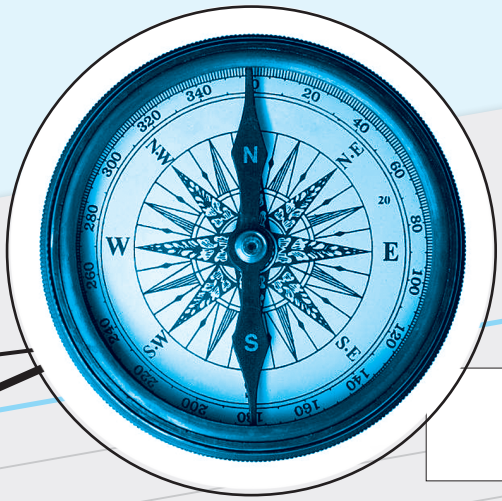
فهرست

درسنامه‌های درختی فیزیک ۱ ..... ۱

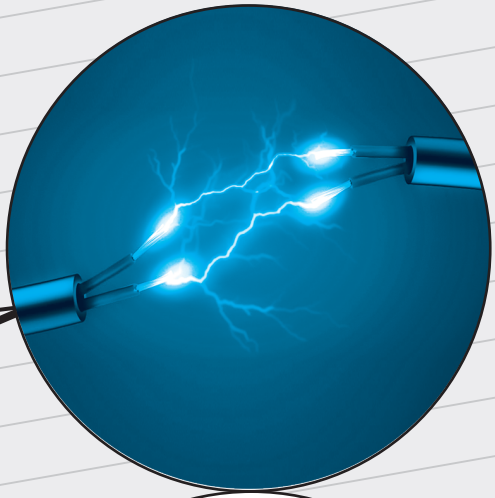
درسنامه‌های درختی فیزیک ۲ ..... ۲۵

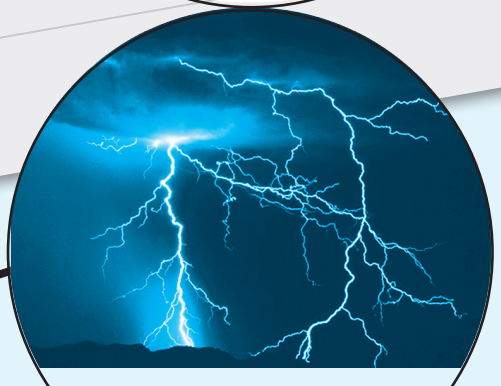
درسنامه‌های درختی فیزیک ۳ ..... ۴۳



درسنامه‌های درختی

فیزیک ۱





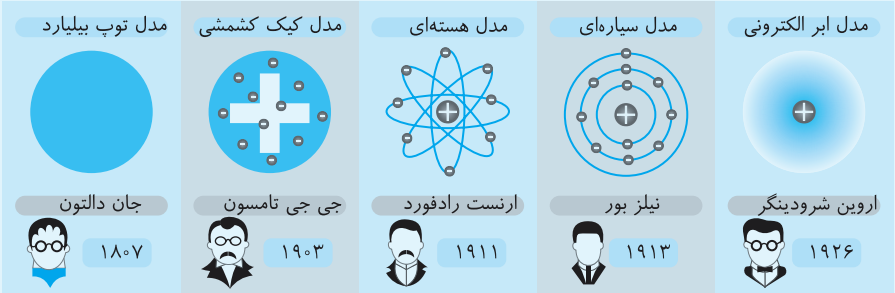
الگو یادآوری

۱

فیزیک دانش بنیادی - مدل‌سازی - کمیت‌های فیزیکی

فرمول‌های جانبی

- فیزیک یعنی شناخت طبیعت
- فیزیکدان در جستجوی الگوها و نظم خاص بین پدیده‌هاست.
- توصیف جهان در قالب قانون، مدل و نظریهٔ فیزیکی صورت می‌گیرد.
- فیزیک علمی تجربی است و مدل، قانون یا نظریه‌های فیزیکی توسط آزمایش مورد آزمون قرار می‌گیرند.
- مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان همواره معتبر نیستند و ممکن است دستخوش تغییر شوند.
- ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های فیزیکی، نقطهٔ قوت دانش فیزیک است، مثالی از این فرآیند اصلاح و تکامل را در زیر در مورد نظریه‌های اتمی می‌بینید.



مدل توپ بلیارد دالتون ← مدل کیک کشمشی تامسون ← مدل هسته‌ای رادرفورد ← مدل سیاره‌ای بور ← مدل ابر الکترونی شرودینگر

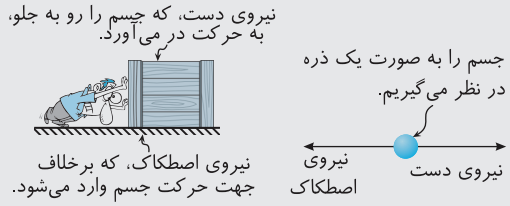
آزمایش و مشاهده در فیزیک، اهمیت زیادی دارد؛ اما آنچه بیش از همه در پیشبرد و تکامل علم فیزیک نقش ایفا کرده و می‌کند، تفکر نقادانه و اندیشه‌ورزی فعال فیزیکدان‌ها نسبت به پدیده‌هایی است که با آن‌ها مواجه می‌شوند.

مدل‌سازی

- مدل‌سازی فرآیندی است که طی آن یک پدیدهٔ فیزیکی آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.
- در سقوط جسم، صرف نظر کردن از مقاومت هوا یک نوع مدل‌سازی است.
- در حرکت سیارات به گرد خورشید، ذره‌ای فرض کردن سیارات یک نوع مدل‌سازی است.
- در مدل‌سازی اثرهای جزئی نادیده گرفته می‌شود، نه اثرهای مهم و تعیین‌کننده.

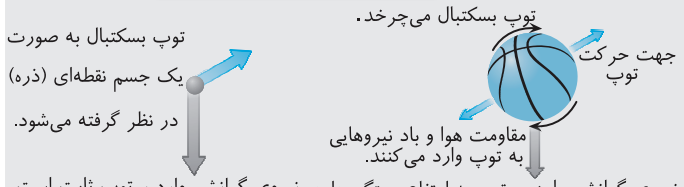
مثال

کشیدن جسمی روی سطح زمین



از ابعاد جسم و مقاومت هوا صرفنظر شده است.

پرتاب کردن توپ بسکتبال



نیروی گرانشی وارد بر توپ به ارتفاع بستگی دارد. نیروی گرانشی وارد برتوپ ثابت است.

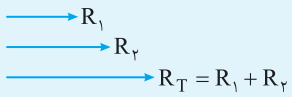
از مقاومت هوا، چرخیدن توپ و تغییر نیروی وزن صرفنظر شده است.

کمیت‌های فیزیکی

- **کمیت نرده‌ای:** برای بیان این کمیت‌ها تنها از یک عدد و یکای مناسب استفاده می‌شود و جمع آن‌ها مانند جمع دو عدد (جمع جبری) است. مانند جرم، زمان، مسافت، تندی، دما، جریان الکتریکی، ...
- **کمیت برداری:** کمیتی است که علاوه بر عدد و یکای مناسب، دارای جهت بوده و از قاعدهٔ جمع‌برداری پیروی می‌کند. مانند: سرعت، شتاب، جابه‌جایی، نیرو، میدان الکتریکی و ...

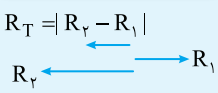
جمع‌برداری

دو بردار هم جهت

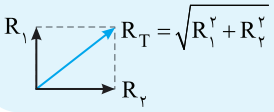


در دورهٔ دبیرستان جمع‌برداری ← سه حالت را باید یاد بگیریم.

دو بردار خلاف جهت هم



دو بردار عمود برهم



یکاها

یکاهای بین‌المللی

یکاهای اندازه‌گیری باید غیرقابل تغییر و دارای **قابلیت بازتولید** در مکان‌های مختلف باشد.

در SI هفت کمیت به عنوان **کمیت اصلی** انتخاب شده‌اند و مابقی کمیت‌ها که به کمک کمیت‌های اصلی ساخته می‌شوند را کمیت‌های فرعی گویند.

کمیت‌های اصلی و یکای آن‌ها

کمیت	نام یکا	نماد یکا
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	کِلوین	K
مقدار ماده	مُول	mol
جریان‌الکتریکی	آمپر	A
شدت‌روشنایی	کَندِلا(شمع)	cd

چند مثال از یکاهای فرعی

کمیت	یکای SI	یکای فرعی
تندی و سرعت	m/s	m/s
شتاب	m/s^2	m/s^2
نیرو	نیوتون (N)	$kg\ m/s^2$
فشار	پاسکال (Pa)	kg/ms^2
انرژی	ژول (J)	$kg\ m^2/s^2$

تبدیل یکاها

روش زنجیره‌ای ← برای تغییر یکا، اندازهٔ کمیت را در یک ضریب تبدیل (نسبتی از یکاها که برابر عدد یک است) ضرب می‌کنیم.

نمونه: تبدیل یکای $\frac{g}{cm^3}$ به $\frac{kg}{m^3}$

$$\left(1\frac{g}{cm^3}=1\frac{g}{cm^3}\times\frac{1kg}{10^3 g}\times\frac{1cm^3}{10^{-6}m^3}=10^3\frac{kg}{m^3}\right)$$

سازگاری یکاها

در کاربرد رابطه‌های فیزیکی باید یکاها در دو طرف رابطه با هم سازگار باشد.

سازگاری در رابطهٔ فشار: $P=\frac{F\rightarrow \text{نیوتون}}{A\rightarrow \text{متر مربع}}\leftarrow$ پاسکال

در فیزیک تنها کمیت‌های یکسان با یکای برابر قابلیت جمع یا کم شدن از هم را دارند و حاصل این جمع و تفریق همان یکا و کمیت تک‌تک پارامترها خواهد شد، به‌طور مثال:

$x=vt+x_0$

زمان — سرعت — مکان اولیه (m) — مکان (m)

پیشوندهای SI

پیشوندهای یکاها

ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
10^{24}	یوتا	Y	10^{9}	گیگا(جیگا)	G	10^{-24}	یوکتو	y	10^{-9}	نانو	n
10^{21}	زِتا	Z	10^{6}	مِگا	M	10^{-21}	زِپتو	z	10^{-6}	میکرو	μ
10^{18}	اِگزا	E	10^{3}	کیلو	k	10^{-18}	اَتو	a	10^{-3}	میلی	m
10^{15}	پِتا	P	10^{2}	هِکتو	h	10^{-15}	فِمتو	f	10^{-2}	سانتی	c
10^{12}	تِرا	T	10^{1}	دِکا	da	10^{-12}	پیکو	p	10^{-1}	دِسی	d

پیشوندهایی که کاربرد بیشتری دارند و بهتر است آن‌ها را به خاطر بسپارید با رنگ متفاوت نشان داده شده‌اند.

پیشوند	ضریب تبدیل	نماد	پیشوند	ضریب تبدیل	نماد	پیشوند	ضریب تبدیل	نماد
دسی	$\frac{1}{10}=10^{-1}$	d	نانو	$\frac{1}{10^9}=10^{-9}$	n	کیلو	10^3	k
سانتی	$\frac{1}{100}=10^{-2}$	c	پیکو	$\frac{1}{10^{12}}=10^{-12}$	p	مگا	10^6	M
میلی	$\frac{1}{1000}=10^{-3}$	m	دکا	10^1	da	گیگا	10^9	G
میکرو	$\frac{1}{10^6}=10^{-6}$	μ	هکتو	10^2	h	ترا	10^{12}	T

الگو یادآوری ۳

اندازه‌گیری - چگالی

نمادگذاری علمی

- اندازهٔ هر کمیت فیزیکی شامل سه قسمت است. قسمت اول یک عدد بین ۱ تا ۱۰، قسمت دوم یک توان صحیح از عدد ۱۰ و قسمت سوم یکای کمیت
- (یکا) $\text{عدد} = a \times 10^{b} \rightarrow 1 < a < 10,\ a \in \mathbb{Z},\ b \in \mathbb{Z}$
- **نمونه:** حجم یک بشکه نفت $159L = 1/59 \times 10^{2} L$

یکاهای خاص

- در فیزیک تغییر هر کمیت را نسبت به زمان، معمولاً آهنگ آن کمیت می‌نامیم.
- به طور مثال آهنگ خروج آب از شیری $125 \frac{cm^3}{s}$ اعلام شده، یعنی در هر ثانیه از این شیر $125cm^3$ آب خارج می‌شود.

یکاهای خاص

- یکای نجومی: میانگین فاصلهٔ زمین تا خورشید است و با نماد AU نشان داده می‌شود: $1AU \simeq 1/5 \times 10^{11} m$
- سال نوری: مسافتی که نور با تندی $3 \times 10^{8} m/s$ در خلأ در مدت یک سال طی می‌کند و آن را با نماد Ly نشان می‌دهند: $1Ly \simeq 9 \times 10^{15} m$
- فوت (پا) و اینچ: یکاهای طول در دستگاه بریتانیایی است.
- گره دریایی: برای بیان تندی کشتی استفاده می‌شود. $1 \text{ گره} = 0/5144 m/s$
- مایل دریایی: یکایی برای مسافت در دستگاه بریتانیایی است. $1 \text{ مایل دریایی} = 1852m$

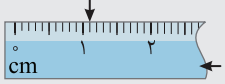
عوامل موثر بر دقت اندازه‌گیری

۱- دقت وسیله اندازه‌گیری

- ابزار اندازه‌گیری مدرج: مانند خط‌کش: کمینه درجه‌بندی آن = دقت دستگاه
- ابزار اندازه‌گیری رقمی (دیجیتال): مانند دماسنج‌ها و یا ساعت‌های دیجیتال: یک واحد از آخرین رقمی که ابزار نشان می‌دهد. = دقت دستگاه

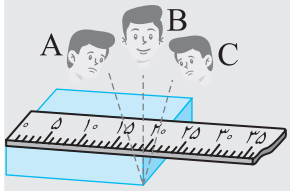
دقت این دماسنج $1^{\circ}C$ است.

کمینهٔ درجه‌بندی این خط‌کش، 1mm است.



دقت این خط‌کش 1mm و خطای اندازه‌گیری توسط آن $\pm 0/5mm$ است.

۲- مهارت شخص آزمایشگر



به طور مثال در شکل روبه‌رو عددی که شخص A می‌خواند کمتر و عددی که شخص C می‌خواند بیشتر از مقدار واقعی است:

۳- تعداد دفعات اندازه‌گیری

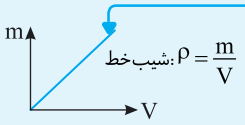
- برای کاهش خطا، هر اندازه‌گیری را چندین بار تکرار کرده میانگین عددها را به‌دست می‌آورند.
- در میانگین‌گیری، اعدادی که خیلی متفاوت با بقیه هستند به حساب نمی‌آیند.

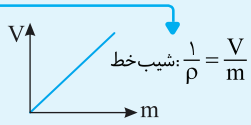
چگالی

- جرم یکای حجم جسم $\rho = \frac{m \rightarrow kg}{V \rightarrow m^3} \rightarrow \frac{kg}{m^3}$ یکاهای مورد نیاز دیگر چگالی

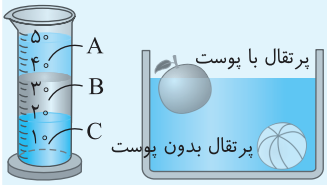
$$\frac{g}{cm^3} \xrightarrow{\times 1000} \frac{kg}{m^3},\ \frac{g}{L} = \frac{kg}{m^3},\ \frac{kg}{L} = \frac{g}{cm^3}$$

- چگالی ویژگی ذاتی یک جسم است. به طور مثال چگالی آهن $7/8 g/cm^3$ است و به جسم و جرم آهن بستگی ندارد.





- هر گاه چند مایع در یک ظرف گذاشته شود، مایع با چگالی بیشتر ته‌نشین می‌شود.
- به طور مثال: اگر پرتقال با پوست را در ظرف آب قرار دهیم، روی سطح آب می‌ماند. اگر پرتقال بدون پوست را در ظرف آب قرار دهیم، ته‌نشین می‌شود و به دلیل کاهش حجم چگالی افزایش می‌یابد.



- اگر جسمی از فلزی با چگالی ρ ساخته شده باشد و دارای حفره باشد:

$$\rho = \frac{\text{جرم قسمت توپر}}{\text{حجم قسمت توپر}} \rightarrow \text{چگالی فلز}$$

- چگالی آلیاژ در صورت عدم کاهش حجم $\rho = \frac{m_1 + m_2 + \cdots}{V_1 + V_2 + \cdots}$

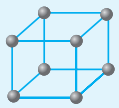
الگو یادآوری

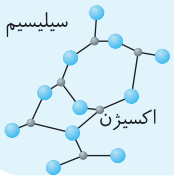
۱

حالت‌های مختلف ماده

جامد

- مولکول‌ها در جای خود دارای حرکت‌های نوسانی بسیار کوچکی هستند. می‌توان فرض کرد ذرات جامد با فنر به‌هم وصل هستند.
- فاصلهٔ مولکول‌ها از هم حدود یک آنگستروم $(1\mathring{A})$ یعنی $10^{-10}m$ است.
- جامد بلورین ← جامدی که از تکرار یک طرح منظم تشکیل می‌شود مانند نمک طعام و الماس.
  - ← با آرام سرد شدن مایع زمان کافی برای تشکیل بلور ایجاد می‌شود.
- جامد بی‌شکل (آمورف) ← طرح منظمی ندارند.
  - ← سریع سرد شدن مایع سبب می‌گردد که مولکول‌ها، زمان کافی برای تشکیل بلور نداشته باشند.



