل، به کمک دو گوی کوچک به طور هم‌زمان (هم‌فاز) و هم‌بسامد به سطح آب ضربه زده شده و دو دستهٔ موج دایره‌ای ایجاد شده است. همان‌طور که از این شکل پیدا است، در بعضی نقاط برآمدگی و فرورفتگی وجود دارد که علت برآمدگی، تداخل سازنده و علت فرورفتگی، تداخل ویرانگر است. حالا اگر یک ورقهٔ کاغذ زیر تشت موج قرار می‌دهیم، سایهٔ تشکیل‌شده ناشی از تداخل آب، شکلی شبیه شکل (ب) خواهد شد. در این شکل نواحی روشن، تداخل سازنده و نواحی تاریک، تداخل ویرانگر دارند.

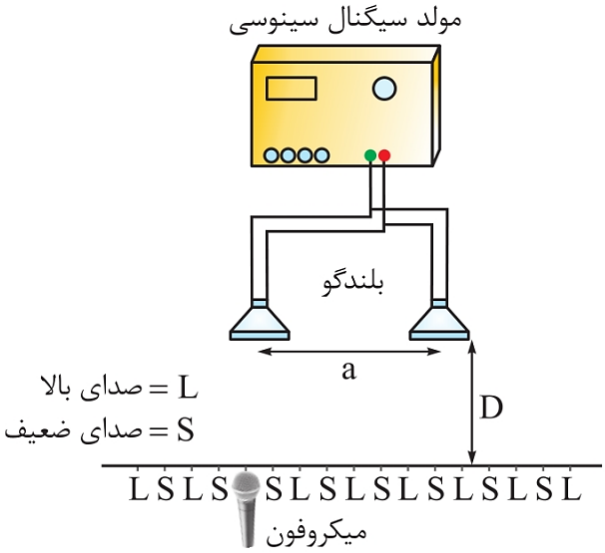


(الف)



(ب)

۲۰- تداخل امواج صوتی

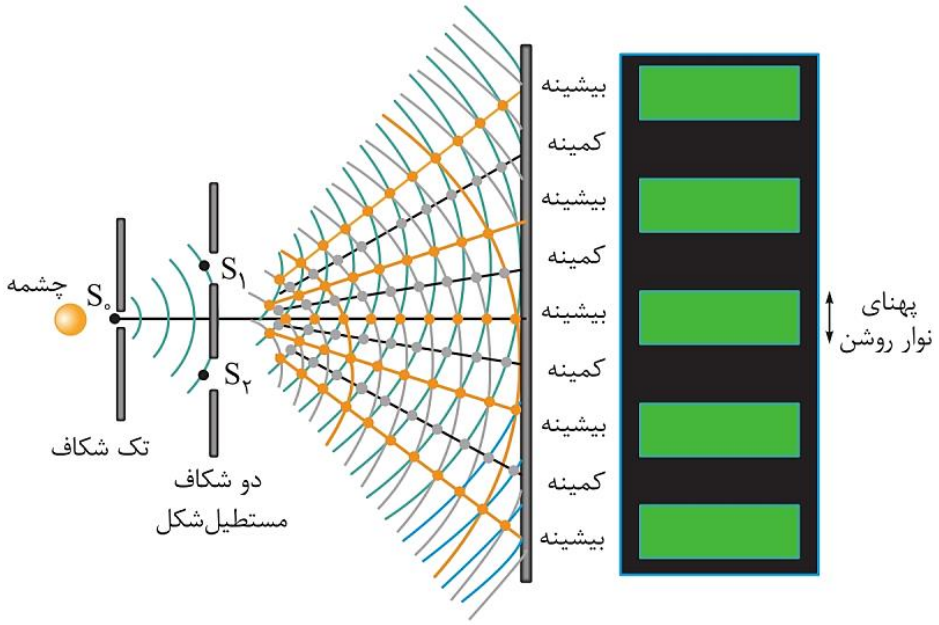


اگر مطابق شکل دو بلندگو هم‌بسامد را به یک مولد سیگنال الکتریکی وصل کنیم، با حرکت دادن میکروفون در امتداد یک خط فرضی می‌بینیم که بلندی صدا به تناوب کم و زیاد می‌شود. پس در واقع در نقاط L، تداخل سازنده و در نقاط S، تداخل ویرانگر داریم.

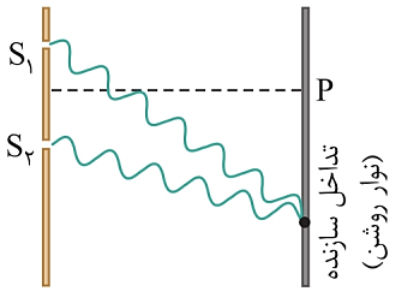
۲۱- تداخل امواج نوری (آزمایش یانگ)

آقای توماس یانگ، آزمایشی مشابه شکل (الف) انجام داد و فهمید که نور هم مثل سطح آب و صوت، می‌تواند دچار تداخل شود. در این آزمایش، اول نور فرودی تکفام (مثلاً سبز) توسط یک تک‌شکاف پراشیده می‌شود و دو شکاف S_1 و S_2 را روشن می‌کند. حالا در این مرحله، دو شکاف S_1 و S_2 مثل دو چشمهٔ نور نقطه‌ای هم‌بسامد و هم‌فاز عمل می‌کنند که جبهه‌های موجشان با هم تداخل می‌کنند. نقش تداخلی این دو شکاف به صورت نوارهای روشن (تداخل سازنده) و نوارهای تاریک (تداخل ویرانگر) روی پرده ظاهر می‌شود. به این نوارها، فریز (fringes) می‌گویند.

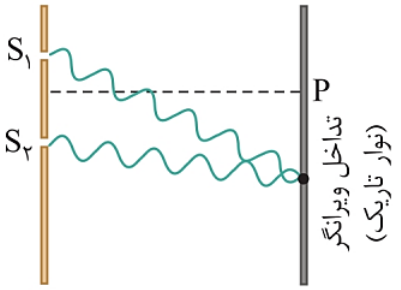
در شکل (پ)، دو موج را می‌بینید که همدیگر را تقویت کرده‌اند و تداخل سازنده انجام داده‌اند. در شکل (پ) هم، دو موج را می‌بینید که همدیگر را تضعیف کرده‌اند و تداخل ویرانگر انجام داده‌اند.



(الف)



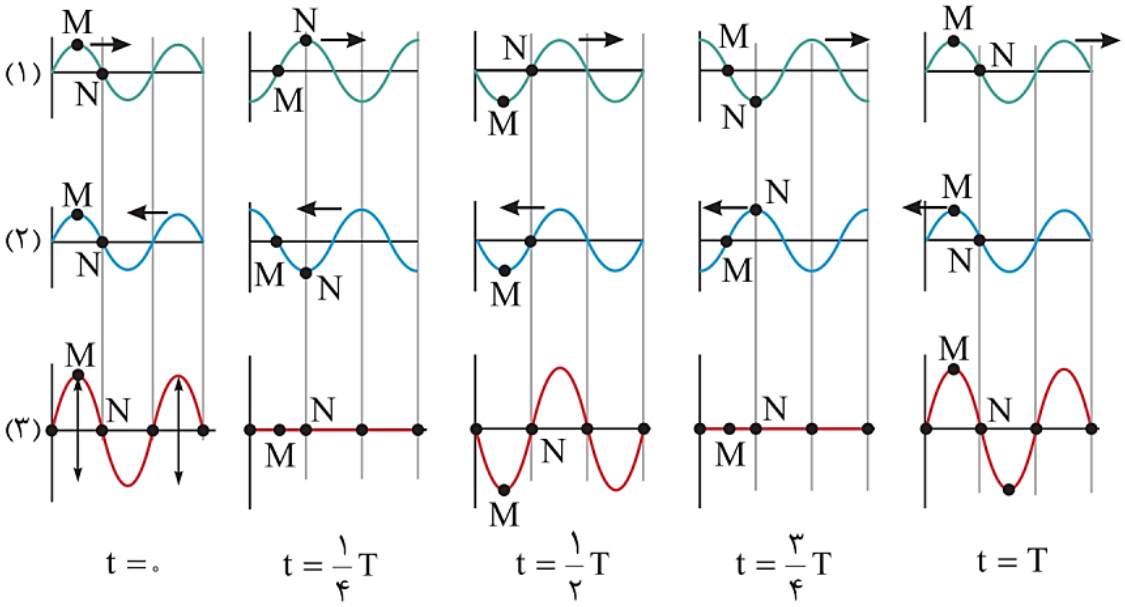
(ب)