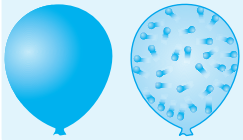


مایع

- دارای حجم معین است و به شکل ظرف خود در می‌آید.
- فاصلهٔ مولکول‌ها از هم در مایع تقریباً مانند فاصلهٔ مولکول‌ها از هم در جامد است.
- مولکول‌های مایع می‌توانند آزادانه بر هم بلغزند که این سبب جاری شدن مایع می‌شود.
- مایع‌ها تقریباً تراکم‌ناپذیرند.
- پخش ← علت آن حرکت کاتوره‌ای و نامنظم مولکول‌های مایع است. ← پخش جوهر در آب

گاز

- فاصلهٔ بین مولکول‌ها در گاز چند ده برابر فاصلهٔ بین مولکول‌های جامد و مایع است.
- فاصلهٔ میانگین مولکول‌های هوا در شرایط معمولی $35\mathring{A}$ است.
- گازها حجم و شکل مشخصی ندارند و تراکم‌پذیرند.
- پخش: مولکول‌های گاز دارای حرکت کاتوره‌ای هستند که سبب پدیدهٔ پخش می‌شود.
- سرعت پدیدهٔ پخش در گازها بیشتر از سرعت پدیدهٔ پخش در مایع‌هاست.



پلاسما

- حالت چهارم ماده، پلاسما نامیده می‌شود.
- پلاسما اغلب در دماهای خیلی بالا به‌وجود می‌آید.
- مادهٔ درون ستارگان، بیشتر فضای بین ستاره‌ای، آذرخش، شفق‌های قطبی، آتش و مادهٔ درون لولهٔ تابان لامپ مهتابی نمونه‌هایی از پلاسما است.

الگو یادآوری ۲

نیروهای بین‌مولکولی

هم‌چسبی

- نیروی بین‌مولکول‌های همسان که سبب پیوستگی جامد یا مایع می‌شود را نیروی **هم‌چسبی** گویند.
- با کاهش فاصلهٔ بین‌مولکولی، نیروی رانشی بزرگی ایجاد می‌شود که سبب تراکم‌ناپذیری مایع می‌شود.
- با افزایش فاصلهٔ بین‌مولکولی نیروی جاذبه (ربایش) بین مولکول‌ها ظاهر می‌شود.
- این نیرو سبب می‌گردد آب به صورت قطره درآید.
- این نیرو کوتاه بُرد است.
  - برای اتصال قطعه‌های یک شیشه شکسته آن‌ها را گرم می‌کنیم تا نرم شده و مولکول‌ها به‌هم نزدیک شوند و نیروی بین مولکولی که کوتاه بُرد است سبب چسبیدن قطعات شیشه شود.

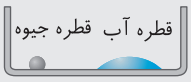
- گرما سبب کاهش نیروی هم‌چسبی می‌شود.

کشش سطحی

- کشش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع است.
- نیروی ربایشی بین مولکولی سبب می‌گردد سطح مایع شبیه پوستهٔ تحت کشش رفتار کند.
- علت فرو نرفتن سوزن فولادی در آب و حرکت حشرات روی سطح آب کشش سطحی است.
- هنگام سقوط آب، کشش سطحی و تمایل به کمینه شدن، سطح آب را به صورت قطره در می‌آورد.

دگرچسبی

- نیروی جاذبه بین مولکول‌های نامشابه (مانند آب و شیشه)
- ترشوندگی ← نیروی دگرچسبی بین مایع و جامد از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر است.
  - آب خاصیت ترشوندگی دارد، جیوه خاصیت ترشوندگی ندارد.

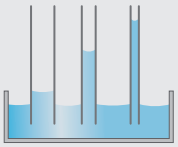


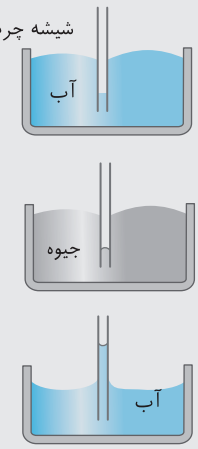
ظرف شیشه‌ای

ظرف شیشه‌ای چرب شده

مویینگی

- عامل ایجاد مویینگی تفاوت در نیروی هم‌چسبی مایع و دگرچسبی بین مایع و لولهٔ مویین است.
- عوامل مؤثر در مویینگی، قطر لوله، نوع مایع و جنس لوله است.
- بالا و پایین رفتن لولهٔ مویین در درون مایع تأثیری در ارتفاع مایع درون لوله ندارد.
- اگر قطر لوله افزایش یابد سطح مایع درون لوله به سطح مایع درون ظرف نزدیک می‌شود.
- در شکل‌های زیر نحوه قرار گرفتن مایع در لولهٔ مویین نشان داده شده





نیروی هم‌چسبی آب > نیروی دگرچسبی آب و لولهٔ چرب

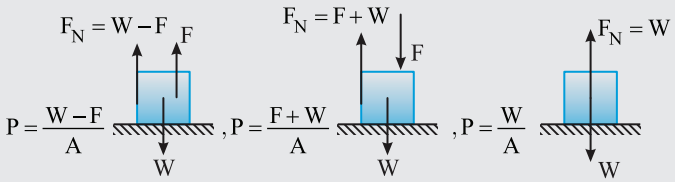
نیروی هم‌چسبی جیوه > نیروی دگرچسبی جیوه و لوله

نیروی هم‌چسبی آب < نیروی دگرچسبی آب و لوله

تعریف: بزرگی نیروی عمودی وارد بر یکای سطح « $P=\frac{F}{A}$ » کمیت نرده‌ای » یکای آن $Pa=N/m^2$ پاسکال

فشار جامدات

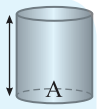
نیروی عمودی همان نیروی عمودی تکیه‌گاه » نمونه



در جامدهای همگن و توپر مانند استوانهٔ قائم، مکعب و مکعب مستطیل $P=\rho gh$
- ρ چگالی
- h ارتفاع

فشار

فشار مایع

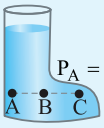


$h=$ عمق » $P=\frac{W}{A}$ » $P=\frac{mg}{A}$ » $P=\frac{\rho Vg}{A}$ » $P=\frac{\rho Ahg}{A}$ » $\boxed{P=\rho gh}$ » $\boxed{P_{کل}=\rho gh+P_0}$

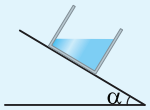
فشار حاصل از مایع در عمیق h — فشار یا فشار کل در عمق h

فشار مایع به عمق و چگالی مایع بستگی دارد.

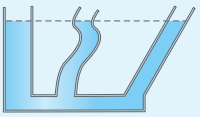
در مایع ساکن فشار در نقاط هم‌عمق برابر است. $P_A=P_B=P_C$



و سطح آزاد مایع همواره افقی است.



ظروف مرتبط » یکسان بودن سطح آزاد مایع در همهٔ ظرف‌ها



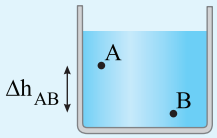
در هر نقطهٔ درون مایع ساکن فشار در تمام راستاها یکسان وارد می‌شود » در غیر این صورت حرکت از فشار بیشتر به فشار کمتر رخ می‌دهد.

فشار شاره‌ها

نیروی وارد بر یک سطح از طرف شاره: » $F=PA$, $P=\frac{F}{A}$

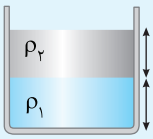
- نیروی وارد بر سطح $F=(P_0+\rho gh)$
- نیروی ناشی از مایع $F=\rho ghA$

اختلاف فشار بین دو نقطه از مایع:



$\Delta P_{AB}=\rho g\Delta h_{AB}$

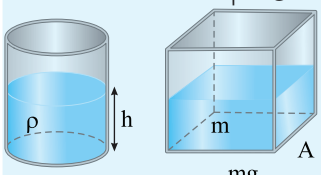
فشار حاصل از چند مایع:



$P_{\text{از طرف مایع}}=\rho_1gh_1+\rho_2gh_2$

$P_{کل}=P_0+\rho_1gh_1+\rho_2gh_2$

در ظرف‌هایی که سطح مقطع آن‌ها تغییر نمی‌کند، فشار حاصل از مایع را به صورت زیر حساب می‌کنیم:



$P=\rho gh$ — $P=\frac{mg}{A}$

الگو یادآوری

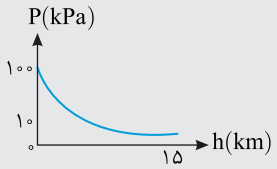
۴

فشار شماره‌ها

فشار گازها

فشار هوا

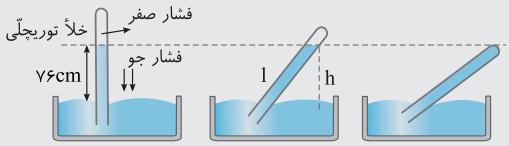
- هوا دارای فشار است ⟫ مقدار این فشار در سطح دریای آزاد برابر: $P_{\circ} = ۱\,atm$
- با دور شدن از سطح زمین چگالی و فشار هوا مطابق نمودار شکل روبه‌رو کاهش می‌یابد.



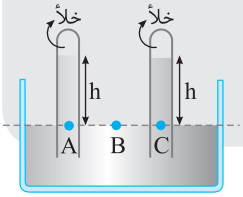
- اختلاف فشار هوا در دو نقطه در نزدیکی سطح زمین $P_{\text{نقطهٔ پایینی}} - P_{\text{نقطهٔ بالایی}} = \Delta P = \rho_{\text{هوا چگالی}} g\Delta h$
- فشار هوا تقریباً معادل فشار ستون ۱۰ متری آب است.
- یکای دیگر فشار بار (bar) است. یکای اتمسفر کمی از یکای بار بزرگ‌تر است.
- تبدیل یکاهای فشار $atm \xrightarrow{\times ۱۰^{۵}} Pa$ و $bar \xrightarrow{\times ۱۰^{۵}} Pa$
- تا ارتفاع ۲۰۰۰ متری سطح زمین به ازای هر ۱۰m بالا رفتن فشار هوا ۱ mmHg کاهش می‌یابد.

فشارسنج هوا (بارومتر)

آزمایش توریچلّی



- ⟫ $۱\,atm = ۱\,\text{جو} = ۷۶cmHg = ۷۶۰mmHg = ۱/۰۱\times ۱۰^{۵}\,Pa$
- ⟫ $۱mmHg = ۱torr$
- ارتفاع قائم ستون جیوه بستگی به شکل و سطح لوله ندارد.
- خلأ توریچلّی: یک خلأ نسبی است. زیرا در اثر تبخیر سطحی جیوه، فشار بسیار اندکی از بخار جیوه ایجاد می‌شود.



$P_A = P_B = P_C = P_{\circ}$

فشار گاز درون یک محفظه با پیستون متحرک بدون اصطکاک

$P_{\text{گاز}} = P_{\circ} + \frac{W}{A}$

الگو یادآوری

۵

فشار

تبدیل فشار بر حسب Pa به فشار برحسب cmHg « $\text{چگالی جیوه} = ۱۳/۶ g/cm^۳ : cmHg \underset{۱۳۶۰\div}{\overset{\times ۱۳۶۰}{\rightleftarrows}} Pa$

$\text{چگالی جیوه} = ۱۳/۵ g/cm^۳ : cmHg \underset{۱۳۵۰\div}{\overset{\times ۱۳۵۰}{\rightleftarrows}} Pa$

۱ mmHg را یک تور (Torr) می‌نامند.

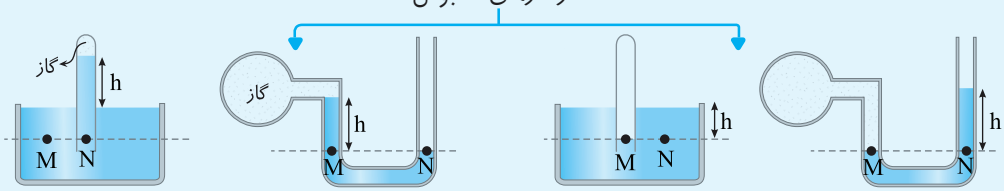
فشارسنج شاره‌ها (مانومتر)

فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای): اختلاف فشار گاز با فشار هوا « $P_g = P - P_۰$

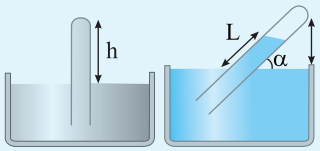
$P > P_۰$ ← فشار پیمانه‌ای مثبت

$P < P_۰$ ← فشار پیمانه‌ای منفی

فشار گازهای محبوس



$P_M = P_N \Rightarrow P_{\text{گاز}} = P_۰ - \rho gh,\ P_{\text{گاز}} - P_۰ = P_{\text{پیمانه‌ای}} = -\rho gh$ $\quad P_M = P_N \Rightarrow P_{\text{گاز}} = P_۰ + \rho gh\ ,\ P_{\text{گاز}} - P_۰ = P_{\text{پیمانه‌ای}} = \rho gh$



فشار وارد بر انتهای لوله $= P_۰ - \rho g(L \sin \alpha)$

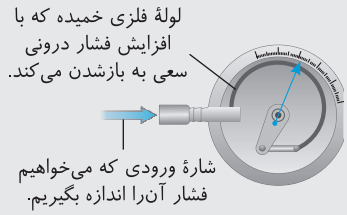
فشار وارد بر انتهای داخلی لوله $= P_۰ - \rho gh$

فشارسنج بوردون

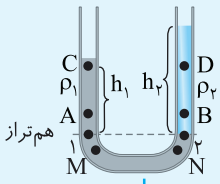
دارای یک لولهٔ خمیدهٔ یک سر بسته و قابل انعطاف است.

تغییر فشار پیمانه‌ای شاره درون لوله سبب تغییر شکل لوله و حرکت عقربه می‌شود.

برای اندازه‌گیری فشار در مخزن گازها و اندازه‌گیری فشار باد لاستیک خودروها به‌کار می‌رود.



لوله‌های U شکل



سطح هم‌تراز

ابتدا با رسم یک خط افقی از محل مرز مشترک دو مایع سطح هم‌تراز را مشخص می‌کنیم.

در سطح هم‌تراز فشار دو مایع برابر است.

$\rho_۱ > \rho_۲ \xleftarrow{h_۱ < h_۲} \rho_۱ h_۱ = \rho_۲ h_۲ \Leftarrow \rho_۱ g h_۱ = \rho_۲ g h_۲ \Leftarrow P_۱ = P_۲$

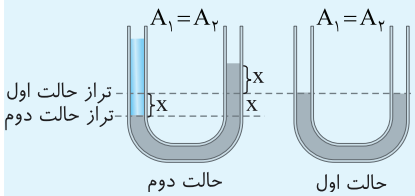
فشار در نقاط پایین‌تر از خط تراز یکسان است: $P_M = P_N$

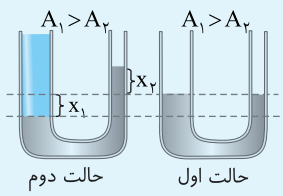
فشار در نقاط بالاتر سطح هم‌تراز باهم برابر نیست.

هنگامی دو مایع در لوله باشد، برای نقاطی مانند A و B که در یک خط افقی اما در دو مایع‌اند، می‌توان ثابت کرد فشار در نقطه‌ای بیشتر است که مایع بالای آن بیشتر است: $P_A < P_B$

$P_C - P_A > P_D - P_B$

اضافه کردن مایع با چگالی متفاوت به لوله U شکل در حال تعادل «



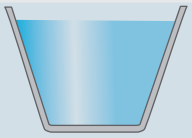
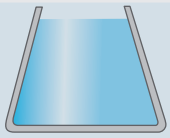


$\frac{x_۲}{x_۱} = \frac{A_۱}{A_۲} \leftarrow x_۱ A_۱ = x_۲ A_۲ \leftarrow \Delta V_۱ = \Delta V_۲$ «

الگو یادآوری

۶ فشار

مقایسهٔ نیروی وزن مایع (W) با نیرویی که مایع بر کف ظرف (F) وارد می‌کند و همچنین نیرویی که ظرف به تکیه‌گاه (F_N) وارد می‌کند. (جرم ظرف ناچیز)

نوع ظرف			
فشار وارد بر کف	$P=\rho gh=\frac{mg}{A}$	$P=\rho gh$	$P=\rho gh$
نیروی وارد بر کف	$F=mg$	$F<mg$	$F>mg$
نیروی وارد بر سطح (تکیه‌گاه)	$F_N=mg$	$F_N=mg$	$F_N=mg$
فشار وارد بر تکیه‌گاه	$P'=\frac{mg}{A}$	$P'=\frac{mg}{A}$	$P'=\frac{mg}{A}$

شناوری و برنولی

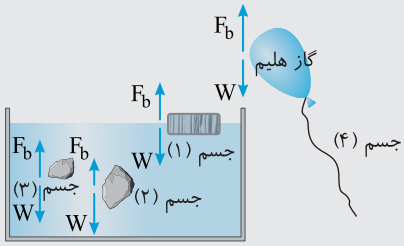
ارشمیدس

وقتی تمام یا قسمتی از یک جسم در شاره‌ای فرو رود، شاره نیرویی بالاسو بر آن وارد می‌کند به این نیرو، **نیروی شناوری** گویند.

علت وجود نیروی شناوری تفاوت نیروی وارد بر سطح بالایی و سطح پایینی جسم در اثر اختلاف فشار است.

بررسی نحوهٔ قرارگیری جسمی درون شاره (چگالی جسم ρ، چگالی شاره ρ_L):

- جسم (۱) ← $\rho<\rho_L$ و $F_b=W$ شناوری
- جسم (۲) ← $\rho>\rho_L$، $W>F_b$ جسم در حال فرورفتن
- جسم (۳) ← $\rho_L=\rho$، $W=F_b$ جسم غوطه‌ور
- جسم (۴) ← $\rho<\rho_{هوا}$، $W<F_b$ جسم در حال بالا رفتن

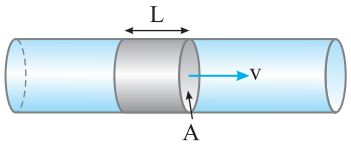


برنولی

در بررسی حرکت شاره از مدل آرمانی و ساده شدهٔ شارهٔ بدون تلاطم، تراکم‌ناپذیر و بدون اصطکاک داخلی (گران‌روی) استفاده می‌کنیم.

با کاهش سطح مقطع، جریان آب تندتر می‌شود.

اصل برنولی ← در مسیر حرکت شاره، با افزایش تندی شاره، فشار کاهش می‌یابد.



آهنگ شارش ← نسبت حجم شارش شده به زمان شارش

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

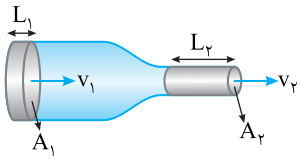
ΔV: حجم شاره جابه‌جا شده

Δt: بازه زمانی

A: سطح مقطع

v: تندی شاره

معادله پیوستگی ← $A_1v_1=A_2v_2$



الگو یادآوری

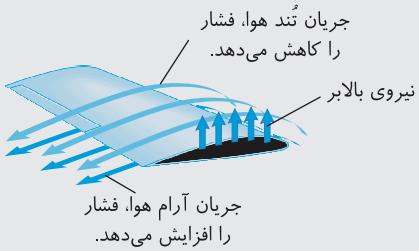
۷

اصل برنولی

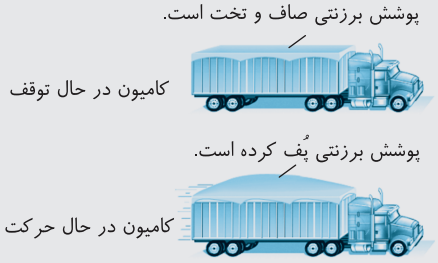
نمونه‌هایی از اصل برنولی

باریک شدن آب خروجی از شیر آب وقتی به آرامی پایین می‌آید به دلیل افزایش تندی، سطح مقطع کاهش می‌یابد.

تأمین بخشی از نیروی بالابر هواپیما



با به حرکت در آمدن کامیون، فشار هوای بالای سقف برزنتی کامیون کاهش یافته و باعث می‌شود این پوشش پف کند.



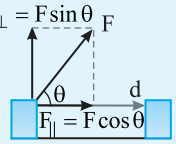
الگو یادآوری

۱ کار و انرژی

کار

کار کمیت نرده‌ای و یکای آن ژول است.

کار نیروی ثابت $W = Fd\cos\theta$ « θ زاویهٔ بین نیرو و راستای حرکت



$W_{F_\perp} = 0$

$W_F = W_{F_{||}} = F_{||}d$

$0 \le \theta < \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow W > 0$

$\theta = \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow W = 0$

$\frac{\pi}{2} < \theta \le \pi \Leftrightarrow W < 0$

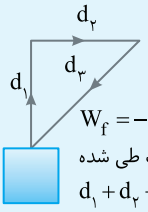
کار نیروی $\vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j}$ « $\vec{d} = d_x\vec{i} + d_y\vec{j} \rightarrow W = F_x d_x + F_y d_y$

کار نیروی برایند برابر مجموع جبری کار تک‌تک نیروهای وارد بر جسم است. $W_t = W_{F_1} + W_{F_2} + \cdots$

معرفی کار برخی از نیروهای خاص

کار نیروی اصطکاک

کار این نیرو در یک مسیر شکسته به صورت زیر است:

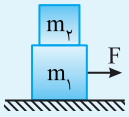


$W_f = -f_k d$

$d =$ مسافت طی شده $= d_1 + d_2 + d_3$

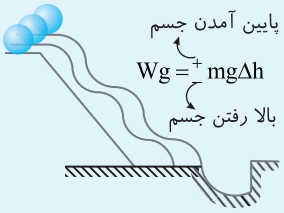
نکته: دقت کنید کار نیروی اصطکاک ممکن است مثبت نیز باشد.

عامل حرکت m_2 اصطکاک بوده و کار نیروی اصطکاک وارد بر جسم m_2 مثبت است.



کار نیروی وزن

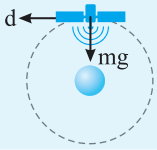
به مسیر بستگی ندارد و تنها تابع اختلاف ارتفاع نقطهٔ انتهایی و نقطهٔ ابتدایی است.



در تمام مسیرهای بالا کار نیروی وزن از ابتدا تا انتهای مسیر یکسان است.

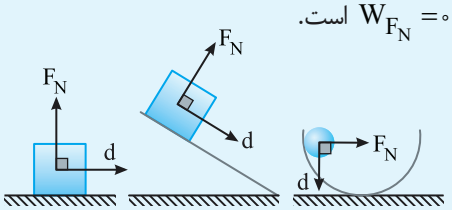
نکته: اگر ابتدا و انتهای مسیر حرکت جسمی یکسان باشد، کار نیروی وزن در آن مسیر صفر است.

نکته: در حرکت ماهواره به دور زمین کار نیروی وزن صفر است.

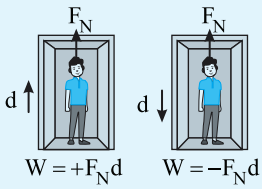


کار نیروی عمودی سطح

نیروی عمودی سطح همواره بر مسیر حرکت ذره عمود است، پس برای جسمی که روی سطحی در حال حرکت است، این نیرو و جابه‌جایی بر هم عمود بوده و $W_{F_N} = 0$ است.



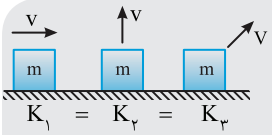
در بالابر و آسانسور کار نیروی عمودی سطح صفر نیست.



نکته: در یک جابه‌جایی افقی کار نیروی عمودی سطح و کار نیروی وزن صفر است.

انرژی

انرژی جنبشی $K = \frac{1}{2}mv^2$ « کمیت نرده‌ای است « v اندازهٔ سرعت (تندی) است و جهت آن مهم نیست.



انرژی پتانسیل

- انرژی پتانسیل کمیتی نسبی و مقایسه‌ای است و برای آن باید یک مبدأ اختیار کرد.
- انرژی پتانسیل به مکان اجسام یک سامانه نسبت به یکدیگر بستگی دارد.
- گرانشی « $U_g = mgh$ « $W_{mg} = -\Delta U_g$
- کشسانی « $W_e = -\Delta U_e$
- الکتریکی « $W_E = -\Delta U_E$

قضیه کار و انرژی

قضیه کار و انرژی جنبشی: تغییر انرژی جنبشی برابر کار نیروی برایند (کار کل)

$$\Delta K = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = W_{F_T} = W_t$$

نکته: با توجه به قضیه کار و انرژی جنبشی:

$W_t = \Delta K \Rightarrow (1) W_t > 0 \Rightarrow v_2 > v_1 \Rightarrow$ حرکت تندشونده ، $(2) W_t < 0 \Rightarrow v_2 < v_1 \Rightarrow$ حرکت کندشونده

الگو یادآوری ۲

کار و انرژی

پایستگی انرژی

انرژی مکانیکی

- مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل $E=U+K$
- پایستگی انرژی مکانیکی « $E_۲=E_۱$ (اصطکاک و نیروی اتلافی نداریم.)

قانون پایستگی انرژی $E_۲-E_۱=W_f$

نکته: W_f کار نیروی اتلافی بوده و همواره منفی است. W_f باعث افزایش انرژی درونی جسم و محیط می‌شود.

بازده و توان

توان

کار یا انرژی مصرفی در یکای زمان

$$P=\frac{W}{t} \quad \text{یا} \quad \frac{E}{t}$$

W: وات، J: ژول، s: ثانیه

اگر توان کل خواسته شود: $P_{\text{کل}}=\frac{W_t}{t}=\frac{\Delta K}{t}$

توان بیانگر سرعت انجام کار یا سرعت مصرف انرژی است.

یکای دیگر توان اسب بخار است.

$$hp=۷۴۶W\simeq ۷۵۰W$$

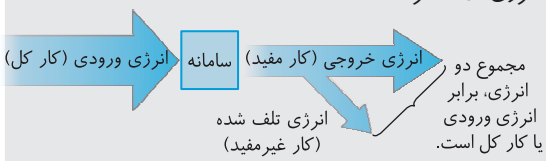
اگر در سؤال سرعت متوسط داده شود یا گفته شود سرعت ثابت است: $P=\frac{W}{t}=\frac{Fd}{t}=F.v_{av}$

بازده

بازده: بیانگر نسبت کار مفید به کل کار است:

$$Ra=\frac{W_{\text{مفید}}}{W_{\text{کل}}}\times ۱۰۰ \quad \text{یا} \quad \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}}\times ۱۰۰ \quad \text{یا} \quad \frac{P_{\text{مفید}}}{P_{\text{کل}}}\times ۱۰۰$$

در واقع هر وسیله‌ای که بازده بیشتری داشته باشد، اتلاف انرژی آن کمتر است.



چند نمونه از دستگاه‌های دارای بازده

	انرژی ورودی	انرژی خروجی
آسانسور	انرژی الکتریکی	$mgh(+\frac{۱}{۲}mv^۲)$
پمپ (تلمبه)	انرژی الکتریکی	$mgh(+\frac{۱}{۲}mv^۲)$
توربین	mgh	انرژی الکتریکی

الگو یادآوری

۱

دما و دماسنجی

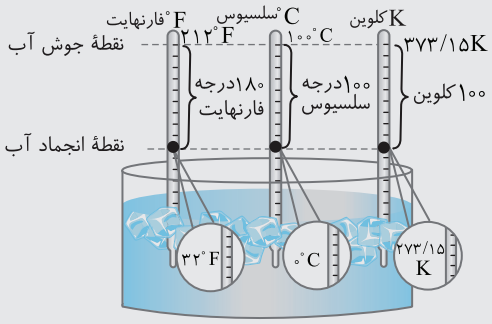
دما

- دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند.
- اگر دو جسم در تعادل گرمایی با جسم سومی باشند آن دو نیز در تعادل گرمایی هستند. (پایهٔ دماسنجی)
- عامل جابه‌جا شدن گرما اختلاف دماست نه اختلاف انرژی درونی.

دماسنجی

- تغییر خواص فیزیکی در اثر گرما اساس دماسنجی (مانند حجم یک مایع، فشار گاز در حجم ثابت، مقاومت الکتریکی یک سیم و غیره که به آن‌ها کمیت دماسنجی گویند.)
- درجه‌بندی سلسیوس θ_C « دمای ذوب یخ $0^\circ C$ »
- دمای جوش آب $100^\circ C$
- درجه‌بندی فارنهایت θ_F « دمای انجماد آب $32^\circ F$ »
- دمای جوش آب $212^\circ F$ درجه
- رابطهٔ بین درجه‌بندی سلسیوس و فارنهایت «

$$\frac{\theta_C}{100}=\frac{\theta_F-32}{180} \rightarrow \boxed{\theta_F=\frac{9}{5}\theta_C+32}$$



مقایسه‌ی یکاهای فارنهایت، سلسیوس و کلوین

- رابطهٔ بین تغییر دما در دماسنج فارنهایت و سلسیوس « $1^\circ C=\frac{9}{5}{}^\circ F$ » $\boxed{\Delta\theta_C=\frac{5}{9}\Delta\theta_F}$
- رابطهٔ کلی دماسنجی بین دو درجه‌بندی $\frac{x-a}{b-a}=\frac{x'-a'}{b'-a'}$
  - a و a' دمای محیط اول در دو درجه‌بندی، b و b' دمای محیط دوم در دو درجه‌بندی
  - x و x' دمای محیطی که در دو درجه‌بندی اندازه‌گیری می‌شود.
- درجه‌بندی کلوین « صفر کلوین برابر $-273/15^\circ C$ » که کمترین دمای ممکن است.
- عدد تغییر دما در درجه‌بندی کلوین و سلسیوس یکسان است. $\boxed{\Delta T=\Delta\theta}$
- رابطه دماسنجی کلوین با درجه‌بندی سلسیوس (سانتی‌گراد) $\boxed{T=273+\theta^\circ C}$

دماسنج‌ها

- دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی ساده‌ترین و متداول‌ترین دماسنج‌ها هستند.
  - کمیت دماسنجی در این دماسنج‌ها ارتفاع مایع درون دماسنج است.

دماسنج‌های معیار

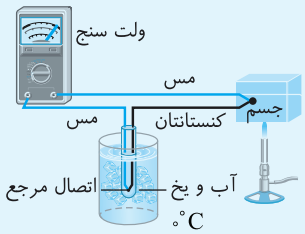
۱ دماسنج گازی

۲ دماسنج مقاومت پلاتینی

۳ تف‌سنج (پیرومتر)

اساس کار آن مبتنی بر تابش گرمایی است.

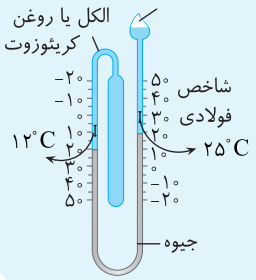
دماسنج ترموکوپل



- کمیت دماسنجی آن، ولتاژ است.
- دقت آن از دماسنج‌های معیار کمتر است.
- گسترهٔ دماسنجی آن می‌تواند از $-270^\circ C$ تا $1372^\circ C$ باشد.
- از دو سیم غیرهم‌جنس مانند مس و کنستانتان ساخته می‌شود.
- مزیت آن کوچک بودن محل اتصال و سریع بودن در رسیدن به تعادل گرمایی با جسم است.

دماسنج کمینه و بیشینه: تعیین کمینه و بیشینه دمای یک محل

- قسمت پایین شاخص فولادی نشان‌گر دما است.
- شاخهٔ سمت راست دمای بیشینه و شاخهٔ سمت چپ دمای کمینه را نشان می‌دهد.



انبساط گرمایی

جامدها

انبساط طولی « $\Delta L = L_1 \alpha \Delta T \rightarrow L_1$ طول اولیه و ΔT تغییر دما $\Delta T = \Delta\theta$

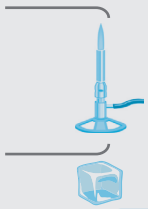
ضریب انبساط طولی: مقدار تغییر طول جسم به طول یک متر به ازای ۱K تغییر دما

درصد تغییرات: $\frac{\Delta L}{L_1}\times 100 = \frac{L_1 \alpha \Delta\theta}{L_1}\times 100 = \alpha\Delta\theta \times 100$

از اختلاف ضریب انبساط طولی در موارد زیر استفاده می‌شود.

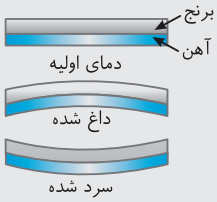
دماسنج نواری دوفلزه

از یک نوار دوفلزه پیچه‌ای استفاده شده است.



ترموستات (دماپا)

دو فلز با ضریب انبساط مختلف با طول یکسان به هم پرچ شده‌اند.
از ترموستات در یخچال‌ها، موتورخانه‌ها و آب‌گرم‌کن‌ها استفاده می‌شود.



انبساط سطحی « $\Delta A = A_1 2\alpha\Delta T \rightarrow$ ضریب انبساط سطحی تقریباً دو برابر ضریب انبساط طولی است.

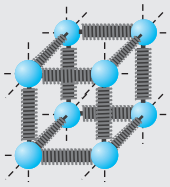
درصد تغییرات $2\alpha\Delta\theta \times 100$

انبساط حجمی « $\Delta V = V_1 \beta \Delta T \rightarrow \beta \approx 3\alpha$ ضریب انبساط حجمی جامد

درصد تغییرات $3\alpha\Delta\theta \times 100$

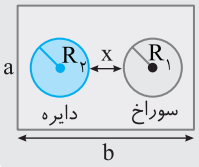
تغییر چگالی « در جسم جامد همگن $\rho_2 = \frac{\rho_1}{1+\beta\Delta T}$ و $\rho_2 = \rho_1(1-\beta\Delta T)$

دیدگاه مولکولی « نیروهای بین اتمی در جامدها شبیه فنر هستند و هر اتم به این فنرها متصل است. با افزایش دما دامنهٔ نوسان‌ها افزایش می‌یابد و جسم منبسط می‌شود.



نکاتی در مورد انبساط

- در انبساط تمام نقاط جسم از هم دور می‌شوند.
- اگر روی یک صفحه، سوراخی باشد با انبساط صفحه، دهانهٔ سوراخ نیز بازتر می‌شود.
- در شکل روبه‌رو با دادن گرما، x، R_1، R_2، a و b و ... افزایش می‌یابد.



مایع‌ها

افزایش حرکت کاتوره‌ای اتم‌ها و مولکول‌ها در اثر افزایش دما سبب دور شدن مولکول‌ها از هم و افزایش حجم مایع می‌شود.

$\Delta V = V_1 \beta \Delta T \rightarrow \beta$ ضریب انبساط حجمی مایع

ضریب انبساط حجمی در مایع‌ها از ضریب انبساط حجمی جامدها بیشتر است.