(پ)

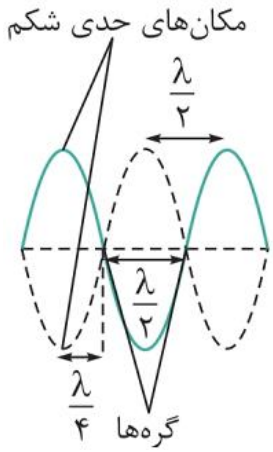
۲۲- نحوهٔ تشکیل امواج ایستاده

یک تار ریسمان را تصور کنید که یک سر آن در یک نقطه ثابت شده و سر دیگر آن به نوسان درمی‌آید. چند لحظه بعد از نوسان چشمه، موج از انتهای ثابت آن بازتاب و با موج در حال حرکت تداخل می‌کند که نتیجه‌اش می‌شود موج ایستاده! در شکل‌های زیر، وضعیت ریسمان را در هر ربع دوره ($\frac{T}{4}$) می‌بینید. ردیف (۱) موج تابیده، ردیف (۲) موج بازتابیده و ردیف (۳) برایند این دو موج است که می‌شود همان موج ایستاده! به دو نقطهٔ M و N خوب نگاه کنید. در موج ایستاده، یعنی نمودار قرمز رنگ نقطهٔ M با بیشترین دامنه در حال نوسان است، در حالی که نقطهٔ N از جایش تکان نمی‌خورد. در موج ایستاده به نقطه‌هایی مثل N که حرکت نمی‌کنند، **گره** و به نقطه‌هایی مثل M که بیشترین دامنه را دارند، **شکم** می‌گویند. شکم‌ها همیشه وسط گره‌های مجاور هم قرار دارند.



توجه: در امواج ایستاده، چون نقش موج به چپ یا راست حرکت نمی‌کند، محل گره‌ها و شکم‌ها تغییر نمی‌کند.

۲۳- طرح موج ایستاده



یک موج ایستاده را به صورت زیر نشان می‌دهند که ترکیبی از موج برآیند در لحظهٔ $t = ۰$ (خط) و $t = \frac{T}{۲}$ (خط‌چین) است.

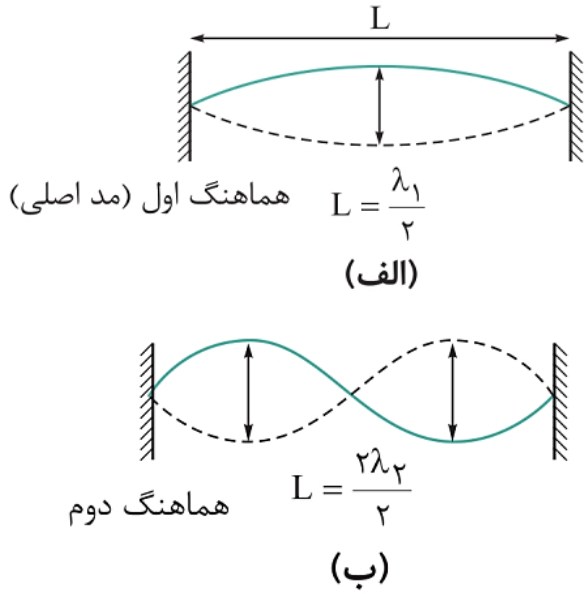
همان‌طور که در شکل هم مشخص شده، فاصلهٔ گره‌ها یا شکم‌های مجاور از هم $\frac{\lambda}{۲}$ و فاصلهٔ گره‌ها از شکم‌های مجاور خود $\frac{\lambda}{۴}$ است.

۲۴- بسامدهای تشدید تار

در یک تار همیشه موج ایستاده در بسامدهای معینی تشکیل می‌شود. به این بسامدهای معین، بسامدهای تشدید تار گفته می‌شود. حالا اگر طول این تار L باشد، بین L و λ روابطی وجود دارد که در شکل‌های زیر، سه حالت آن را می‌بینید. به هر کدام از مدهای نوسان، هماهنگ آن **مد** گفته می‌شود. بین شمارهٔ هماهنگ (n)، طول

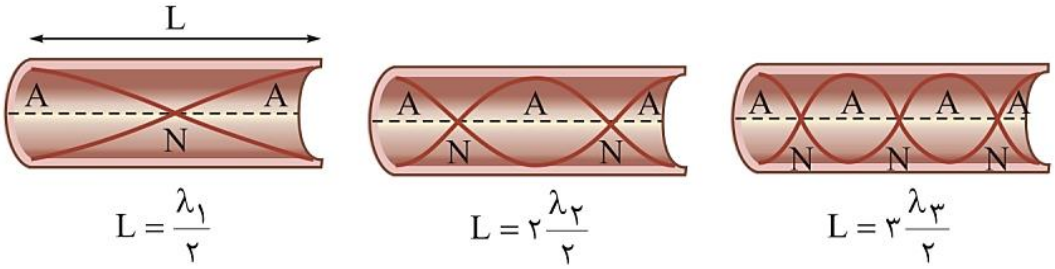
موج (λ) و طول تار (L) رابطهٔ زیر وجود دارد:

$$L = n(\frac{\lambda_n}{۲})$$



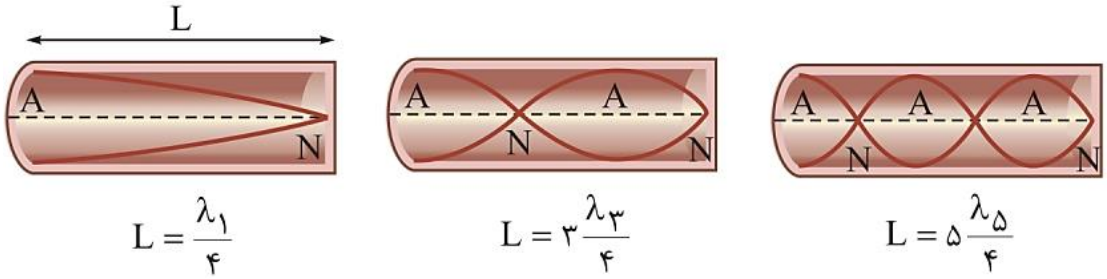
۲۵- تشدید در لولهٔ صوتی دو انتها باز

مشابه تار در لوله‌های صوتی هم موج ایستاده تشکیل می‌شود. در شکل زیر، سه مد ابتدایی یک لولهٔ صوتی دو انتها باز را می‌بینید. نقاط A، شکم و نقاط N گره هستند. با توجه به فاصلهٔ گره‌ها از شکم‌ها، طول لوله را بر حسب طول موج می‌توان حساب کرد.

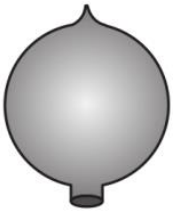


۲۶- تشدید در لولهٔ صوتی یک انتها باز

اگر یک انتهای لولهٔ صوتی بسته باشد، موج ایستاده، به شکل‌های زیر درمی‌آید. در اینجا هم می‌توان طول لوله را بر حسب طول موج نوشت.



۲۷- تشدیدگر هلمهولتز



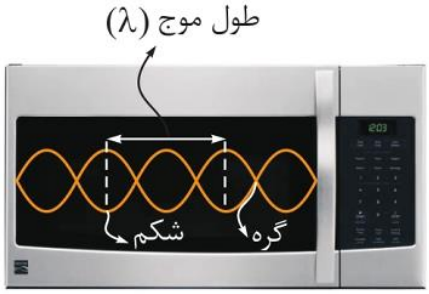
مطابق شکل، این تشدیدگر شکم چاق و گردن باریکی دارد. این گردن باریک، باعث نوسانات بیشتر در بطری و تولید صدای بلندتر می‌شود. این تشدیدگر هم مثل لوله‌های صوتی، بسامدهای تشدیدی معینی دارد.

۲۸- امواج ایستاده در اجاق‌های میکروموج

اساس کار اجاق‌های میکروموج (مایکروفر) هم بر اساس تداخل امواج الکترومغناطیسی و تشکیل موج ایستاده است.