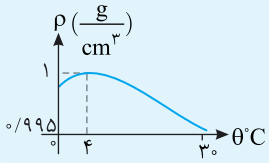
در صورت گرم شدن ظرف لبریز از مایع، مایع از آن سرریز می‌شود.

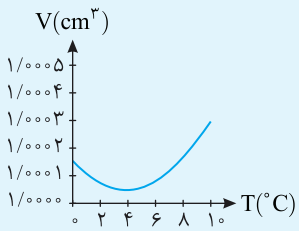
مقدار مایع سرریز شده = انبساط ظرف − انبساط واقعی مایع

تغییر چگالی « $\rho_2 = \frac{\rho_1}{1+\beta\Delta T}$ ، $\rho_2 = \rho_1(1-\beta\Delta T)$

انبساط غیرعادی آب

- از $0^\circ C$ تا $4^\circ C$ حجم آب به جای افزایش، کاهش می‌یابد.
- کمترین حجم و بیشترین چگالی آب در $4^\circ C$ « این امر سبب یخ بستن آب دریاچه‌ها از سطح آن‌ها می‌شود.
- نمودارها





الگو یادآوری ۳

گرما

گرما » مقدار انرژی که به‌دلیل اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود.

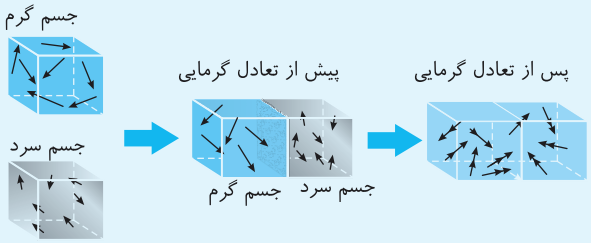
یکای گرما در SI ژول و یکای فرعی آن کالری است. $1\,cal \approx 4/2\,J$

انرژی درونی » مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی تمام مولکول‌های ماده

تعادل گرمایی » هرگاه دمای دو جسم که با هم در تبادل گرمایی هستند برابر شود، مبادله گرما متوقف می‌شود. به این حالت **تعادل گرمایی** و به این دمای مشترک **دمای تعادل** گویند.

از دیدگاه میکروسکوپی در تماس دو جسم سرد و گرم، انرژی‌های پتانسیل و جنبشی حرکت کاتوره‌ای اتم‌ها، مولکول‌ها و سایر اجزای میکروسکوپی درون جسم گرم کاهش و به همین اندازه برای جسم سرد افزایش می‌یابد تا دو جسم به تعادل گرمایی برسند.

دماسنج با جسمی که دمای آن را اندازه‌گیری می‌کند به تعادل گرمایی می‌رسد بنابراین دماسنج دمای خود را نشان می‌دهد.



گرماسنجی

گرمای ویژه
- مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم جسم داده شود تا دمای آن $1^\circ C$ (یا $1\,K$) افزایش یابد.
- به جنس جسم بستگی دارد.
- یکای آن در SI » $J/kg.K$
- گرمای ویژهٔ آب از اغلب اجسام بیشتر است.
  - این امر سبب استفاده از آب در رادیاتورهای اتومبیل و گرم‌کردن فضای خانه‌ها به وسیلهٔ شوفاژ می‌شود.

رابطهٔ گرماسنجی » $\boxed{Q = mc\Delta T}$
- c گرمای ویژه
- m جرم جسم
- ΔT تغییر دما
- اگر جسم گرما بگیرد $Q>0$ و اگر جسم گرما از دست بدهد $Q<0$

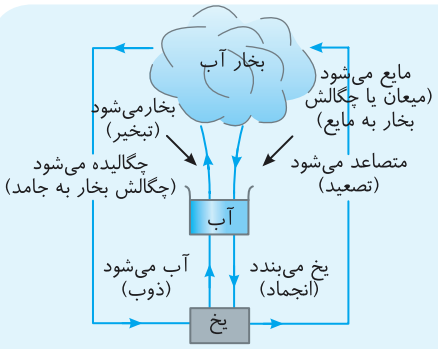
دمای تعادل
- بدون اتلاف گرما » $Q_1+Q_2+Q_3+\cdots=0 \Rightarrow Q_T=0$
- با اتلاف گرما » $Q_1+Q_2=Q_{\text{اتلاف}}$ » $Q_{\text{اتلاف}}$ منفی
- بدون تغییر حالت $m_1c_1(\theta_e-\theta_1)+m_2c_2(\theta_e-\theta_2)+\cdots=0 \rightarrow \theta_e=\dfrac{m_1c_1\theta_1+m_2c_2\theta_2+\ldots}{m_1c_1+m_2c_2+\cdots}$

گرماسنج
- کالری‌متر یا گرماسنج: ظرفی فلزی و درپوش‌دار با عایق‌بندی گرمایی خوب که در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژهٔ اجسام کاربرد دارد.
- ظرفیت گرمایی: حاصل‌ضرب جرم جسم در گرمای ویژهٔ جسم $C=mc$ » یکای آن J/K یا $J/^\circ C$

حالت‌های ماده

ذوب

- تبدیل جامد به مایع « فرایند ذوب گرماگیر است.
- نقطهٔ ذوب: دمایی که در آن جسم جامد شروع به ذوب شدن می‌کند.
- در مدت عمل ذوب دما ثابت می‌ماند.
- معمولاً در جامدهای بلوری به استثناء یخ هنگام ذوب حجم افزایش می‌یابد.
- جامدهای بی‌شکل مانند شیشه و قیر نقطهٔ ذوب کاملاً مشخصی ندارند.
- افزایش فشار سبب افزایش نقطهٔ ذوب می‌شود در حالی‌که در مورد یخ سبب کاهش نقطهٔ ذوب می‌شود.
- در قلهٔ کوه‌ها به دلیل کاهش فشار هوا نقطهٔ ذوب بالا رفته و برف می‌تواند در دمایی بالاتر از $0^\circ C$ نیز به‌صورت جامد باقی بماند.



«انواع تغییر حالت‌های آب»

گرمای نهان ذوب

- نسبت گرمای لازم برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع در دمای ذوب به جرم جسم را گرمای ذوب (یا گرمای نهان ذوب گویند) $L_F = Q/m$ ← $\boxed{Q = mL_F}$ « L_F به جنس جسم بستگی دارد.

انجماد

- تبدیل مایع به جامد « فرایند انجماد گرماده است. « نقطه انجماد و ذوب یک جسم یکسان است.
- ناخالصی مانند نمک می‌تواند سبب کاهش دمای انجماد آب شود و انجماد کامل را تا دمای $-18^\circ C$ پایین ببرد. $Q = -mL_F$

تفاوت یخ و برف

- یخ از انجماد آب و برف از چگالش بخار حاصل می‌شود. در انجماد زمان کافی برای تشکیل بلور وجود دارد اما چگالش برف سریع رخ می‌دهد.

تبخیر و جوشیدن

- تبدیل مایع به بخار را تبخیر گویند. تبخیر گرماگیر است.

تبخیر سطحی

- مایع در هر دمایی تبخیر می‌شود این فرایند را تبخیر سطحی گویند.
- آهنگ تبخیر سطحی به عوامل مختلفی مانند دمای مایع و مساحت سطح آن بستگی دارد.
- تبخیر سطحی عرق بدن سبب خنک شدن می‌شود.

جوشیدن

- با دادن گرما به مایع و بالا رفتن دما، در دمای خاصی حباب‌های گاز درون مایع شکل می‌گیرند و از مایع خارج می‌شوند. به این پدیده جوشیدن مایع و به این دما، نقطهٔ جوش گویند.
- دما در حین جوشیدن تغییر نمی‌کند.
- در جوشیدن کل مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند.
- نقطه جوش با افزایش فشار، بالا می‌رود، ناخالصی سبب افزایش نقطه جوش می‌شود.

گرمای تبخیر

- نسبت گرمای لازم برای تبخیر مایع، به جرم مایع را گرمای تبخیر مایع (یا گرمای نهان تبخیر مایع) گویند و با (L_V) نمایش می‌دهند. (J/kg) ← $L_V = Q/m$ ← $\boxed{Q = mL_V}$
- با کاهش دما به‌دلیل محکم‌تر شدن پیوند مولکول‌های مایع، L_V افزایش می‌یابد. L_V به جنس و دما بستگی دارد.

میعان

- میعان « وارون فرایند تبخیر « گرماده است « $Q_V = -mL_V$
- نقطهٔ جوش و نقطه میعان یک جسم یکسان است.

الگو یادآوری ۵

انتقال گرما

رسانش

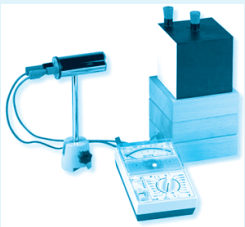
- ارتعاش اتم‌ها و الکترون‌های آزاد در ناحیهٔ گرم شدهٔ جسم موجب انتقال بخشی از انرژی آن‌ها به اتم‌ها و الکترون‌های مجاور می‌شود و به این روش انتقال گرما رسانش گویند.
- در رساناهای فلزی، الکترون‌های آزاد نقش اساسی دارند.
- در نارساناها مانند شیشه رسانش گرمایی به دلیل ارتعاش اتم‌ها و گسترش این ارتعاش در طول آن‌هاست و به جهت نبود الکترون آزاد، این اجسام رسانای گرمایی خوبی نیستند.

همرفت

- انتقال گرما در شاره‌ها به روش همرفت صورت می‌گیرد.
- **طبیعی**
  - هوای سرد در کنار بخاری گرم شده بالا می‌رود و هوای سرد چگال‌تر جای آن را می‌گیرد.
  - آب درون کتری به همین روش روی شعلهٔ اجاق گرم می‌شود.
  - روز: زمین ساحل گرم‌تر از آب دریا، نسیم همرفتی از سوی دریا به سوی ساحل
  - شب: زمین ساحل سردتر از آب دریا، نسیم همرفتی از سوی ساحل به سمت دریا
- **واداشته** ← شاره به کمک یک تلمبه طبیعی (قلب جانوران خونگرم) یا تلمبه مصنوعی (واترپمپ اتومبیل) به چرخش واداشته می‌شود تا با این چرخش انتقال گرما صورت پذیرد.

تابش گرمایی

- هر جسم می‌تواند از خود تابش الکترومغناطیسی گسیل کند که شدت و بسامد این تابش به دمای جسم بستگی دارد و آن را تابش گرمایی گویند.
- این انتقال گرما به محیط مادی نیاز ندارد و در خلأ منتشر می‌شود.
- سریع‌ترین روش انتقال گرما بوده و سرعت آن در خلأ برابر $c = ۳\times۱۰^{۸} m/s$ است.
- تابش گرمایی در دماهای زیر حدود $۵۰۰^{\circ}C$ عمدتاً به‌صورت تابش فروسرخ است.
- برای آشکارسازی تابش‌های فروسرخ از دستگاه دمانگار استفاده می‌شود « تصویر حاصل از دمانگار را دمانگاشت گویند.
- تابش گرمایی علاوه بر دما به مساحت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح جسم بستگی دارد.
- تابش سطح‌های صیقلی با رنگ‌های روشن کم و از سطح تیره، ناصاف و مات بیشتر است.
- برای آزمایش تأثیر سطح و رنگ از مکعب لسلی استفاده می‌شود.
- یکی از کاربردهای تابش گرمایی دماسنج تف‌سنج است و به روش اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی، تف‌سنجی گویند.
- دو نوع تف‌سنج تابشی و نوری داریم که تف‌سنج تابشی جزء دماسنج‌های معیار است.



نمونه پدیده‌های زیستی

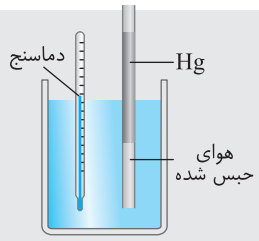
- شکار تابش فروسرخ: اندام حفره‌ای روی پوزهٔ برخی مارهای زنگی که نسبت به تابش فروسرخ حساس است سبب می‌گردد که مار طعمه‌های خونگرم مانند موش را در تاریکی تشخیص دهد.
- کلم اسکانک: می‌تواند دمایش را با دمای محیط بالاتر ببرد و انرژی خود را با تابش فروسرخ از دست داده و برف پیرامونش را در زمستان آب کند.

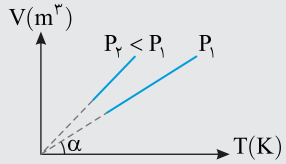
- پرتوسنج (رادیومتر): وسیله‌ای است که از یک حباب شیشه‌ای تشکیل شده است که درون آن چهار پرهٔ فلزی قائم قرار دارد که می‌توانند حول یک محور (سوزن عمودی) بچرخند. دو وجه هر چهارپره، یک در میان سفید و سیاه است. وقتی این وسیله کنار یک چشمه نور قرار گیرد، پره‌ها حول محور شروع به چرخیدن می‌کنند.

قانون گازهای کامل (آرمانی)

قانون شارل

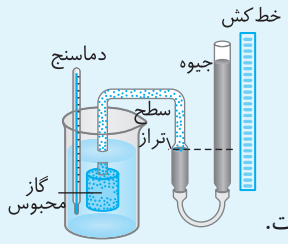
- بررسی گاز در فشار ثابت
- در فشار ثابت، حجم یک گاز متناسب با دمای مطلق آن است. $\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$
- نمونه‌ای از آزمایش شارل
- شیب نمودار $V-T$ هر چه بیشتر باشد فشار گاز کمتر است. شیب نمودار $\propto \frac{1}{P}$

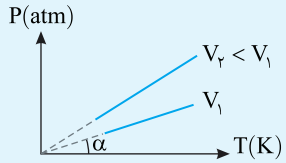




قانون گیلوساک

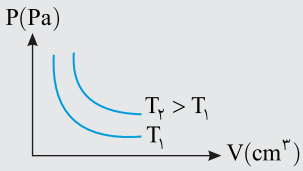
- بررسی گاز در حجم ثابت
- در حجم ثابت، فشار گاز متناسب با دمای مطلق آن است. $\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}=$ ثابت
- نمونه‌ای از آزمایش گیلوساک
- شیب نمودار $P-T$ هر چه بیشتر باشد حجم گاز کمتر است. شیب نمودار $\propto \frac{1}{V}$

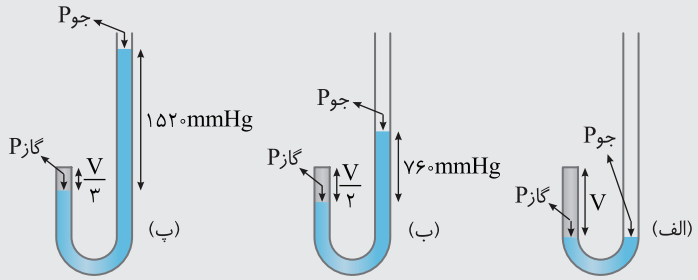




قانون بویل ماریوت

- بررسی گاز در حجم ثابت
- حجم یک گاز در دمای ثابت با فشار گاز نسبت وارون دارد ← $P_1V_1=P_2V_2=$ ثابت
- نوعی از آزمایش بویل
- هر چه دمای گاز بیشتر باشد نمودار $P-V$ بالاتر می‌رود.





قانون آووگادرو

- در دما و فشار یکسان، نسبت حجم گاز V به تعداد مولکول‌های آن ثابت است. ← $\frac{V_1}{N_1}=\frac{V_2}{N_2}=$ ثابت
- $N=nN_A$ تعداد مولکول‌ها، n مول، $N_A=6/02\times10^{23}$ عدد آووگادرو ← $\frac{V_1}{n_1}=\frac{V_2}{n_2}=$ ثابت

الگو یادآوری ۷

قانون گازهای کامل (آرمانی)

قانون گازهای آرمانی

- گاز آرمانی (کامل) گازی است به اندازهٔ کافی رقیق با چگالی به حد کافی کم که به دلیل دوری مولکول‌ها، ذرات آن بر هم تأثیر چندانی ندارند.
- $PV = nRT$ ← فشار برحسب Pa، حجم برحسب m^3 ، دما برحسب کلوین.
  - n تعداد مول‌ها به نوع گاز بستگی ندارد. ← $n = \frac{m}{M}$ ، m جرم گاز و M جرم مولی گاز
  - R ثابت جهانی گازها ← برابر $8/314 J/mol.K$
- مقایسه حالت دو گاز آرمانی ← $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$
- مقایسه دو حالت یک گاز آرمانی ← $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ و $n_1 = n_2$
- **رابطه چگالی با فشار و دما** « $\rho_1 = \frac{m}{V_1}$ و $\rho_2 = \frac{m}{V_2}$ « $\rho_1V_1 = \rho_2V_2 = m$ « $\frac{P_1T_2}{\rho_1} = \frac{P_2T_1}{\rho_2}$

$$\boxed{\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_1}{T_2}}$$

- **مخلوط گازهای ترکیب نشدنی**
  - هوا نمونه‌ای از مخلوط گازهای ترکیب نشدنی
  - هرگاه چند گاز با تعداد مول‌های n_1 ، n_2 و ... را در یک محفظه قرار دهیم تعداد کل مول‌های در محفظه برابر خواهد شد با:

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \cdots \Rightarrow \frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1} + \frac{P_2V_2}{T_2} + \frac{P_3V_3}{T_3} + \cdots$$

  - برای دو گاز در دمای ثابت ← $PV = P_1V_1 + P_2V_2$

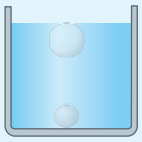
نمونه‌هایی از مسائل ترکیبی قانون گازها و فصل فشار

در قانون گازها منظور از فشار، مجموع تمام فشارهای وارد بر گاز است

حبابی از ته ظرف مایعی به سطح می‌آید

فشار در ته ظرف: $P_1 = P_0 + \rho gh$

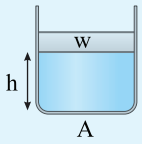
فشار در سطح مایع: $P_2 = P_0$



مقداری گاز زیر پیستون متحرکی بدون اصطکاک است.

فشار گاز برابر است با: $P = P_0 + \frac{W}{A}$

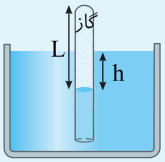
حجم گاز: $V = Ah$



فشار گاز محبوس در لوله وارون در مایع:

$P_{گاز} = P_0 + \rho gh$

حجم گاز: $V = AL$



ترمودینامیک

مفاهیم اولیه

به علمی که قانون‌های حاکم بر کمیت‌های ماکروسکوپیکی یک دستگاه مانند دما، فشار، ... را در پدیده‌های گرمایی بیان می‌کند، علم ترمودینامیک گویند.

در ترمودینامیک تحولات جسم خاصی را در نظر می‌گیریم که معمولاً به شکل گاز یا مایع است و با اجسام پیرامونش تبادل گرما و کار انجام می‌دهد. این جسم را **دستگاه** و اجسام پیرامون را **محیط** می‌نامیم.

دستگاهی که دارای تعادل مکانیکی $(F_T=0)$، تعادل شیمیایی و تعادل دمایی است، دارای **تعادل ترمودینامیکی** است.

به کمیت‌های ماکروسکوپی (V و P و T) که برای توصیف تعادل دستگاه استفاده می‌شوند **متغیرهای ترمودینامیکی** گویند.

معادله حالت

- رابطهٔ بین متغیرهای ترمودینامیکی را معادله حالت گویند.
- معادله حالت گاز آرمانی همان قانون گازهاست. $PV=nRT$

فرایند

- رفتن دستگاه از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگر را **فرایند ترمودینامیکی** گویند.
- فرایندی که طی آن دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل است را **فرایند ایستاوار** گویند.

تبادل انرژی

- تبادل انرژی بین محیط و دستگاه از دو طریق **گرما** و **کار** صورت می‌گیرد.
- گرما: هرگاه بین دستگاه و محیط اختلاف دما وجود داشته باشد، بین محیط و دستگاه تبادل گرما صورت می‌گیرد.
- **منبع گرما** ← جسمی که دمایش با دریافت و یا از دست دادن مقدار زیادی گرما تغییر محسوسی نکند.

قانون اول ترمودینامیک

انرژی درونی مجموع انرژی تمام ذرات دستگاه را انرژی مکانیکی گویند. (U)

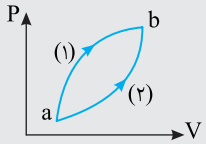
- انرژی درونی مقدار معینی گاز آرمانی (کامل) تنها تابعی از دمای گاز است. $\frac{U_1}{T_1}=\frac{U_2}{T_2}=$ ثابت
- تغییر انرژی درونی $\frac{\Delta U}{U_1}=\frac{\Delta T}{T_1}$

اگر دستگاه در فرایندی ایستاوار، گرمای Q را بگیرد و کار W بر روی آن انجام شود، آن‌گاه $\Delta U=Q+W$

قانون اول ترمودینامیک بیانگر قانون پایستگی انرژی است.

کار و گرما به مسیر فرایند ترمودینامیکی بستگی دارد اما تغییر انرژی درونی به مسیر فرایند بستگی ندارد و تابعی از حالت ابتدایی (T_1 و V_1 و P_1) و انتهایی (P_2, V_2, T_2) دستگاه است.

- در دو مسیر نمودار روبه‌رو:



$\Delta U_1=\Delta U_2$

$|W_1|\neq|W_2|, |Q_1|\neq|Q_2|$

در فرایند انبساطی کار محیط روی دستگاه منفی $(W<0)$ و در فرایند تراکمی کار محیط روی دستگاه مثبت است. $(W>0)$

در فرایند انبساطی کار دستگاه روی محیط مثبت $(W'>0)$ و در فرایند تراکمی کار دستگاه روی محیط منفی است. $(W'<0)$

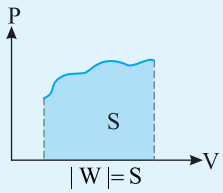
اگر دستگاه گرما بگیرد $(Q>0)$ و اگر گرما از دست بدهد $(Q<0)$ است.

نمودار P-V

سطح زیر نمودار P-V برابر کار انجام شده است.

در انبساط دستگاه $W=-S$

در تراکم دستگاه $W=S$



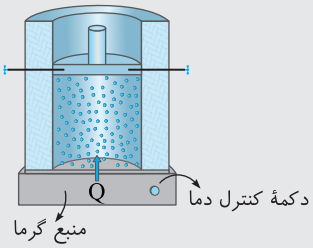
الگو یادآوری ۲

برخی از فرایندهای ترمودینامیکی

فرایند هم‌حجم گاز آرمانی

در فرایند هم‌حجم کار صفر است. $(W=0)$

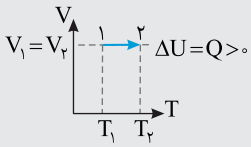
بنابه قانون اول ترمودینامیک در فرایند هم‌حجم $\Delta U = Q$ است.



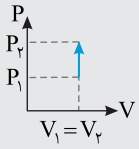
دمای گاز را در فرایند هم‌حجم با استفاده از منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم، به تدریج تغییر می‌دهیم

نمودارهای فرایند هم‌حجم آرمانی

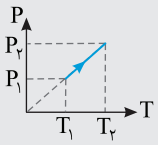
نمودار V−T



نمودار P−V



نمودار P−T



$P=\frac{nR}{V}T$

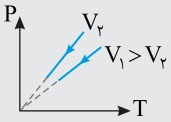
نمودار خط راست گذرنده از مبدأ

شیب نمودار $\propto \frac{1}{V}$

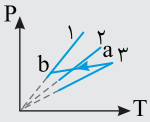
در نمودارهای بالا گاز گرما گرفته و دمایش افزایش یافته است. $(\Delta U=Q>0)$

اگر گاز گرما از دست بدهد و دمایش کاهش یابد جهت فلش تغییر می‌کند. $(\Delta U=Q<0)$

مثال



مثال خاص



$V_1<V_2<V_3$

در فرایند ab حجم گاز در حال کاهش است.

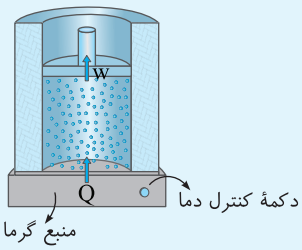
فرایند هم‌فشار گاز آرمانی

کار $W=-nR\Delta T,\ W=-P\Delta V$

گرما در فرایند همفشار گاز آرمانی، گاز با دریافت گرما، منبسط شده و دمای آن بالا می‌رود و بنابراین بخشی از گرما به انرژی درونی تبدیل می‌شود و بخشی باعث انجام کار می‌شود. $|Q|>|\Delta U|\ ,\ |Q|>|W|$

همواره Q و ΔU هم‌علامت و Q و W مختلف‌العلامه هستند.

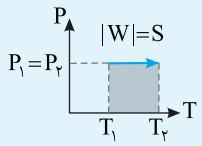
می‌توان نشان داد در فرایند هم‌فشار $|Q|>|\Delta U|>|W|$ است.



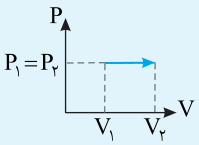
گرم کردن گاز در فشار ثابت با استفاده از منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم

نمودارهای فرایند هم‌فشار

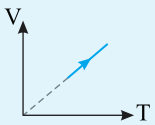
نمودار P−T



نمودار P−V



نمودار V−T



$V=\frac{nR}{P}T$

نمودار خط راست گذرنده از مبدأ

شیب نمودار $\propto \frac{1}{P}$

در این نمودارها گاز گرما گرفته و منبسط شده است. $(W<0, \Delta U>0, Q>0)$

اگر گاز گرما از دست بدهد و متراکم شود جهت فلش‌ها در نمودار عوض می‌شود. $(W>0, \Delta U<0, Q<0)$

برخی از فرایندهای ترمودینامیکی

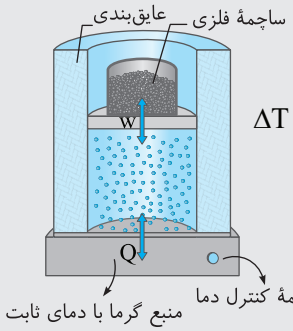
فرایند هم‌دمای گاز آرمانی

منبع گرما

- محیطی که با تبادل گرما، دمایش ثابت است.
- در فرایند هم‌دما، دستگاه در مجاورت یک منبع گرمایی قرار دارد.

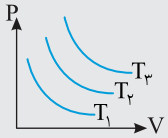
در فرایند هم‌دمای **گاز کامل** تغییر انرژی درونی صفر است. $\Delta T=0 \Rightarrow \Delta U=0 \Rightarrow W=-Q$

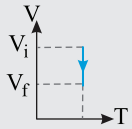
یادمان باشد که فرایندهای تبخیر، ذوب، ... گرماگیر و هم‌دما هستند، اما انرژی درونی آن‌ها تغییر می‌کند.

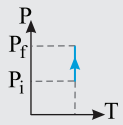


$T_3>T_2>T_1$

نمودارها





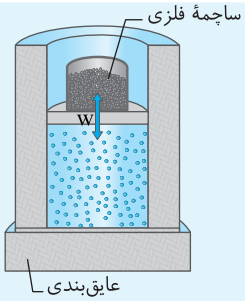


در این نمودارها گاز متراکم شده و فشار آن افزایش یافته در این صورت $Q<0$ و $W>0$

اگر گاز منبسط شود $(V_f>V_i)$ در این صورت گاز گرما می‌گیرد و کار انجام می‌دهد. $Q>0$ $W<0$

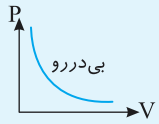
فرایند بی‌دررو گاز کامل

- دستگاه به خوبی عایق‌بندی شده و تبادل گرمایی با محیط ناچیز است. $Q=0$
- سرعت انجام فرایند زیاد است و فرصت تبادل گرمایی وجود ندارد. $Q=0$
- در فرایند بی‌دررو دما، حجم و فشار گاز هر سه تغییر می‌کند.
- در انبساط بی‌دررو، دما و فشار کاهش و حجم افزایش می‌یابد. اگر حجم دو برابر شود فشار به کمتر از نصف می‌رسد.
- در تراکم بی‌دررو، دما و فشار افزایش و حجم کاهش می‌یابد و اگر حجم نصف شود فشار به بیش از دو برابر می‌رسد.
- شیب نمودار P-V بی‌دررو از شیب نمودار P-V هم‌دما بیشتر است.

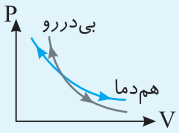


با کاستن یا افزودن تدریجی ساچمه‌ها روی پیستون، گاز درون استوانهٔ عایق‌پوش شده، انبساط یا تراکم بی‌دررو پیدا می‌کند.

نمودار P-V



مقایسه نمودارهای P-V هم‌دما و بی‌دررو



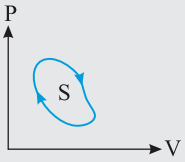
چرخه ترمودینامیکی

به مجموعه‌ای از فرایندها گویند که طی آن دستگاه به حالت اولیه بازمی‌گردد.

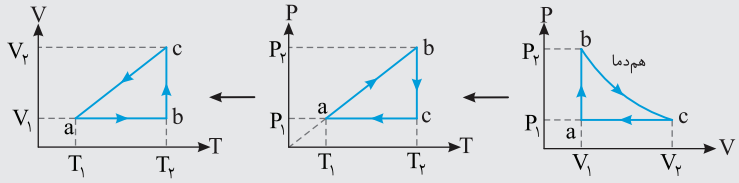
در چرخه تغییر انرژی درونی دستگاه صفر است. « $W=-Q \leftarrow \Delta U=0$

نمودار

- مساحت سطح محصور در چرخه برابر قدر مطلق کار است. $|W|=S$
- در چرخه ساعتگرد کار محیط روی دستگاه منفی است. $W=-(S)$
- در چرخه پادساعتگرد کار محیط روی دستگاه مثبت است. $W=S$
- اگر چرخه P-V ساعتگرد باشد چرخه P-T ساعتگرد و چرخه V-T پادساعتگرد است.



مثال



چرخه آرمانی ← چرخه‌ای که فرایندهای آن ایستاوار، بدون اصطکاک و بدون اتلاف باشد.

الگو یادآوری ۴

قانون دوم ترمودینامیک

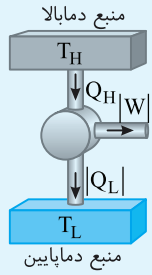
ماشین گرمایی

ماشین گرمایی وسیله‌ای است که گرما را به کار تبدیل می‌کند.

ممکن نیست دستگاه چرخه‌ای را بپیماید که در طی آن مقداری گرما از منبع دمابالا جذب کند و تمام آن را به کار تبدیل کند (بیان ماشین گرمایی قانون دوم ترمودینامیک).

قانون دوم ترمودینامیک در مورد چرخه صادق است وگرنه در فرایند انبساطی هم‌دمای گاز کامل تمام گرما به کار تبدیل شده و قانون دوم نقض نمی‌شود.

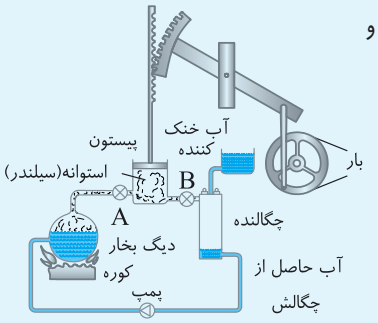
$Q_H = |W| + |Q_L|$ ، Q_L **هرگز در ماشین گرمایی صفر نمی‌شود.**



بروونسوز

ساده‌ترین ماشین برونسوز ماشین نیوکامن و نوع روزآمد آن ماشین استرلینگ و ماشین بخار است. در ماشین بخار، دستگاهی که چرخه را طی می‌کند **آب** است.

- بخار شدن آب در دیگ بخار
- باز شدن شیر A و رانده شدن پیستون به بالا
- بسته شدن شیر A و باز شدن هم‌زمان شیر B
- ورود بخار به چگالنده و تبدیل شدن به آب
- پمپ شدن آب از چگالنده به دیگ
- بسته شدن شیر B و باز شدن هم‌زمان شیر A و تکرار چرخه
- تحلیل ماشین بخار به کمک چرخه‌ای به نام چرخهٔ رانکین صورت می‌گیرد.



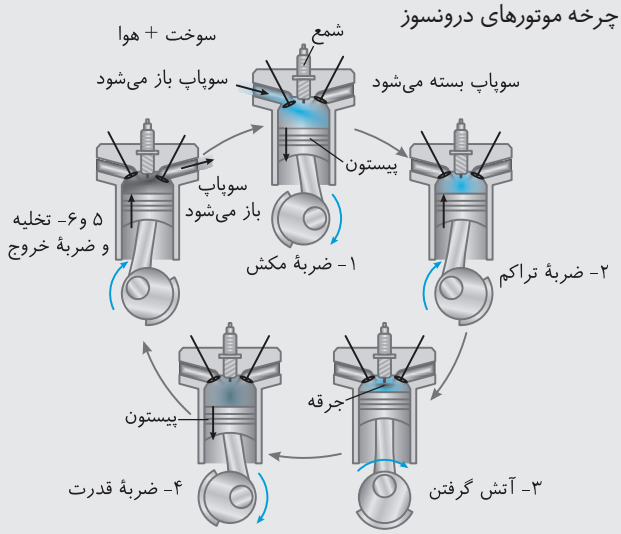
طرحی از بخش‌های اصلی یک ماشین بخار وات شامل دیگ بخار، سیلندر، پیستون، چگالنده و پمپ

درونسوز

دو نوع متداول ماشین گرمایی درونسوز، ماشین بنزینی و ماشین دیزلی است.

بنزینی

- چرخه این ماشین دارای شش فرایند است.
- به چرخه آرمانی این ماشین چرخهٔ اتو گویند.
- چهار فرایند به همراه حرکت پیستون را ضربه گویند.
- نسبت بیشترین حجم به کمترین حجم را با r نمایش داده و به آن نسبت تراکم یا انبساط گویند.
- مراحل مختلف در چرخه موتورهای درونسوز



بازده

$\eta = \frac{|W|}{Q_H}$ و $\eta = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$

بازده ماشین درون‌سوز بنزینی حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد، ماشین دیزلی حدود ۳۰، ۳۵ درصد و ماشین‌های بخار ۳۰ تا ۴۰ درصد است.

یخچال

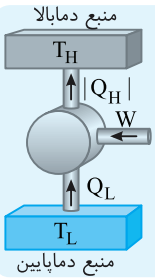
گرما به‌طور خودبه‌خود از جسم سرد به جسم گرم شارش نمی‌کند (بیان یخچالی قانون دوم ترمودینامیک)

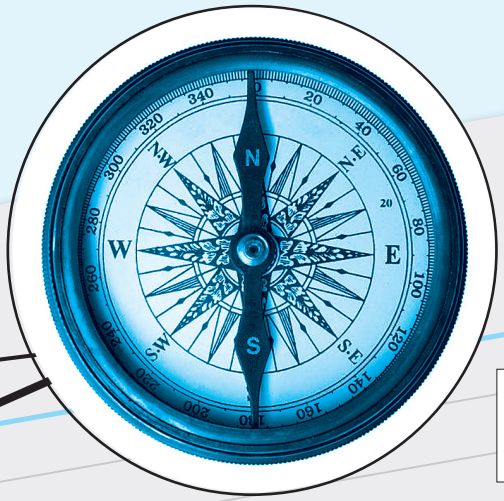
یخچال وسیله‌ای است که با دریافت کار، گرما را از منبع دماپایین (T_L) به منبع دمابالا (T_H) منتقل می‌کند.