در شکل زیر، تصویر یک‌بعدی این امواج را می‌بینید.

مشابه دیگر امواج ایستاده، این‌جا هم گره و شکم داریم. چون در محل شکم‌ها، دامنهٔ نوسان میدان الکتریکی بیشینه است، مولکول‌های آب موجود در مادهٔ غذایی به شدت ارتعاش می‌یابند و خیلی سریع داغ می‌شوند؛ اما در محل گره‌ها اتفاق خاصی نمی‌افتد. به خاطر همین، این اجاق‌ها، صفحهٔ گردانی دارند تا همهٔ ذرات غذا در وضعیت **شکم!** قرار گیرند و به‌طور یکنواخت داغ شوند.



مفاهیم

۱) **پرتو:** پیکان مستقیم عمود بر جبهه‌های موج

۲) **پژواک:** بازتاب صوتی که با یک تأخیر زمانی نسبت به صوت اولیه به گوش شنونده می‌رسد.

۳) **شکست:** عبورموج از یک محیط به محیط دیگر و تغییر جهت انتشار آن

۴) **ضریب شکست محیط:** نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در محیط ($n = \frac{c}{v}$)

۵) **پراش:** گسترده و پراکنده شدن موج در عبور از یک شکاف یا لبه با پهنایی از مرتبهٔ طول موج

۶) **اصل برهم‌نهی امواج:** وقتی چند موج به صورت هم‌زمان بر ناحیه‌ای از فضا تأثیر بگذارند، اثر خالص آن‌ها برابر مجموع اثرهای مجزای هر یک از آن‌ها می‌شود.

۷) **تداخل:** ترکیب موج‌ها با یکدیگر

۸) **امواج ایستاده:** چون انرژی این امواج ثابت است و منتقل نمی‌شود، این امواج به چپ یا راست حرکت نمی کنند؛ به خاطر همین، به آن‌ها امواج ایستاده می گویند.

فصل ۵: آشنایی با فیزیک اتمی

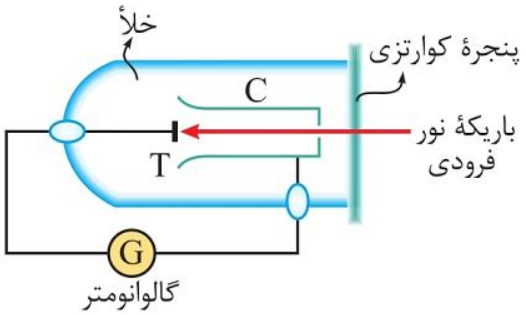
تصاویر

۱- اثر فوتوالکتریک

وقتی که مطابق شکل (الف) به کلاهک یک الکتروسکوپ، نور فرابنفش می‌تابانیم، ورقه‌ها با هم نزدیک‌تر می‌شوند، اما اگر با یک لامپ معمولی مثل شکل (ب) نور مرئی را به کلاهک همین الکتروسکوپ بتابانیم، ورقه‌ها تکان نمی‌خورند! دلیل این اتفاق اثرفوتوالکتریک است. طبق این اثر، هنگامی که نوری با بسامد مناسب به سطح یک فلز می تابد، الکترون‌هایی از سطح آن جدا می‌شوند (شکل پ). به خاطر همین به این الکترون‌ها می گوییم **فوتوالکترون!**

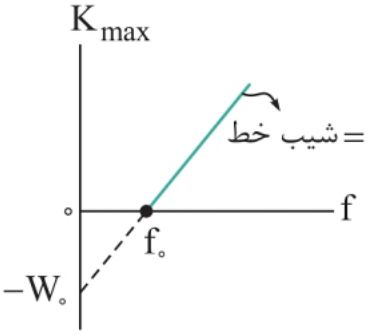
۲- آزمایشی برای بررسی پدیدهٔ فوتوالکتریک

در شکل زیر، یک صفحهٔ هدف فلزی (T) و جمع کنندهٔ فلزی (C) را می‌بینید که در یک محفظهٔ شیشه‌ای خلأ قرار دارند. این محفظهٔ شیشه‌ای از بیرون به یک آمپرسنج حساس (گالوانومتر) وصل است. با تابش یک نور تکفام با بسامد به قدر کافی بالا (بیشتر از بسامد آستانه) به صفحهٔ T، فوتوالکترون‌ها آزاد می‌شوند و به جمع کنندهٔ C می‌رسند. با این کار، گالوانومتر عبور جریان را نشان می‌دهد.



نکته: با افزایش شدت نور فرودی، گالوانومتر جریان بیشتری را نشان می‌دهد؛ البته به شرطی که پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ دهد؛ چرا که اگر بسامد فرودی کافی نباشد، هر چه‌قدر هم که شدت نور فرودی زیاد شود، این پدیده و در نتیجه عبور جریان اتفاق نمی‌افتد.

۳- نمودار بیشینهٔ انرژی جنبشی برحسب بسامد نور فرودی



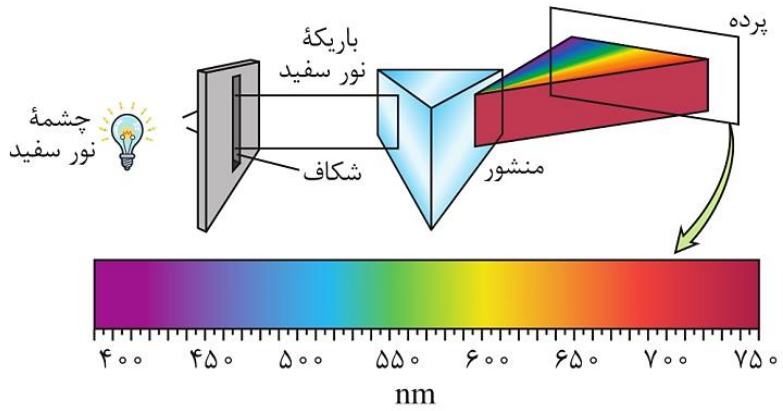
طبق رابطهٔ $K_{max} = hf - W_0$، نمودار $K_{max} - f$ به شکل مقابل خواهد بود.

همان‌طور که از نمودار پیدا است، محل برخورد نمودار با محور افقی (f)، بسامد آستانه (f_0) را نشان می‌دهد. شیب نمودار برابر ثابت پلانک (h) است. محل برخورد نمودار با محورعمودی هم منفی تابع کار فلز ($-W_0$) را نشان می‌دهد.

توجه: چون برای بسامد کم‌تر از بسامد آستانه (f_0)، پدیدهٔ فوتوالکتریک اتفاق نمی‌افتد، نمودار به صورت خط‌چین رسم شده است.

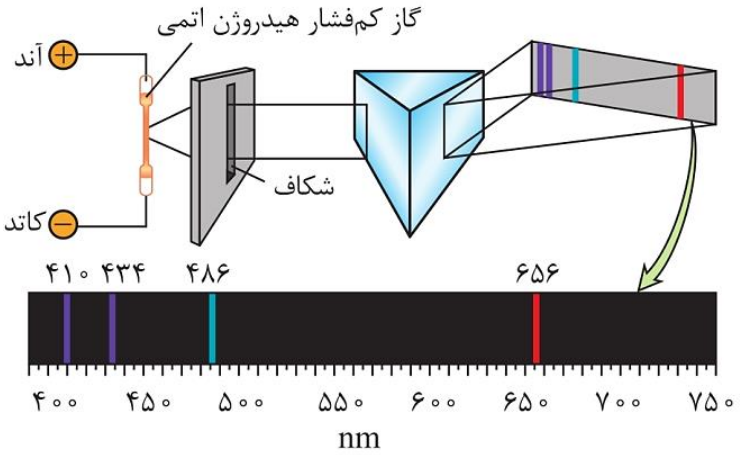
۴- طیف گسیلی پیوسته (طیف پیوسته)

اگر نور سفید ناشی از یک رشتهٔ داغ لامپ روشن را از منشور عبور دهیم، می‌بینیم که در طیف گسیلی حاصل هیچ گسستی و مرز مشخصی وجود ندارد و شامل گسترهٔ پیوسته‌ای از طول موج‌ها است. برای همین، به چنین طیفی، طیف گسیلی پیوسته می گویند. در شکل صفحهٔ بعد، گسترهٔ مرئی این طیف را نشان داده شده است.