$|Q_H| = W + Q_L$ و $Q_L > 0$ ، $Q_H < 0$ ، $W > 0$

در یخچال‌های خانگی، کولرهای گازی و تلمبه‌های گرمایی نمونه‌هایی از یخچال هستند.

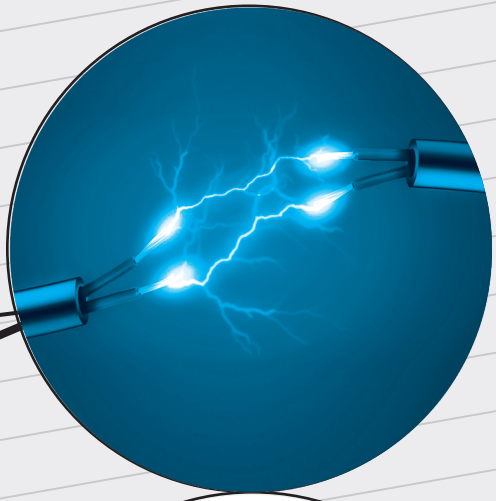
در یخچال W هرگز صفر نمی‌شود.

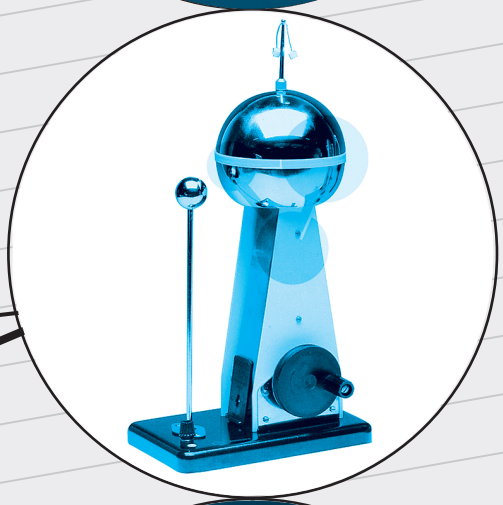


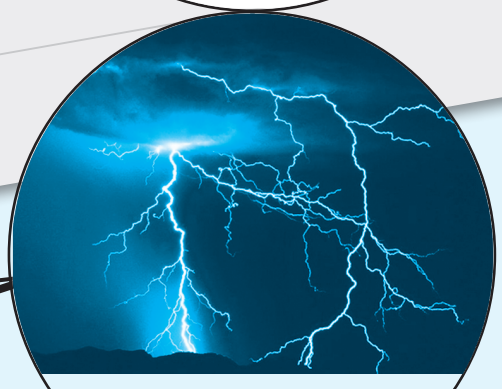


درسنامه‌های درختی

فیزیک ۲



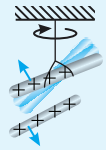




الگو یادآوری ۱

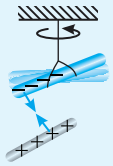
الکتریسیتهٔ ساکن

بـا مالش یک شـانهٔ پلاسـتیکی در آن خاصیتی به‌وجود می‌آیـد که می‌تواند ذرات ریز کاغذ (کاه) را جـذب کند. به این خاصیت الکتریسیته (کهربا) گویند. در واقع جسم باردار می‌شود.



الف) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

ب) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم همدیگر را دفع می‌کنند.



پ) وقتی میله پلاستیکی مالش داده شده با پارچه پشمی را به میله شیشه‌ای مالش داده شده با پارچه ابریشمی نزدیک می‌کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.

ویژگی‌های بار

۱- اصل پایستگی بار: مجموع جبری همه بارهای الکتریکی یک دستگاه منزوی ثابت است.

هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد و بار تنها از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود.

۲- اصل کوانتیده بودن بار: همواره بار الکتریکی مشاهده شده جسم مضرب درستی از بار بنیادی e است.

$q=\pm ne$ ، $e=1/6\times10^{-19}C$

روش‌های باردار کردن

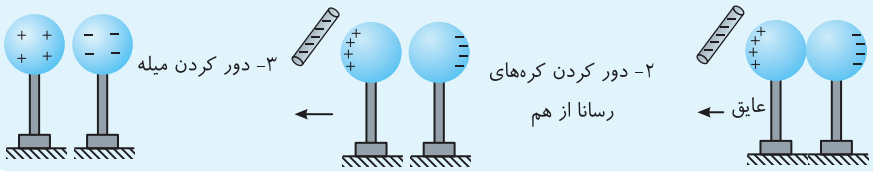
۱ **روش مالش**: در این روش که برای باردار کردن اجسام نارسانا به‌کار می‌رود، دو جسم به هم مالیده می‌شوند که سبب می‌گردد الکترون از یک جسم به جسم دیگر مطابق جدول سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبو الکتریک) منتقل شود و دو جسم باردار شوند.

جدول: سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک)

انتهای منفی سری	
تفلون	
لاستیک	
پلاستیک، پلی‌اتیلن	
برنج، نقره	
کهربا	
پارچهٔ کتان	
چوب	
کاغذ	
پوست انسان	
آلومینیوم	
ابریشم	
سرب	
موی گربه	
پشم	
نایلون	
شیشه	
موی انسان	
انتهای مثبت سری	

۲ **روش تماس**: در این روش یک جسم باردار را به یک جسم بدون بار (معمولاً رسانا) تماس می‌دهند. مقداری بار از جسم باردار به جسم بدون بار منتقل شده و هر دو جسم دارای بار همنام می‌شوند.

۳ **روش القا**: روشی برای باردار کردن اجسام رسانا

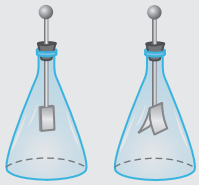


الکتروسکوپ

وسیله‌ای برای مشخص کردن باردار بودن و نوع بار یک جسم است.

باردار کردن الکتروسکوپ با روش القا انجام می‌شود.

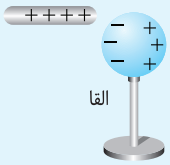
اگر جسمی باردار به آرامی به یک الکتروسکوپ باردار نزدیک شود، چنانچه انحراف ورقه‌ها بیشتر شـود جسـم دارای بار همنام با بار الکتروسکوپ و اگر انحراف ورقه‌ها کمتر شود، جسم دارای بار ناهمنام با بار الکتروسکوپ است.



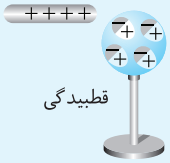
الکتریسیته ساکن

رپایش

اگر یک جسم باردار به یک جسم رسانای خنثی نزدیک شود در اثر القا، بار الکتریکی در رسانا ایجاد شده و سبب رپایش جسم رسانا توسط جسم باردار می‌شود.



اگر جسم باردار به جسم نارسانا (ذرات کاغذ) نزدیک شود قطبیدگی سبب رپایش خرده‌های کاغذ می‌شود.



جسم باردار و جسم بدون بار بر هم نیروی رپایش الکتریکی وارد می‌کنند.

قانون کولن

نیرویی که دو بار بر هم وارد می‌کنند با حاصل‌ضرب دو بار نسبت مستقیم و با مجذور فاصله دو بار نسبت وارون دارد.

$F=k\frac{q_1q_2}{r^2} \rightarrow k=9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2}$ ثابت کولن $\rightarrow k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ ، $\varepsilon_0=8/85\times10^{-12}C^2/N.m^2$ ضریب گذردهی خلأ

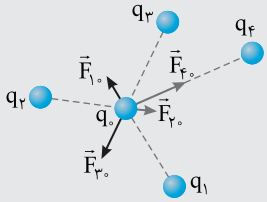
نیرویی که بار q_1 بر بار q_2 وارد می‌کند برابر نیرویی است که بار q_2 بر بار q_1 وارد می‌کند. (قانون سوم نیوتون)

در بررسی نیروی کولنی بار را نقطه‌ای درنظر می‌گیرند.

اگر جسم گسترده باشد، شکل، ابعاد و چگونگی توزیع بار در اندازهٔ نیروی کولنی مؤثر است.

اصل بر هم‌نهی ← نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره برآیند نیروهایی است که هریک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها بر آن ذره وارد می‌کند.

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

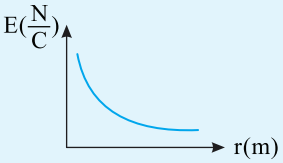


میدان الکتریکی

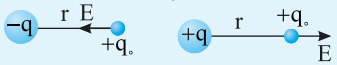
در اطراف هربار خاصیتی وجود دارد که بر اجسام دیگر نیرو وارد می‌کند، این خاصیت فضای اطراف بار را میدان الکتریکی گویند. میدان الکتریکی کمیتی برداری است.

میدان الکتریکی برابر نیروی وارد بر یکای بار مثبت است. $\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0}(N/C)$

میدان بار نقطه‌ای q در فاصله r از بار $E=k\frac{q}{r^2}$ « نمودار $E-r$

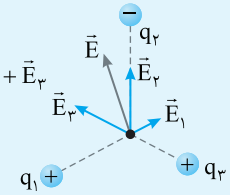


جهت میدان الکتریکی هم‌جهت با نیروی وارد بر بار مثبت است.



برایند میدان‌های الکتریکی ← میدان الکتریکی خالص حاصل از چند بار در یک نقطه برایند میدان هر بار در همان نقطه است.

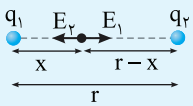
$\vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2+\vec{E}_3$



مثال‌های ساده

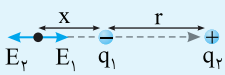
میدان روی خط واصل دو بار همنام: میدان در نزدیک بار کوچک‌تر صفر می‌شود.

$$E_1=E_2\Rightarrow\frac{kq_1}{x^2}=\frac{kq_2}{(r-x)^2}$$

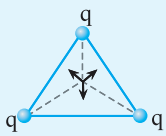


میدان روی خط واصل دوبار ناهمنام: میدان در خارج دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر صفر می‌شود.

$$E_1=E_2\Rightarrow\frac{kq_1}{x^2}=\frac{kq_2}{(r+x)^2}$$

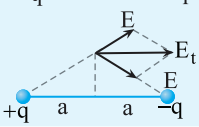


میدان در مرکز یک مثلث متساوی‌الاضلاع ناشی از سه بار یکسان صفر می‌شود.



دو قطبی: دوبار ناهمنام با اندازه‌های یکسان

میدان روی عمودمنصف دو قطبی موازی محور دو قطبی است.



الگو یادآوری ۳

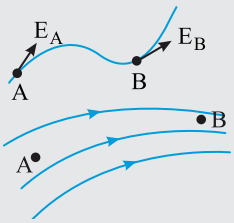
الکتریسیتهٔ ساکن

خط‌های میدان الکتریکی

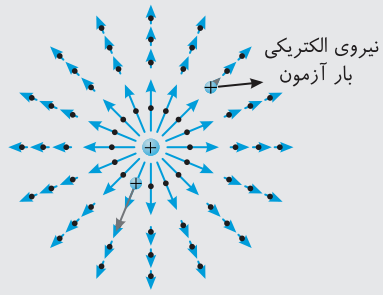
برای تجسم میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار، از خط‌های جهت‌داری به نام خط‌های میدان استفاده می‌شود.

ویژگی‌های خطوط میدان

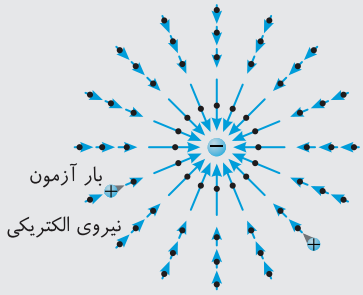
- خط‌های میدان در هر نقطه در جهت نیروی وارد بر بار مثبت است.
- خط‌های میدان از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می‌شوند.
- بردار میدان در هر نقطه بر خط‌های میدان مماس است.
- هرچه تراکم خطوط بیشتر باشد میدان قوی‌تر است. $(E_B > E_A)$
- خط‌های میدان یکدیگر را قطع نمی‌کنند.



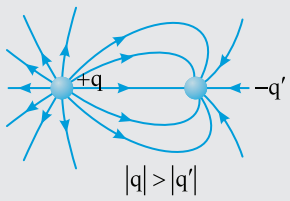
خطوط میدان الکتریکی یکنواخت



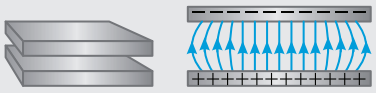
خطوط میدان بار نقطه‌ای مثبت ساکن



خطوط میدان بار نقطه‌ای منفی ساکن



خطوط میدان بارهای ناهمنام و نامساوی



انرژی پتانسیل الکتریکی

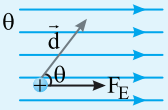
هرگاه دو بار مثبت را به هم نزدیک و سپس رها کنیم از هم دور می‌شوند، علت آن ذخیره شدن انرژی در مجموعه دو بار است. این نوع انرژی را که در اجسام باردار نزدیک به هم وجود دارد انرژی پتانسیل الکتریکی گویند.

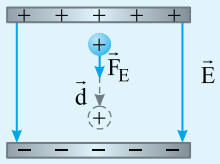
تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذره باردار برابر منفی کار میدان الکتریکی است. $\Delta U_E = -W_E$

هرگاه بار مثبت در جهت خط‌های میدان جابه‌جا شود انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد و اگر در خلاف جهت خط‌های میدان جابه‌جا شود انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد.

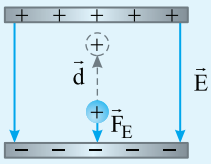
$W_E = F_E d \cos\theta$

$F_E = qE$

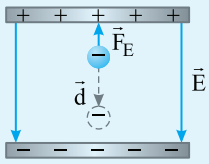




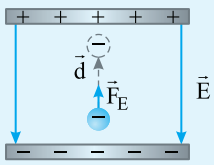
$\Delta U_E < 0, W_E > 0$



$\Delta U_E > 0, W_E < 0$



$\Delta U_E > 0, W_E < 0$



$\Delta U_E < 0, W_E > 0$

اختلاف پتانسیل الکتریکی

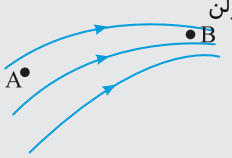
عامل شارش بار

نسبت تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه به بار ذره، مستقل از نوع و اندازه بار است و آن را اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه گویند.

$$V_B - V_A = \frac{U_B - U_A}{q_0} = -\frac{W_{A\to B}}{q_0}$$

پتانسیل الکتریکی

- انرژی یکای بار مثبت در یک نقطه از فضا را پتانسیل آن نقطه گویند. $V = \frac{U_E}{q}$ ، $\text{ولت} = \frac{\text{ژول}}{\text{کولن}}$
- با حرکت در جهت میدان، به سمت نقاط با پتانسیل الکتریکی کمتر و با حرکت در خلاف جهت میدان به سمت نقاط با پتانسیل الکتریکی بیشتر می‌رویم.
- **مهم:** در روابط پتانسیل باید علامت بار در نظر گرفته شود.

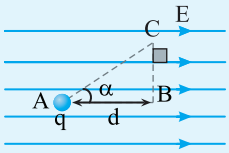


الکتریسیتهٔ ساکن

میدان الکتریکی یکنواخت

در میدان الکتریکی یکنواخت خطوط میدان با هم موازی و فاصلهٔ بین خطوط یکسان است.

برای ایجاد میدان الکتریکی یکنواخت از دو صفحهٔ رسانای بارداری که فاصله‌ی آن‌ها از هم نسبت به ابعادشان، کوچک است استفاده می‌شود و این صفحات رسانا دارای بارالکتریکی یکسان $+q$ و $-q$ هستند.



میدان الکتریکی یکنواخت: $E=\frac{|\Delta V|}{d} \rightarrow \frac{\text{ولت}}{\text{متر}}=\frac{\text{نیوتون}}{\text{کولن}}$

تمام نقاط واقع بر خط عمود بر خطوط میدان، نقاط هم پتانسیل هستند: $V_B=V_C$

$V_C=V_B \leftarrow \Delta V_{AC}=\Delta V_{AB}$

کار نیروی خارجی

کار نیروی خارجی وارد بر بار در میدان الکتریکی برابر است با:

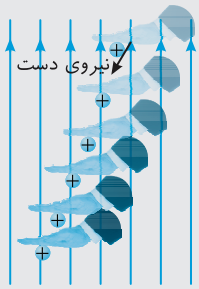
$$\Delta K=W_{\text{خارجی}}+W_E=W_{\text{خارجی}}-q\Delta V$$

کار نیروی خارجی هنگام حرکت بار با سرعت ثابت:

$$W_{\text{خارجی}}=-W_E=q\Delta V$$

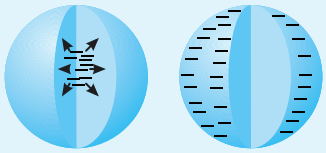
کار نیروی خارجی می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد.