۵- طیف گسیلی خطی (طیف خطی)

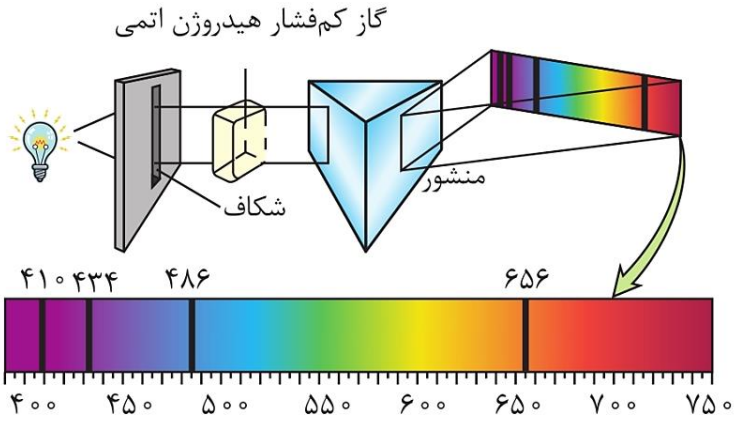
اگر مقدار کمی گاز کم‌فشار را داخل یک لامپ باریک و بلند شیشه‌ای قرار دهیم و بعد ولتاژ بالایی را بین الکترودهای این لامپ (کاتد و آند) اعمال کنیم، گاز حاصل دچار تخلیهٔ الکتریکی می‌شود و از خود نور گسیل می‌کند. حالا اگر نور را از منشور عبور دهیم، در طیف حاصل فقط چند خط گسستهٔ رنگی می‌بینیم. به خاطر همین به این طیف، طیف گسیلی خطی می‌گویند. در شکل زیر، طیف گاز هیدروژن را می‌بینید. نکتهٔ جالب در مورد این طیف، منحصربه‌فرد بودن آن برای هر نوع گاز است.



نکته: تشکیل طیف پیوسته به خاطر برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازندهٔ یک ماده است. حالا چون بین اتم‌های کم‌فشار و رقیق برهم‌کنش قوی وجود ندارد و این اتم‌ها، آزاد و از هم دورند، طیف آن‌ها گسسته می‌شود.

۶- طیف جذبی

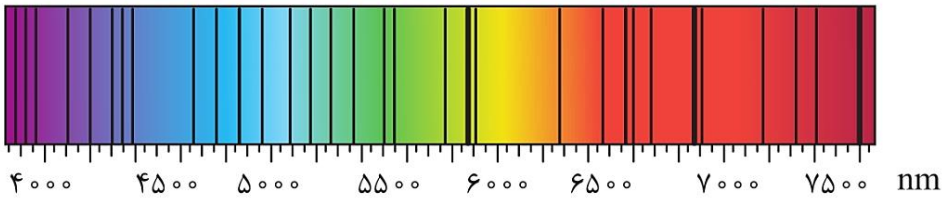
اگر باریکهٔ نور سفید را قبل از عبور از منشور، از گازی کم‌فشار عبور دهیم، خط‌های تاریکی را در طیف آن می‌بینیم. طول موج این خط‌ها، دقیقاً همان طول موج‌های طیف جذبی آن گاز هستند. در شکل زیر طیف جذبی گاز هیدروژن را می‌بینید.



نکته: طیف جذبی هم منحصربه‌فرد است و هر نوع گاز طیف جذبی خاص خودش را دارد.

۷- خط‌های فرانهوفر

جوزف فرانهوفر، در طیف خورشید، وجود خط‌های تاریکی را کشف کرد که در واقع طول موج‌هایی بود که توسط گازهای موجود در جو خورشید و زمین جذب شده بود. به خاطر همین، به این خطوط تاریک می‌گویند **خطوط فرانهوفر!** برای درک بهتر، شکل صفحهٔ بعد را ببینید.

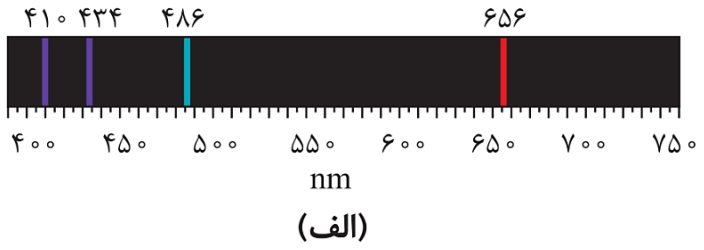


۸- مقایسهٔ طیف جذبی و گسیل خطی

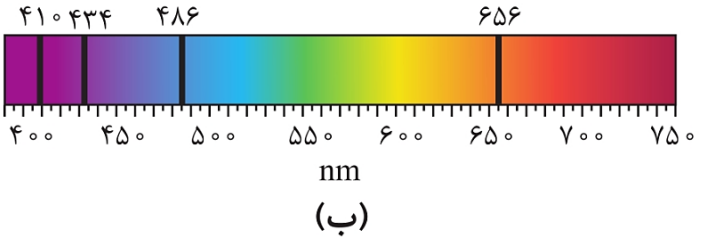
در شکل زیر، طیف گسیلی و طیف جذبی گاز هیدروژن را درکنار هم می‌بینید. خط‌های روشن در طیف گسیلی، نشان‌دهندهٔ طول موج‌های گسیل‌شده (شکل الف) و خط‌های تاریک در طیف جذبی، نشان‌دهندهٔ طول موج‌های جذب‌شده توسط اتم‌های گاز هیدروژن (شکل ب) هستند. از بررسی دقیق این دو طیف دو نتیجه حاصل می‌شود:

۱) طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گاز مختلفی مثل هم نیست!

۲) همان طول موج‌هایی که اتم‌های یک گاز در طیف گسیلی خود، تابش می‌کند، در طیف جذبی، جذب می‌کند.



(الف)



(ب)

نکته: طیف جذبی و گسیلی یک گاز مکمل هم هستند.

۹- جدول رشته خط‌های طیف گسیلی اتم هیدورژن

در جدول زیر، ناحیهٔ طیف (گسترهٔ طول موج) رشته‌ها اتم هیدروژن را می‌بینید. در این جدول هر چه مقدار n' زیاد می‌شود، طول موج افزایش و بسامد و انرژی آن کاهش می‌یابد.

نام طیف	تاریخ کشف	مقدار n'	رابطهٔ ریدبرگ مربوط به رشته
لیمان	۱۹۰۶-۱۹۱۴	۱	$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۱^۲} - \frac{۱}{n^۲})$
بالمر	۱۸۸۵	۲	$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۲^۲} - \frac{۱}{n^۲})$
پاشن	۱۹۰۸	۳	$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۳^۲} - \frac{۱}{n^۲})$
براکت	۱۹۲۲	۴	$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۴^۲} - \frac{۱}{n^۲})$
پفوند	۱۹۲۴	۵	$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{۵^۲} - \frac{۱}{n^۲})$

توجه: فقط بعضی از خط‌های رشته‌های بالمر در ناحیهٔ مرئی قرار دارند، برای همین هم این رشته زودتر از بقیه کشف شد.

نکته: ناحیهٔ طیفی رشتهٔ لیمان و بالمر و ناحیهٔ طیفی بالمر و پاشن هیچ هم‌پوشانی و اشتراکی با هم ندارند، ولی ناحیهٔ طیفی پاشن و براکت و همین‌طور ناحیهٔ طیفی براکت و پفوند با هم هم‌پوشانی دارند.