در شکل روبه‌رو: $W_E<0$ ، $W_{\text{خارجی}}>0$ ، $\Delta U>0$



توزیع بار در اجسام رسانا

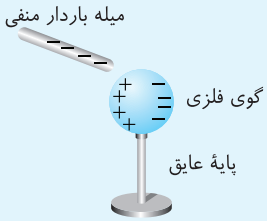
بار اضافه داده شده به یک رسانا در سطح خارجی آن توزیع می‌شود. (آزمایش فاراده)

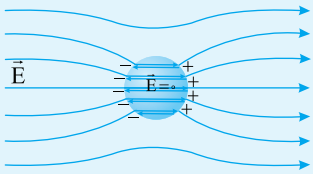


میدان الکتریکی درون رسانا در پدیده‌های الکتروستاتیک صفر است.

اگر میله‌ی بارداری را به یک رسانا نزدیک کنیم، بار الکتریکی در آن به گونه‌ای القا می‌شود که میدان درون رسانا صفر شود.

با قرار دادن یک جسم رسانا در میدان مطابق شکل القا به گونه‌ای رخ می‌دهد که میدان درون رسانا صفر می‌شود.

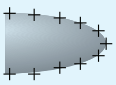




صفر بودن میدان درون رسانا و توزیع بار در سطح خارجی آن سبب می‌گردد شخص درون قفس فاراده یا شخص درون اتومبیل هنگام صاعقه آسیب نبیند.

چگالی سطحی بار: $\sigma=\frac{Q}{A}$

تراکم بار در نقاط تیز سطح جسم رسانای باردار از بقیه نقاط بیشتر است.



الگو یادآوری ۵

خازن

اسبابی برای ذخیره‌سازی الکتریسیته

ظرفیت خازن

خارج قسمت بار الکتریکی خازن به اختلاف پتانسیل دو سر آن « $C=\frac{Q}{V}$ » بار صفحات یک خازن همواره با هم برابر است.

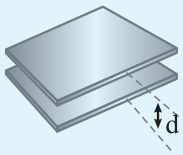
واحد ظرفیت الکتریکی خازن فاراد است « $\text{فاراد}=\frac{\text{کولن}}{\text{ولت}}$

$1\mu F=10^{-6}F$ میکروفاراد، $1nF=10^{-9}F$ نانوفاراد، $1pF=10^{-12}F$ پیکوفاراد

ظرفیت خازن ← از خصوصیات ساختمانی خازن است و به Q و V بستگی ندارد.

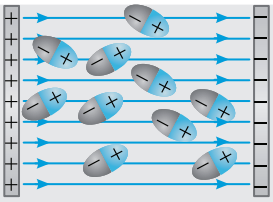
خازن تخت $C=\varepsilon_0\frac{A}{d}$، A مساحت صفحات، d فاصله‌ی صفحات

ضریب گذردهی الکتریکی خلأ

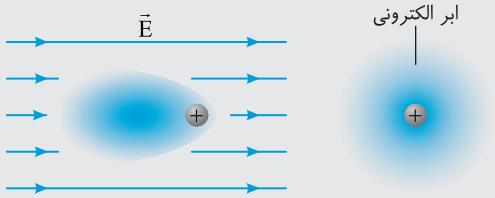


دی‌الکتریک

قطبی ← در میدان الکتریکی خازن، دو قطبی‌ها می‌کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی ردیف کنند.



غیرقطبی ← ابر الکترونی در خلاف جهت میدان جابه‌جا می‌شود. جدایی مرکز بارهای مثبت و منفی مولکول‌ها را قطبیده شدن می‌گویند.

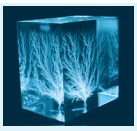


با وجود دی‌الکتریک ظرفیت خازن زیاد می‌شود. $C=\kappa C_0 \rightarrow C=\kappa\varepsilon_0\frac{A}{d}$

ثابت دی‌الکتریک

فرو ریزش الکتریکی

با حضور دی‌الکتریک بیشینه ولتاژ قابل تحمل خازن بالا می‌رود.



اگر ولتاژ دو سر خازن زیاد شود برخی از الکترون‌های اتم دی‌الکتریک توسط میدان الکتریکی کنده شده و از مسیرهای رسانای درون دی‌الکتریک می‌گذرند و خازن تخلیه می‌شود. (فروریزش الکتریکی)

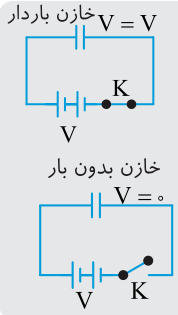
فروریزش معمولاً با ایجاد جرقه همراه است و اغلب باعث سوختن خازن می‌شود.

رابطه بین ولتاژ بیشینه و میدان بین صفحات خازن $E_m=V_m/d$

انرژی خازن

$$(U=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \leftarrow U=\frac{1}{2}CV^2) \xleftarrow{Q=CV} U=\frac{1}{2}QV \leftarrow U=\frac{0+V}{2}Q \leftarrow U=\bar{V}.Q$$

انرژی خازن همواره نصف انرژی‌ای است که مولد به مدار می‌دهد. $U_C=\frac{1}{2}U_\varepsilon$



دو نکتهٔ ساده و مهم

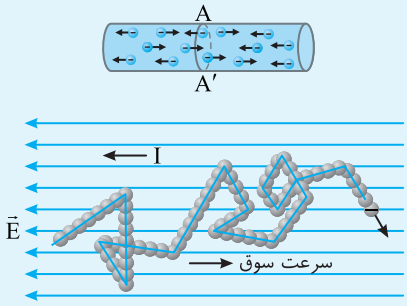
هرگاه خازن به باتری متصل و پس از شارژ از باتری جدا شود بار روی صفحات آن ثابت می‌ماند. (ثابت = Q)

هرگاه خازن به باتری متصل و شارژ باشد، اختلاف پتانسیل دو سر آن ثابت می‌ماند. (ثابت = V)

الکتریسیتهٔ جاری

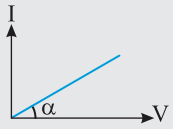
جریان الکتریکی

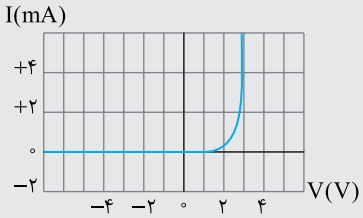
- الکترون‌ها در یک رسانا دارای حرکت کاتوره‌ای هستند.
- با اتصال سیم رسانا به باتری و برقراری اختلاف پتانسیل به دو سر سیم در آن بار شارش می‌کند و جریان برقرار می‌شود.
- با حضور باتری و اعمال میدان الکتریکی در رسانا، الکترون در خلاف جهت میدان با سرعتی متوسط موسوم به سرعت سوق که حدود $1mm/s$ است، حرکت می‌کند.
- به نسبت $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ جریان الکتریکی متوسط می‌گویند $(\bar{I}=\frac{\Delta q}{\Delta t})$ و یکای جریان آمپر است.



قانون اهم

- نسبت اختلاف پتانسیل دو سر رسانا به جریان گذرنده از آن در دمای ثابت مقدار ثابتی است که آن را مقاومت الکتریکی می‌گویند. $R=\frac{V}{I}$
- نمودار $I-V$ خط راست است، شیب این نمودار وارون مقاومت است: $\tan\alpha=\frac{1}{R}$
- این قانون برای اغلب فلزات و بسیاری از رساناهای غیرفلزی در دمای ثابت برقرار است.
- وسیله‌هایی مانند دیود نورگسیل (LED) از قانون اهم پیروی نمی‌کنند و نمودار جریان بر حسب ولتاژ آن‌ها خطی نیست.





عوامل مؤثر بر مقاومت

- مقاومت الکتریکی به طول و سطح مقطع رسانا و نیز ترکیب و ساختار آن بستگی دارد.
- $R=\rho\frac{l}{A}$
  - l طول سیم، A سطح مقطع سیم $A=\pi\frac{D^2}{4}$ و D قطر سیم ← $\frac{R_2}{R_1}=\frac{\rho_2}{\rho_1}\times\frac{l_2}{l_1}\times\frac{A_1}{A_2}$
  - ρ مقاومت ویژه و یکای آن $\Omega.m$
- هرگاه یک رسانای فلزی را از یک حدیده بگذرانیم تا با افزایش طول، سطح مقطع آن کاهش یابد به دلیل ثابت ماندن حجم $A_1l_1=A_2l_2$ است و $\frac{A_2}{A_1}=\frac{l_1}{l_2}$ خواهد بود.
- **نیم‌رسانا** ← مقاومت ویژه دسته‌ای از مواد بین مقاومت ویژه رساناها و نارساناهاست این مواد را نیم‌رسانا گویند.

تغییر مقاومت ویژه با دما

- α ضریب دمایی مقاومت ویژه، یکای آن در $(\frac{1}{K})SI$
- **رسانا**
  - در یک رسانای فلزی با افزایش دما حامل‌های بار ثابت می‌ماند اما افزایش دما سبب افزایش جنبش مولکول‌ها و افزایش مقاومت ویژه می‌شود ← $\alpha>0$
  - $\rho=\rho_0(1+\alpha\Delta T)$ ← $R=R_0(1+\alpha\Delta T)$ ← $\Delta R=R_0\alpha\Delta\theta$
- **نیم‌رسانا**
  - تعداد حامل‌های بار ناچیز است.
  - در دمای پایین نارساناست.
  - با افزایش دما تعداد حامل‌های بار افزایش می‌یابد و مقاومت ویژه نیم‌رسانا کاهش می‌یابد ← $\alpha<0$

الگو یادآوری ۲

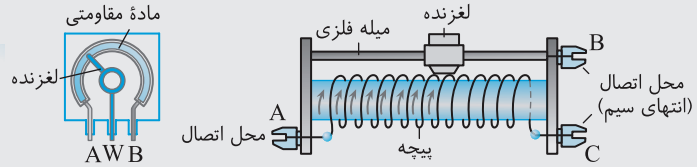
الکتریسیتهٔ جاری

انواع مقاومت‌ها

مقاومت‌های پیچه‌ای — شامل پیچه‌ای از یک سیم نازک که معمولاً جنس آن‌ها از آلیاژهای نیکروم یا منگانین که به دور ماده‌ای از جنس عایق پیچیده شده‌اند.

رئوستا

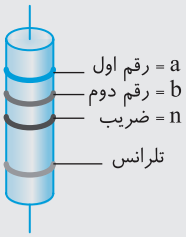
- رئوستا یک مقاومت متغیر است که از سیم با مقاومت ویژه زیاد که بر روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده ساخته می‌شود.
- در مدارهای الکترونیکی وسیله‌ای به نام پتانسیومتر نقش رئوستا دارد.



- نماد یک رئوستا یا پتانسیومتر

مقاومت‌های ترکیبی — از جنس کربن و برخی نیم‌رساناها یا فیلم‌های نازک در داخل یک پوشش پلاستیکی ساخته شده‌اند.

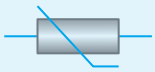
- **مقدار مقاومت:** $R = \overline{ab} \times 10^{n}$
- حلقه چهارم تلرانس است که اگر طلایی باشد، تلرانس ۵٪، اگر نقره‌ای باشد ۱۰٪ و اگر حلقه چهارم نباشد تلرانس ۲۰٪ است



مقاومت‌های خاص و دیودها

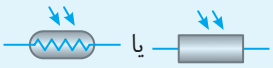
۱- ترمیستور

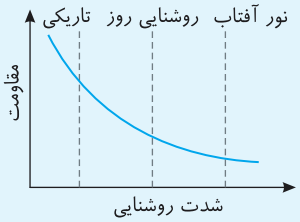
- نوعی از مقاومت که بستگی آن با دما با مقاومت‌های معمولی متفاوت است.
- **کاربرد:** در مدارهای حساس به دما مانند زنگ خطر آتش، دماپاها، دماسنج‌ها
- **NTC*** — از نیم‌رسانای خالص (Ge, Si) ساخته می‌شود.
  - با افزایش دما مقاومت آن کاهش می‌یابد.
- **PTC*** — **سیلیستور:** از سیلیسیم غیرخالص (آلاییده) ساخته شده است.
  - شبیه فلز با افزایش دما مقاومت آن افزایش می‌یابد.
  - **تعویضی:** ضریب دمایی تا پیش از دمای نقطه خاصی به نام نقطه کوری اندکی منفی و پس از آن به شدت مثبت می‌شود.
- نماد ترمیستور در مدار



۲- مقاومت‌های نور LDR

- مقاومت آن به نور تابیده بر آن بستگی دارد و با افزایش شدت نور مقاومت آن کاهش می‌یابد.
- نوعی از آن از سیلسیم خالص ساخته می‌شود که مقاومت الکتریکی این نوع برحسب شدت روشنایی (LUX) سنجیده می‌شود.
- **کاربرد:** چشم‌های الکترونیکی، دزدگیرها، کنترل‌کننده‌های خودکار، چراغ روشنایی خیابان‌ها
- نماد در مدار

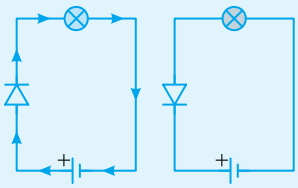




۳- دیودها

- دیود جریان را از یک سو گذر می‌دهد و از سوی دیگر جریان گذرنده از آن ناچیز است.
- نماد دیود در مدار

- دیود یکسوکننده جریان متناوب و تبدیل‌کننده آن به جریان مستقیم است.
- **LED** — دیودی است که نور گسیل می‌کند.
  - با توجه به نوع نیم‌رسانای به‌کار رفته رنگ آن از فروسرخ تا فرابنفش است.
  - نماد آن در مدار



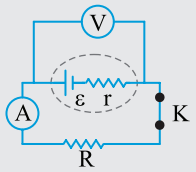
* این قسمت‌ها مربوط به فعالیت ۲-۳ صفحه ۵۹ کتاب درسی است.

الکتریسیتهٔ جاری

نیروی محرکه الکتریکی در مدارها

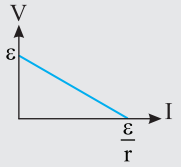
در مدار روبه‌رو با باز بودن کلید ولت‌سنج نیروی محرکه باتری (ε) را نشان می‌دهد.

با بستن کلید و برقراری جریان افت پتانسیل (Ir) در باتری رخ می‌دهد و ولتاژ دو سر باتری کاهش می‌یابد و ولت‌سنج V را نمایش می‌دهد.



$$I=\frac{\varepsilon}{R+r}\ ,\ V=\varepsilon-Ir$$

نمودار $V-I$ دو سر باتری



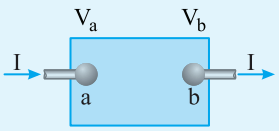
شیب این نمودار $(-r)$ و عرض از مبدأ آن ε است.

اگر با باز کردن و بستن کلید عدد ولت‌سنج تغییر نکند و $V=\varepsilon$ باشد، آن‌گاه
- مقاومت درونی ناچیز است.
- مقاومت خارجی R بسیار بزرگ است.

ظرفیت باتری مقدار باری که باتری می‌تواند به مدار دهد و یکای آن Ah است. اگر ظرفیت باتری ۱۲۰Ah باشد به معنای آن است که با جریان ۱A، باتری می‌تواند ۱۲۰h کار کند $(Q=It)$.

توان در مدارهای الکتریکی

توان الکتریکی، آهنگ تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q هنگام گذر از این بخش مدار است.



$$P=\frac{\Delta U}{t}=\frac{q\Delta V}{t}\Rightarrow P=I\Delta V$$

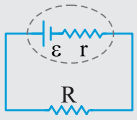
$$P=VI=\frac{V^{۲}}{R}=RI^{۲}$$

انرژی مصرفی (گرما) در مقاومت: $U=Pt\Rightarrow U=RI^{۲}t=\frac{V^{۲}}{R}t=VIt$

انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت: $۱kWh=۳/۶\times۱۰^{۶}J$

توان خروجی باتری

در مدار روبه‌رو توان خروجی باتری (یا توان مصرفی در مقاومت خارجی مدار) $P=VI$ است.

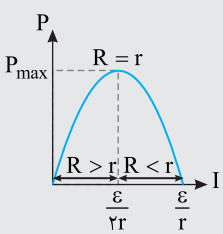


توان خروجی باتری $P=VI=(\varepsilon-Ir)I\Rightarrow P=\varepsilon I-rI^{۲}$
- εI: توان تولیدی باتری
- $rI^{۲}$: اتلاف توان در مقاومت درونی باتری
- P تابع درجه ۲ از I است و نمودار آن سهمی است.

بیشینه توان خروجی: $I_{max}=\frac{-b}{۲a}\Rightarrow I_{max}=\frac{\varepsilon}{۲r}\Rightarrow P_{max}=\frac{\varepsilon^{۲}}{۴r}$

$I=\frac{\varepsilon}{R+r}\ ,\ I_{max}=\frac{\varepsilon}{۲r}\Leftarrow$ شرط توان بیشینه $R=r$

با تغییر مقاومت خارجی مدار نمی‌توان در مورد چگونگی توان مصرفی در مدار خارجی اظهار نظر کرد.