مقدارهای n	ناحیهٔ طیف
۲, ۳, ۴, ...	فرابنفش
۳, ۴, ۵, ...	فرابنفش و مرئی
۴, ۵, ۶, ...	فروسرخ
۵, ۶, ۷, ...	فروسرخ
۶, ۷, ۸, ...	فروسرخ

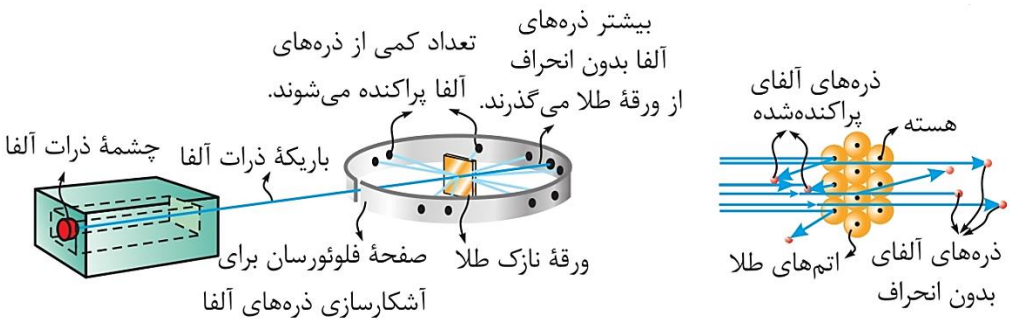
۱۰- آزمایش ورقهٔ طلای رادرفورد و کشف هستهٔ اتم

شکل زیر، آزمایش رادرفورد را نشان می‌دهد. رادرفورد در این آزمایش، یک باریکه از ذرات آلفا ($He^{۲+}$) را به یک ورقهٔ نازک طلا تاباند. طبق انتظار بیشتر این ذره‌ها بدون انحراف از ورقهٔ طلا عبور کردند، اما یک چیز عجیب هم

اتفاق افتاد. تعداد اندکی از این ذره‌ها با زاویه‌های بزرگ پراکنده و حتی به عقب برگشتند! نتیجهٔ این اتفاق، منجر به کشف هستهٔ اتم شد! از این نتیجه، دو برداشت می‌توان کرد:

الف) بیشتر فضای اتم خالی است.

ب) در مرکز هر اتم، هسته‌ای بسیار کوچک ولی با چگالی بسیار زیاد وجود دارد که بار آن مثبت است چون ذرات دفع شدند، بار هسته حتماً مثبت است).

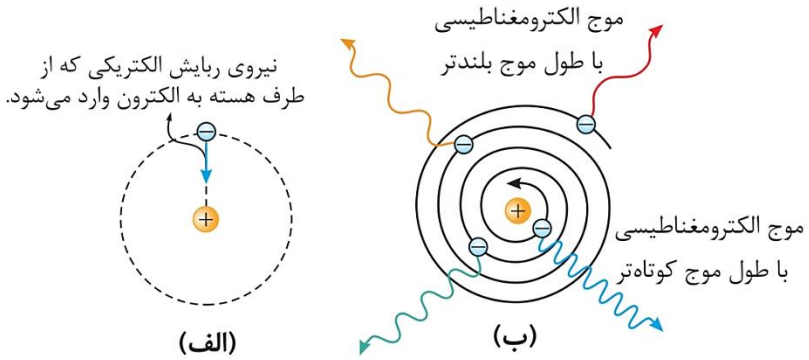


۱۱- ناتوانی مدل رادرفورد در مورد پایداری اتم

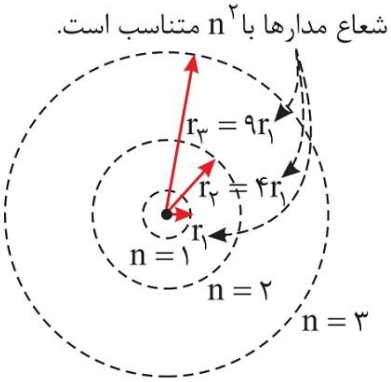
در مدل اتمی رادرفورد، الکترون به دو دلیل باید در هسته سقوط کند:

الف) اگر الکترون نسبت به هسته ساکن فرض شود، باید به خاطر نیروی جاذبهٔ الکتریکی بین هسته و الکترون، روی هسته سقوط کند (شکل الف).

ب) اگر الکترون دور هسته بچرخد، چون حرکتش شتابدار است، طیف پیوسته گسیل می‌کند و باعث می‌شود انرژی آن کاسته و شعاع مدار کوچک شود و در نهایت روی هسته سقوط کند (شکل ب).

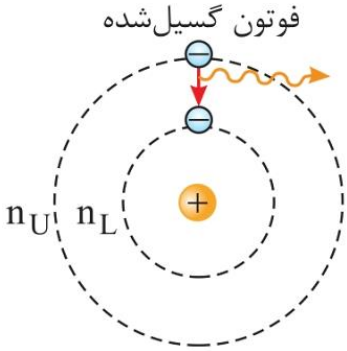


۱۲- مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن (الگوی اتمی بور)



طبق مدل بور، شعاع مدارها در اتم هیدروژن از رابطهٔ $r_n = a_0 n^2$ به دست می‌آید. در شکل زیر، این نسبت را می‌بینید.

۱۳- گسیل فوتون



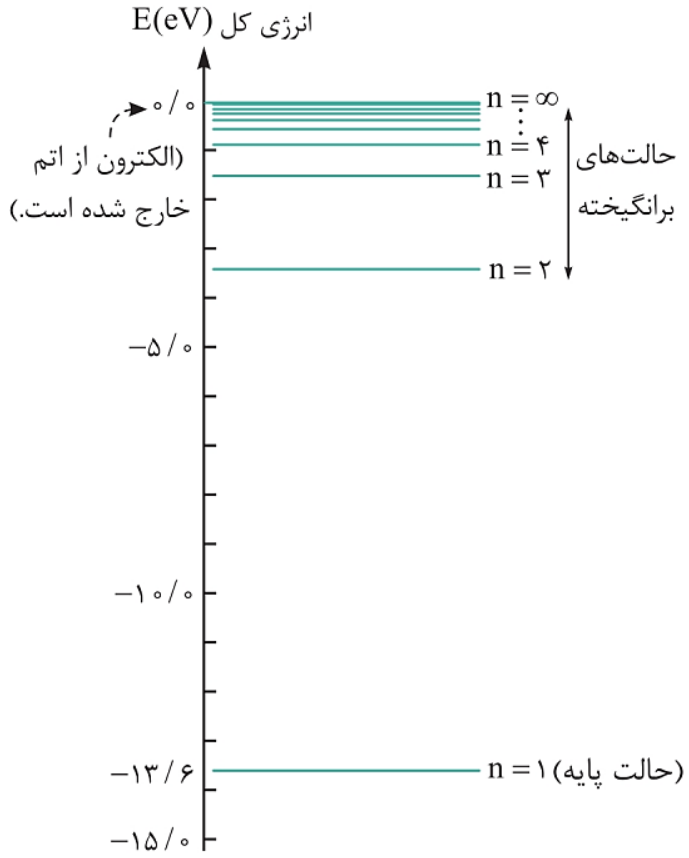
طبق مدل بور، وقتی الکترونی از تراز (مدار) با انرژی بیشتر به تراز با انرژی کم‌تر می‌رود، یک فوتون گسیل می‌شود.

انرژی این فوتون از رابطهٔ $E_U - E_L = hf$ به‌دست می‌آید.

انرژی فوتون

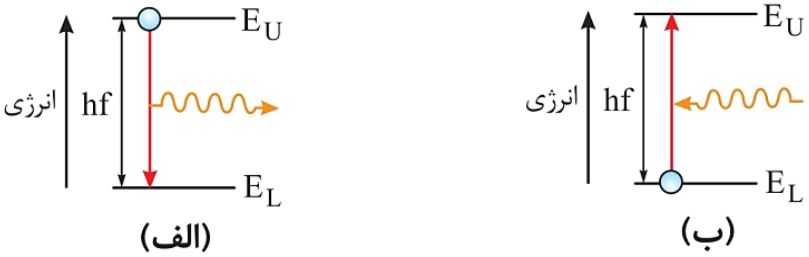
۱۴- نمودار ترازهای انرژی برای الکترون اتم هیدروژن

طبق مدل بور، مدارها و انرژی الکترون‌ها در هر اتم هیدروژن کوانتیده‌اند. مقدار این انرژی از رابطهٔ $E_n = \frac{-۱۳/۶eV}{n^2}$ به دست می‌آید. در شکل زیر، نمودار این انرژی را می‌بینید:

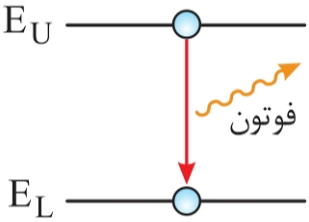


۱۵- فرایند گسیل و جذب فوتون

در شکل (الف)، فرایند گسیل فوتون و در شکل (ب)، فرایند جذب فوتون را می‌بینید. در این دو فرایند، انرژی فوتونی که گسیل می‌شود، دقیقاً برابر انرژی فوتونی است که جذب می‌شود. اصلاً به خاطر همین، طیف گسیلی خطی و جذبی یک گاز مکمل هم هستند.



۱۶- گسیل خودبه‌خود



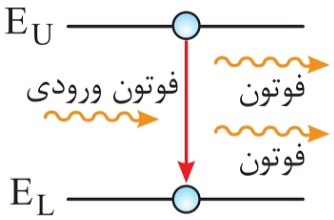
این گسیل وقتی رخ می‌دهد که یک الکترون از حالت برانگیخته (E_U) بدون دریافت انرژی و به صورت خودبه‌خودی به تراز پایه (E_L) برود. در این حالت، فوتون در جهتی کاتوره‌ای گسیل می‌شود.

۱۷- گسیل القایی

در این گسیل هم، الکترون ابتدا در حالت برانگیخته (E_U) قرار دارد؛ اما برای گسیل القایی، باید یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک (القا) کند تا به تراز پایین‌تر برود. انرژی این فوتون باید دقیقاً برای اختلاف انرژی دو تراز، یعنی $E_U - E_L$ باشد. گسیل القایی سه ویژگی دارد:

الف) یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود، برای همین تعداد فوتون‌ها افزایش می‌یابد و نور تقویت می‌شود.

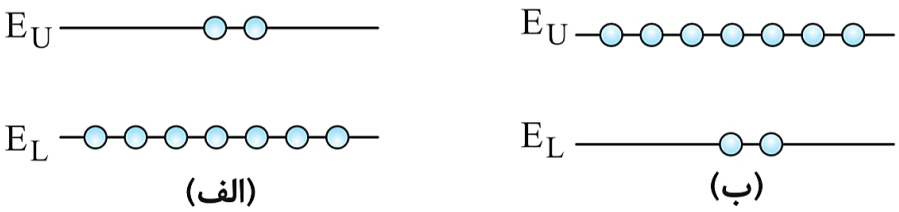
ب) فوتون گسیل‌شده، در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند.



پ) فوتون گسیل‌شده با فوتون ورودی، هم‌فاز هستند؛ برای همین فوتون‌های خروجی، هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز هستند.

۱۸- وارونی جمعیت

وقتی که تعداد الکترون‌های تراز بالاتر بیشتر از تراز پایین‌تر باشد، وارونی جمعیت اتفاق می‌افتد. به‌طور معمول در دمای اتاق، بیشتر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند (شکل الف). اما زمانی که الکترون‌ها به ترازهای شبه‌پایدار می‌روند، مدت زمان بیشتری (s^{-3}۱۰) نسبت به حالت برانگیختهٔ معمولی (s^{-8}۱۰) در این ترازها باقی می‌مانند؛ به خاطر همین فرصت بیشتری برای وارونی جمعیت و تقویت نور لیزر دارند (شکل ب).



مفاهیم

۱) **فوتوالکترون:** الکترون‌های گسیل‌شده از سطح فلز توسط تابش نور

۲) **فوتوالکتریک:** جدا شدن الکترون از سطح یک فلز به علت تابش نور با بسامد مناسب به آن

۳) **فوتون:** اینشتین نوری با بسامد f را به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی درنظرگرفت. به هر کدام از این بسته‌های انرژی، فوتون گفته می‌شود.

۴) **الکترون‌ولت:** انرژی لازم برای جابه‌جایی یک الکترون بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل یک ولت (۱V)؛ هر ۱eV معادل $1/6\times10^{-19}$ ژول است.

۵) **بسامد آستانه:** کم‌ترین بسامد لازم برای رخ دادن پدیدهٔ فوتوالکتریک

۶) **طول موج آستانه:** حداکثر طول موجی که می‌تواند منجر به پدیدهٔ فوتوالکتریک شود.

۷) **تابع کار فلز:** حداقل کار لازم برای خارج کردن یک الکترون از سطح یک فلز

۸) **فرضیه‌های مدل بور:** آقای بور به صورت فرضی، سه نظریه داشت:

الف) مدارها و انرژی الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند، یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسستهٔ معینی مجاز هستند.

ب) وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود. به خاطر همین گفته می‌شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.

پ) الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود.

۹) **حالت پایه:** پایین‌ترین تراز انرژی (E_1)

۱۰) **حالت برانگیخته:** مدارهای با انرژی بالاتر از حالت پایه

۱۱) **انرژی یونش الکترون:** کم‌ترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه

۱۲) **اتم هیدروژن‌گونه:** اتم‌هایی که تنها یک الکترون دارند.

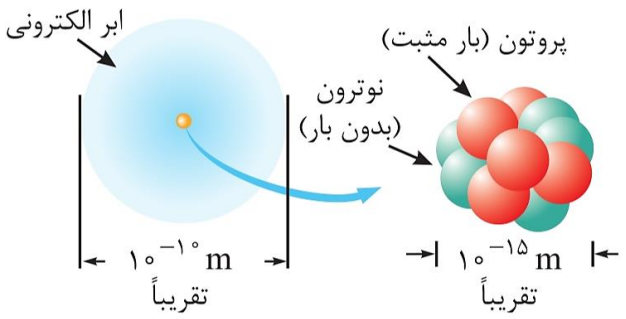
۱۳) **کاربردهای لیزر:** در چاپگرها، نگاشتن اطلاعات روی CD و DVD و خواندن آن‌ها، شبکه‌های کابل نوری، اندازه‌گیری دقیق طول، دستگاه‌های جوشکاری و برش فلزات، پژوهش‌های علمی، چشم پزشکی، نجوم، دندانپزشکی و خیلی جاهای دیگر!

فصل ۶: آشنایی با فیزیک هسته‌ای

تصاویر

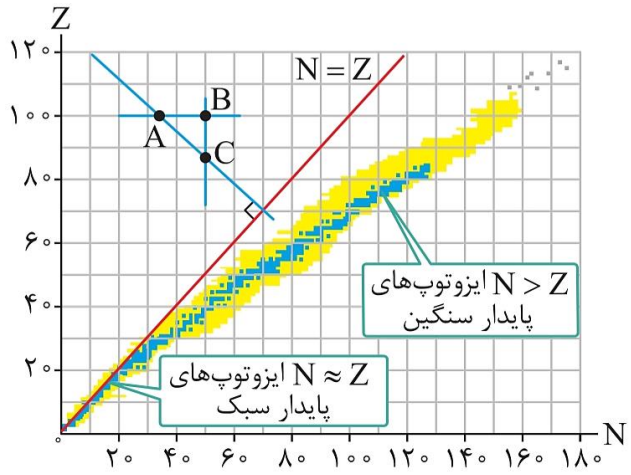
۱- مقیاس ابعاد اتم و هسته

همان‌طور که از شکل زیر هم پیدا است، قطر اتم تقریباً $10^{-10}m$ و قطر هسته تقریباً $10^{-15}m$ است؛ یعنی قطر هسته $\frac{1}{100,000}$ قطر اتم است.



با این حساب $\frac{\text{حجم هسته}}{\text{حجم اتم}} = \frac{۱}{۱۰^{۱۵}}$ می‌شود.

۲- نمودار تغییرات z بر حسب N



شکل زیر، نمودار عدد اتمی بر حسب عدد نوترونی است. اگر خوب به شکل نگاه کنید، می‌بینید که با افزایش Z، شیب نمودار کم و نسبت $\frac{N}{Z}$ افزایش می‌یابد. نقطه‌های آبی، هسته‌های پایدار و نقطه‌های زرد، هسته‌های پرتوزا را نشان می‌دهند.

نکته:

۱- هر چه نمودار از خط $N = Z$ به سمت N منحرف می‌شود، ناپایداری هسته بیشتر می‌شود، چرا که تعداد نوترون‌ها بیشتر از تعداد پروتون‌ها می‌شود و باعث می‌شود بدون تغییر نیروی کولنی، نیروی هسته‌ای زیاد شود.

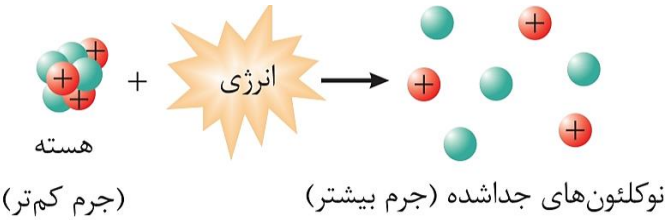
۲- اگر موازی محور N (عمود بر محور Z) خطی رسم کنیم، نقطه‌های این خط مثل A و B، عدد اتمی یکسان و عدد نوترونی متفاوت دارند؛ پس یعنی هسته‌های A و B ایزوتوپ یکدیگرند.

۳- اگر موازی محور Z (عمود بر محور N) خطی رسم کنیم، نقطه‌های این خط مثل B و C، عدد نوترونی یکسان و عدد اتمی متفاوت دارند.

۴- اگر عمود بر محور $N = Z$ خطی رسم کنیم، نقطه‌های این خط مثل A و C، عدد جرمی برابر دارند؛ چرا که $N_A + Z_A = N_C + Z_C$ باید باشد.

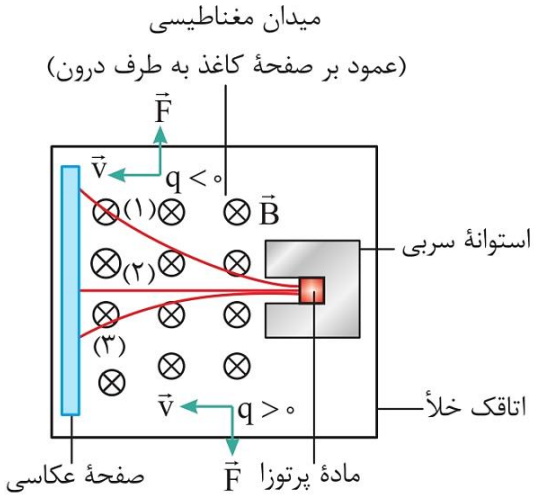
۳- انرژی بستگی هسته‌ای

به انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته، انرژی بستگی هسته‌ای گفته می‌شود؛ یعنی باید به اندازهٔ انرژی بستگی، به یک هسته انرژی داده شود تا مثل شکل زیر به نوکلئون‌های سازنده‌اش تقسیم شود.



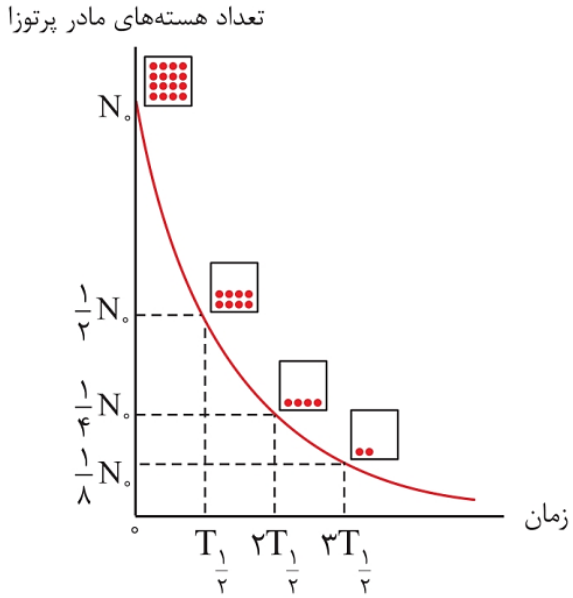
۴- انواع پرتوزایی

در شکل زیر، یک مادهٔ پرتوزا را می‌بینید که در ته حفرهٔ یک استوانهٔ سربی قرار دارد. این استوانه نیز درون اتاقک خلأ است. حالا یک صفحهٔ عکاسی مقابل این حفره قرار می‌دهند و مشاهده می‌کنند که پرتوها در سه مسیر حرکت می‌کنند.



با توجه به این، ذره‌ای که در مسیر (۲) قرار دارد، چون منحرف نشده، گاما (γ) است. با توجه به قاعدهٔ دست راست، ذره‌ای که در مسیر (۱) قرار دارد، بتا (β^-) و ذره‌ای که در مسیر (۳) است، آلفا (α) باید باشد.

۵- نمودار واپاشی (نیمه‌عمر)



نیمه‌عمر، مدت زمانی است که تعداد هسته‌های مادر یک مادهٔ پرتوزا نصف می‌شود. در شکل روبه‌رو، تعداد هسته‌های مادر در هر مرحله را می‌بینید که چگونه نصف شده!

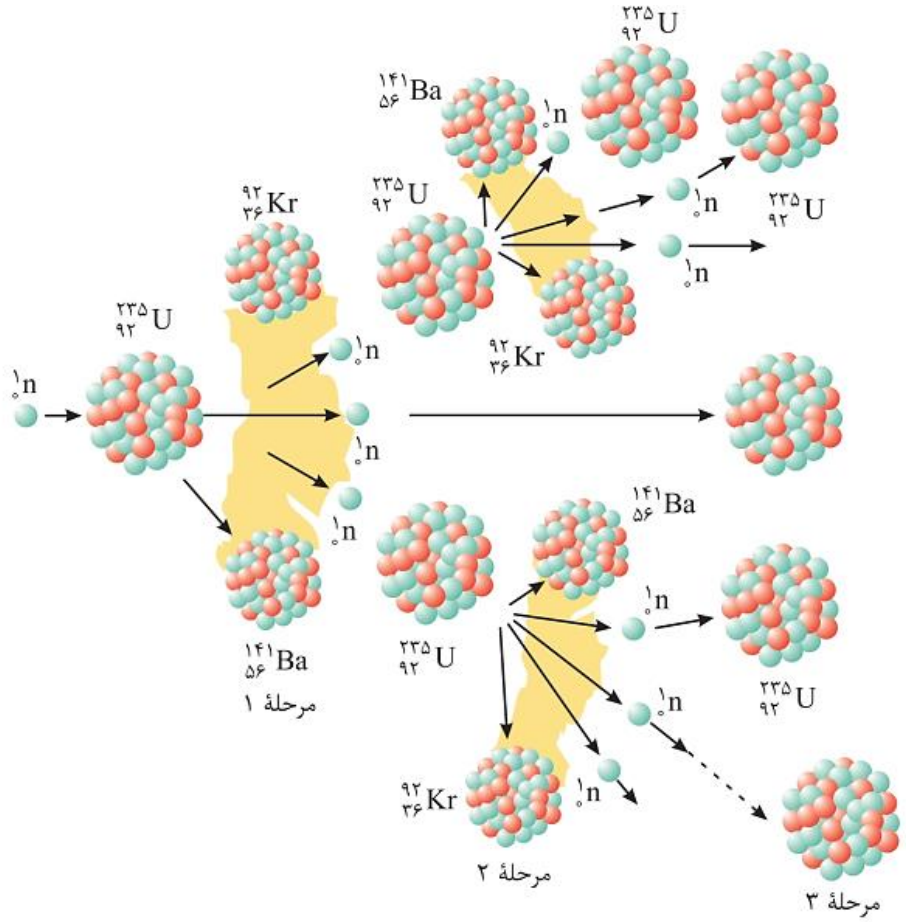
این نمودار طبق رابطهٔ $\frac{N_0}{N} = 2^{(\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}})}$ رسم می‌شود.

۶- واکنش زنجیری شکافت

این واکنش، با برخورد یک نوترون کند با هستهٔ ${}^{235}_{92}U$ شروع می‌شود. به تعداد این نوترون‌ها، یعنی نوترون‌های آزادشده در هر واکنش، واکنش شکافت جدید رخ می‌دهد.

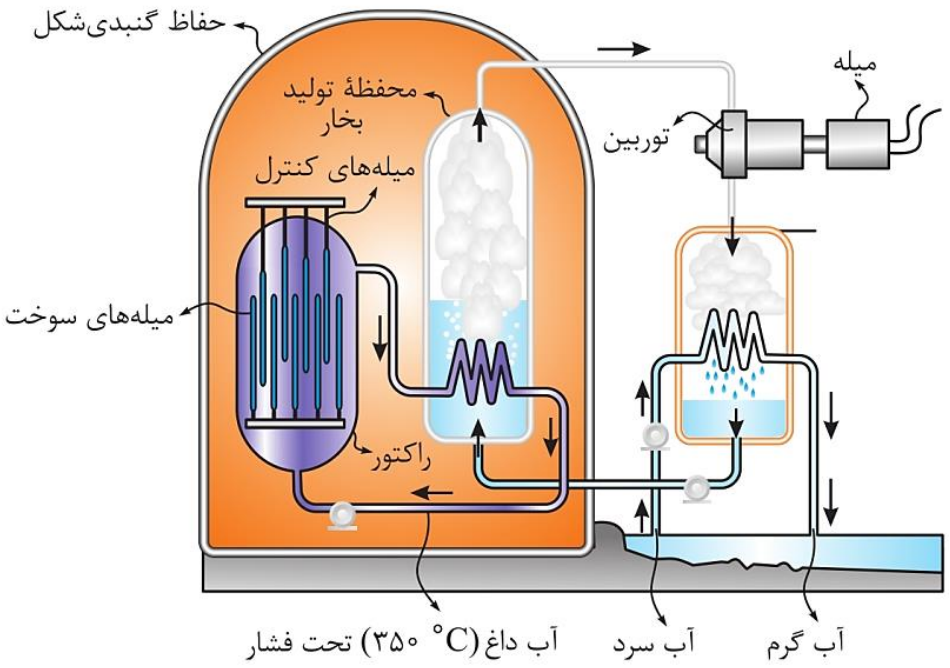
مثلاً در شکل زیر که محصولات شکافت ${}^{141}_{56}Ba$ و ${}^{92}_{36}Kr$ هستند، به ازای هر شکافت ۳ نوترون آزاد می‌شود. این ۳ نوترون، ۳ واکنش جدید ایجاد می‌کنند و ۹ نوترون جدید تولید می‌شود و دوباره این ۹ تا، ۹ واکنش جدید دیگر تولید می‌کنند و ۲۷ نوترون دیگر آزاد می‌شود و ...! به این واکنش که در مدت کوتاهی شاهد زنجیره‌ای از واکنش شکافت هستیم، واکنش زنجیری می‌گویند.

نکته: تعداد نوترون‌های آزادشده در مرحلهٔ n اُم، 3^n است.



۷- راکتور شکافت هسته‌ای (PWR)

از این راکتور برای تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های هسته‌ای استفاده می‌شود. مطابق شکل، سوخت هسته‌ای درون آبی با فشار زیاد (حدود $150\ atma$) احاطه شده است. این فشار زیاد، باعث می‌شود که مثل زودپز، نقطهٔ جوش آب خیلی زیاد شود و آب بدون تبخیر، به دماهای بالا برسد ($350^\circ C$)؛ حالا این آب داغ پمپ می‌شود و طی یک چرخه، گرمایش را به سامانهٔ بستهٔ دیگری انتقال می‌دهد. آب درون این سامانه با دریافت این گرما، بخار می‌شود و این بخار، توربین‌های مولد برق را به چرخش وا می‌دارد و به این ترتیب انرژی شکافت هسته‌ای به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

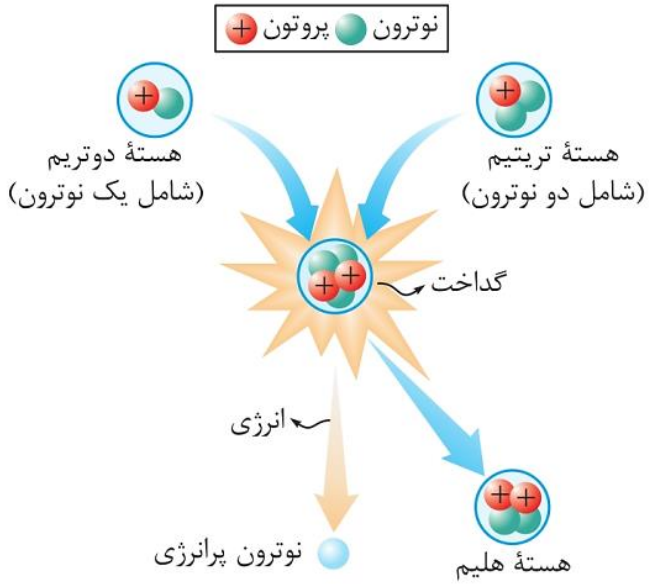


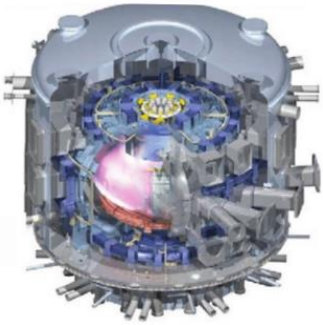
نکته: نیروگاه هسته‌ای بوشهر هم از نوع PWR (آب تحت فشار) است.

۸- گداخت (همجوشی) هسته‌ای

در این واکنش، دو هستهٔ سبک با هم ترکیب می‌شوند و یک هستهٔ سنگین‌تر را تولید می‌کنند. مثلاً در شکل زیر، دوتریم (D) و تریتیم (T) در هم گداخته می‌شوند تا هستهٔ هلیم و یک نوترون پرانرژی تولید شود. در این واکنش، چون جرم محصولات فرایند، کم‌تر از مجموع جرم هسته‌های اولیه است، انرژی زیادی (حدود ۱۷/۶MeV) آزاد می‌شود. واکنش گداخت به شکل زیر است:

$$D + T \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}n$$





۹- راکتور آزمایشی گرما هسته‌ای (TTER)

این راکتور که نوعی راکتور گداخت است، قرار است از سال ۲۰۳۵ با توان خروجی ۵۰۰ مگاوات شروع به کار کند. ساخت این راکتور به دلیل هزینه و مشکلات زیاد با همکاری چندین کشور در فرانسه شروع شده است.

مفاهیم

۱) **نوکلئون:** پروتون‌ها و نوترون‌ها

۲) **عدد اتمی (Z):** تعداد پروتون‌های یک هسته

۳) **عدد نوترونی (N):** تعداد نوترون‌های یک هسته

۴) **عدد جرمی (A):** تعداد نوکلئون‌های هسته، یعنی مجموع عدد اتمی و عدد نوترونی

۵) **ایزوتوپ (هم‌مکان):** اتم‌هایی که تعداد پروتون‌های آن‌ها با هم مساوی و تعداد نوترون‌هایشان متفاوت است.

۶) **نیروی هسته‌ای:** نیروی جاذبهٔ بین نوکلئون‌ها (پروتون‌ها و نوترون‌ها)

۷) **انرژی بستگی هسته‌ای:** انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته

۸) **کاستی جرم هسته:** اختلاف جرم هسته با مجموع جرم نوکلئون‌های سازندهٔ آن

۹) **پرتوزایی طبیعی:** واپاشی طبیعی (خود به خود) هسته‌های پرتوزا

۱۰) **شکافت هسته‌ای:** فرایند تقسیم شدن یک هستهٔ سنگین به دو هسته با جرم کم‌تر

۱۱) واکنش شکافت سه محصول دارد:

الف) دو هستهٔ سبک‌تر

ب) تعدادی نوترون پراندژی (بین ۲ تا ۵ نوترون)

پ) مقدار قابل توجهی انرژی (حدود ۲۰۰MeV)

۱۲) **هستهٔ مرکب:** جذب یک نوترون توسط هستهٔ $^{235}_{92}U$ و تبدیل به یک هستهٔ مرکب (ناپایدار) $^{235}_{92}U^{*}$

۱۳) **غنی‌سازی:** افزایش درصد ایزوتوپ $^{235}_{92}U$ در یک نمونه

۱۴) **راکتور هسته‌ای:** جایی که واکنش زنجیری شکافت به صورت **کنترل‌شده** انجام می‌شود.

۱۵) برای نیروگاه‌های شکافت هسته‌ای U^{235}_{92} با درصد خلوص **حدود ۳ درصد** کافی است.

۱۶) برای راکتورهای پژوهشی معمولاً از U^{235}_{92} تا **۲۰ درصد** غنی‌سازی‌شده استفاده می‌شود.

۱۷) آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (اتم کربن) از جمله مواد **کندساز** نوترون‌ها هستند.

۱۸) **گداخت (همجوشی) هسته‌ای:** ترکیب دو هسته با یکدیگر و تولید یک هستهٔ سنگین‌تر

۱۹) برای انجام واکنش گداخت، نیاز به دمای خیلی بالا است؛ به خاطر همین ساخت راکتور گداخت **سختی زیادی** دارد.

۲۰) در مرکز خورشید و ستاره‌ها دما در حدود ۲۰ میلیون درجهٔ سلسیوس و فشار خیلی بالا است؛ برای همین واکنش گداخت به طور طبیعی در آن‌جا رخ می‌دهد.