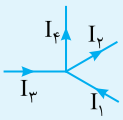
الگو یادآوری ۴

الکتریسیتهٔ جاری

قواعد حاکم بر مدارها (قوانین کیرشهوف)

قاعدهٔ حلقه ← در هر دور کامل حلقه‌ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های اجزای مدار صفر است. (قانون ولتاژهای کیرشهوف)

قاعدهٔ انشعاب ← مجموع جریان‌هایی که به هر نقطه انشعاب وارد می‌شود برابر مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطه انشعاب خارج می‌شود (قانون جریان‌ها کیرشهوف)



مثال: $I_1+I_3=I_2+I_4$

مدار تک حلقه

- یک جهت جریان اختیاری در نظر می‌گیریم.
- یک سوی چرخش در نظر می‌گیریم.
- با گذر از مقاومت در سوی جریان، IR مثبت است.
- خروج از قطب مثبت باتری (از پایانه منفی به مثبت رفتن) ε مثبت و در خروج از قطب منفی باتری ε منفی است.
- نوشتن قاعده انشعاب برای گره‌ها

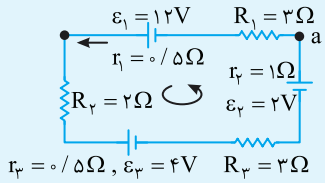
جدول قرارداد تعیین علامت اختلاف پتانسیل‌ها در یک مدار تک‌حلقه‌ای، شامل مقاومت و منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی

عنصر مدار	جهت حرکت	تغییر پتانسیل	
مقاومت	در جهت جریان	$-IR$	جهت حرکت، R، I، $\Delta V=-IR$
مقاومت	در خلاف جهت جریان	$+IR$	جهت حرکت، I، R، $\Delta V=+IR$
منبع نیروی محرکه	از پایانهٔ منفی به پایانهٔ مثبت	$+\varepsilon$	جهت حرکت، −، +، $\Delta V=+\varepsilon$
منبع نیروی محرکه	از پایانهٔ مثبت به پایانهٔ منفی	$-\varepsilon$	جهت حرکت، +، −، $\Delta V=-\varepsilon$

مثال

$$V_a-IR_1+\varepsilon_1-Ir_1-IR_2-\varepsilon_3-Ir_3-IR_3+\varepsilon_2-Ir_2=V_a$$

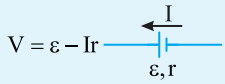
در مدار تک حلقه جریان از رابطه $I=\dfrac{\varepsilon_T}{R_{eq}+r}$ به‌دست می‌آید.



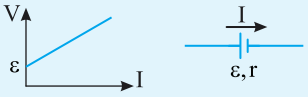
$$I=\frac{12+2-4}{8+2}=1A$$

نیروی محرکه باتری‌هایی که جریان‌های آن‌ها هم‌سو است با هم جمع می‌شوند و اگر جریان‌ها ناهمسو باشد نیروی محرکه‌ها از هم کم می‌شود.

باتری که در مدار جریان برقرار می‌کند مولد است و ولتاژ دو سر آن $V=\varepsilon-Ir$ است، مانند ε_1 و ε_2 در مدار بالا



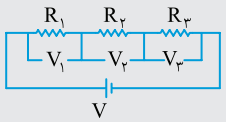
باتری که جریان مدار از قطب مثبت آن وارد شود مصرف کننده است و ولتاژ دو سر آن $V=\varepsilon+Ir$ است مانند ε_3.



به هم بستن مقاومت‌ها

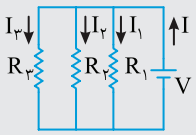
متوالی

$$V=V_1+V_2+V_3,\quad I=I_1=I_2=I_3 \rightarrow IR=IR_1+IR_2+IR_3 \rightarrow R_{eq}=R_1+R_2+R_3$$



موازی

$$V=V_1=V_2=V_3,\quad I=I_1+I_2+I_3 \rightarrow \frac{V}{R}=\frac{V}{R_1}+\frac{V}{R_2}+\frac{V}{R_3} \rightarrow \frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$$

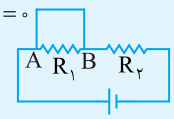


- دو مقاومت: $R_{eq}=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}$
- n مقاومت یکسان: $R_{eq}=\dfrac{R_1}{n}$
- مقاومت معادل مقاومت‌های موازی از کوچک‌ترین مقاومت موازی کوچک‌تر است.
- مقاومت کمتر » جریان عبوری بیشتر » جریان به نسبت وارون مقاومت‌ها تقسیم می‌شود.

الگو یادآوری ۵

الکتریسیتهٔ جاری

اتصال کوتاه ← هرگاه دو نقطه از مدار را با یک سیم بدون مقاومت به هم وصل کنیم اختلاف پتانسیل بین دو نقطه صفر می‌شود.



$V_{AB} = 0$ (اتصال کوتاه)

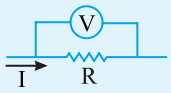
در مقاومت‌های سری که جریان‌ها برابر است توان با مقاومت نسبت مستقیم دارد. $\frac{P_2}{P_1}=\frac{R_2}{R_1}$

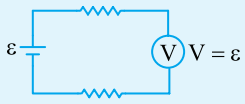
در مقاومت‌های موازی که ولتاژها برابر است توان با مقاومت نسبت وارون دارد. $\frac{P_2}{P_1}=\frac{R_1}{R_2}$

اتصال به برق شهر
- تمام وسایل برق شهر به‌جز فیوز و کنتور به صورت موازی به برق متصل می‌شوند.
- یک اتو با مشخصات $(1000W, 220V)$ دارای مقاومت الکتریکی کمتری نسبت به یک لامپ با مشخصات $(100W, 220V)$ است.

وسایل اندازه‌گیری

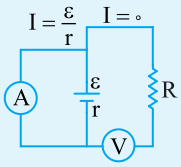
ولت‌سنج
- وسیله‌ای برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین دو نقطه
- مقاومت ولت‌سنج ایده‌آل بسیار زیاد است و از شاخه شامل ولت‌سنج جریان نمی‌گذرد.
- ولت‌سنج به طور موازی در مدار قرار می‌گیرد.
- اگر ولت‌سنج در مداری مطابق شکل، متوالی بسته شود نیروی محرکه باتری را نمایش می‌دهد.





آمپرسنج
- وسیله‌ای برای اندازه‌گیری جریان
- مقاومت آمپرسنج ایده‌آل ناچیز است.
- آمپرسنج به طور متوالی در مدار قرار می‌گیرد.
- اگر آمپرسنج به طور موازی در مدار قرار گیرد شبیه اتصال کوتاه عمل می‌کند و جریان زیادی از آن می‌گذرد و ممکن است آسیب ببیند.

- در مدار روبه‌رو ولت‌سنج و آمپرسنج اشتباه بسته شده و اگر آمپرسنج آسیب نبیند عدد $I=\frac{\varepsilon}{r}$ و ولت‌سنج عدد صفر را نمایش می‌دهد.



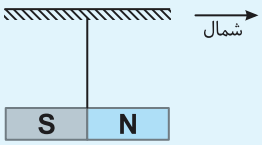
الگو یادآوری ۱

مغناطیس

مفاهیم اولیه

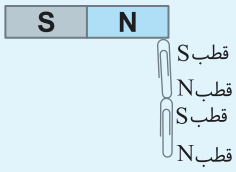
آهنربا به هر شکلی که باشد دو ناحیه دارد که خاصیت مغناطیسی در آن‌ها بیشتر است، به این دو ناحیه قطب‌های مغناطیسی (آهنربا) گفته می‌شود.

اگر آهنربای میله‌ای را با ریسمانی از مرکز آویزان کنیم، یک سر آن به سوی شمال قرار می‌گیرد که آن را قطب N و سر دیگر به سمت جنوب قرار می‌گیرد که آن را قطب S می‌نامیم.

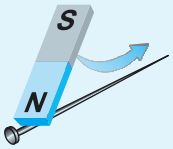


تمام آهنرباها دارای قطب S و N هستند حتی اگر یک آهنربا را به تکه‌های کوچک تبدیل کنیم، در واقع تاکنون تک‌قطبی مغناطیسی نداشته‌ایم.

هنگامی‌که یک گیره آهنی جذب آهنربا می‌شود خود دارای خاصیت آهنربایی شده و گیره دیگر را جذب می‌کند به این خاصیت، القای مغناطیسی گویند. آهن، نیکل، کبالت و آلیاژهایی از آن‌ها دارای این ویژگی هستند.



وقتی یکی از قطب‌های آهنربای دائمی را چندین بار و در یک جهت به یک سوزن ته‌گرد بکشید سوزن برای مدتی آهنربا می‌شود. در شکل روبه‌رو نوک سوزن قطب S می‌شود.



میدان مغناطیسی ← به خواص فضای اطراف یک جسم مغناطیسی که در این فضا به اجسام مغناطیسی نیرو وارد می‌کند میدان مغناطیسی گویند.

- کمیت برداری است، یکای SI آن تسلا (T) است.
- یکای قدیمی آن گاؤس است. $1G = 10^{-4}T$

خطوط میدان مغناطیسی

خطوطی فرضی که برای تجسم و رسم میدان مغناطیسی از آن‌ها استفاده می‌شود.

خطوط میدان در خارج از آهنربا از N خارج و به S وارد می‌شود.

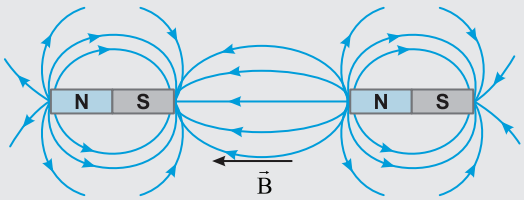
خطوط میدان درون آهنربا از S به N است.

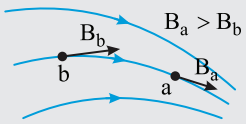
بردار $\vec{B}$ (میدان مغناطیسی) در هر نقطه بر خطوط میدان مماس است.

تراکم خطوط میدان نشان‌دهنده قوی‌تر بودن میدان است.

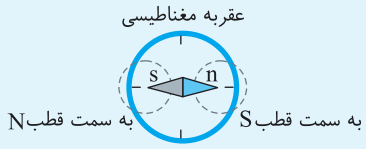
خطوط میدان بسته هستند زیرا تک‌قطبی مغناطیسی نداریم.

خطوط میدان هیچ‌گاه هم را قطع نمی‌کنند.

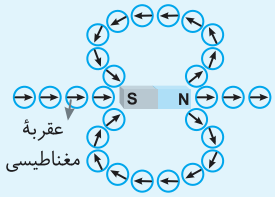




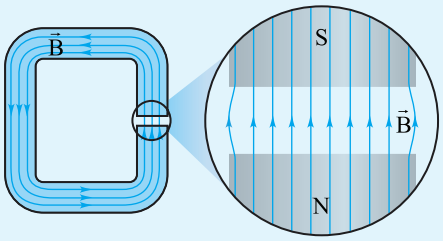
عقربهٔ مغناطیسی ← وسیله‌ای برای تشخیص جهت میدان مغناطیسی



تعیین جهت میدان مغناطیسی به کمک عقربه مغناطیسی



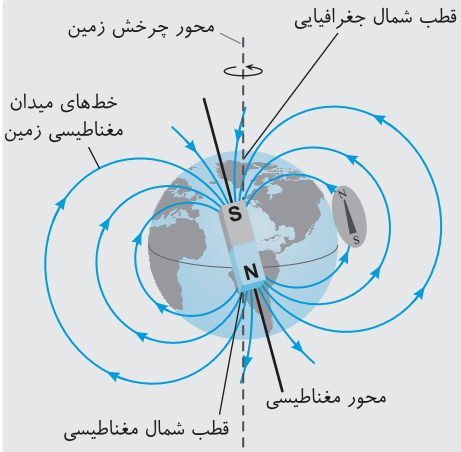
میدان مغناطیسی یکنواخت ← هرگاه در نقاط مختلف ناحیه‌ای از فضا جهت و اندازه میدان یکسان باشد.



مغناطیس

میدان مغناطیسی زمین

- زمین یک آهنربای بزرگ است که قطب S آن در شمال و قطب N آن در جنوب قرار دارد.
- جهت میدان مغناطیسی زمین از جنوب به شمال است.
- قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی زمین برهم منطبق نیست.
- عقربه مغناطیسی قطب‌نما در نمایش قطب شمال جغرافیایی دارای انحراف است.
- قطب جنوب مغناطیسی در فاصله تقریبی ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد.



- **شیب مغناطیسی** ← زاویه‌ای که یک سوزن مغناطیسی آویزان با سطح افقی می‌سازد.
- برای رسم جهت میدان مغناطیسی زمین می‌توان به دو روش زیر عمل کرد:

روش اول: شمال، شرق ⊗ غرب، جنوب — جهت درونسو رو به پایین

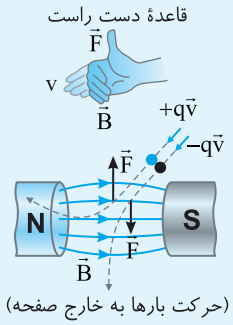
روش دوم: بالا، شرق ⊗ غرب، پایین — جهت درونسو جهت شمال

نیروی مغناطیسی

ذره باردار متحرک

اندازه نیرو $|F|=qvB\sin\theta$

- $F(N)$ نیرو، $v(\frac{m}{s})$ سرعت، $q(C)$ بار الکتریکی
- $B(T)$ میدان مغناطیسی، θ زاویه بین $\vec{v}$ و $\vec{B}$
- بزرگی سرعت ذره باردار در میدان مغناطیسی همواره ثابت است و کار میدان روی بار متحرک صفر است و انرژی جنبشی بار ثابت است.



جهت نیرو (قاعده دست راست)

- چهار انگشت باز در جهت سرعت v
- خم کردن در جهت طبیعی جهت میدان B
- انگشت شست در جهت نیرو
- اگر بار منفی باشد جهت نیرو را وارون می‌کنیم البته می‌توان از دست چپ استفاده کرد.

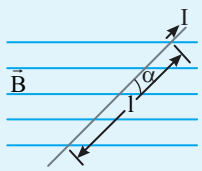
اگر بار در امتداد میدان حرکت کند نیرویی بر بار وارد نمی‌شود.

سیم حامل جریان

اندازه نیرو $|F|=IlB\sin\alpha$

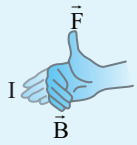
- $F(N)$ نیرو، $I(A)$ جریان، $B(T)$ میدان مغناطیسی
- $l(m)$ طول سیم، α زاویه بین سیم و میدان مغناطیسی

هرگاه سیم در راستای خط‌های میدان باشد نیرویی بر آن وارد نمی‌شود.



جهت نیرو (قاعده دست راست)

- **چهار انگشت:** سوی جریان، کف دست و خم کردن انگشتان: جهت میدان، انگشت شست: جهت نیرو

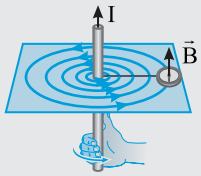


الگو یادآوری ۳

میدان مغناطیسی حاصل از جریان

سیم راست حامل جریان

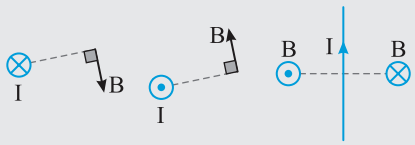
خطوط میدان به‌صورت دایره‌های هم‌مرکزی به مرکز سیم هستند.



قاعده دست راست

شست در سوی جریان، خم کردن چهار انگشت سوی خطوط میدان

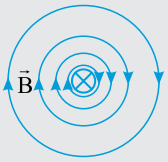
نکته: همواره میدان مغناطیسی در یک نقطه بر خط واصل آن نقطه و سیم حامل جریان عمود است.



با افزایش جریان میدان مغناطیسی در اطراف سیم میدان قوی‌تر می‌شود.

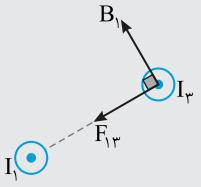
با نزدیک شدن به سیم میدان مغناطیسی افزایش یافته خطوط میدان به هم نزدیک‌تر می‌شود.

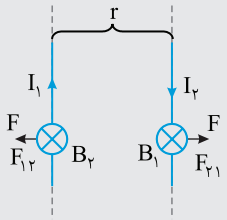
به شکل روبه‌رو نگاه کنید.



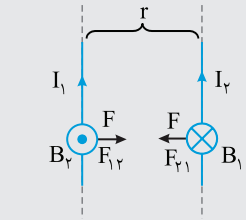
کاربرد: مغناطیس‌سنج‌های بسیار حساس برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی حاصل از مغز را اسکوییدگویند.

نیروی بین دو سیم موازی حامل جریان





ب) اگر جریان‌ها ناهمسو باشند، نیروی بین دو سیم رانشی مغناطیسی است.



الف) اگر جریان‌ها همسو باشند، نیروی بین دو سیم ربایشی مغناطیسی است.

علت نیروی بین دو سیم همان‌گونه که در شکل‌ها مشخص است ایجاد میدان مغناطیسی هر سیم در محل سیم دیگر است که این میدان بر سیم حامل جریان نیرو وارد می‌کند.

حلقه (پیچه مسطح)

اندازه میدان $B_{(T)}=\frac{\mu_0 NI}{2R}$: R شعاع حلقه‌ها، N تعداد حلقه‌ها، I جریان

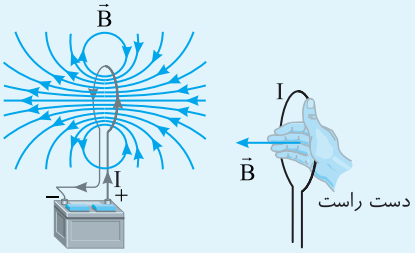
تراوایی مغناطیسی خلأ $\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ \frac{T.m}{A}$

خط‌های میدان درون حلقه به یکدیگر نزدیک‌تر و میدان قوی‌تر است.

میدان روی محور حلقه موازی محور حلقه

جهت میدان (قاعده دست راست)

انگشت شست: سوی جریان، چهار انگشت به درون حلقه: جهت میدان



سیملوله

سیملوله آرمانی: قطرحلقه‌های سیملوله نسبت به طول آن بسیار کوچک و حلقه‌ها خیلی به هم نزدیک هستند.

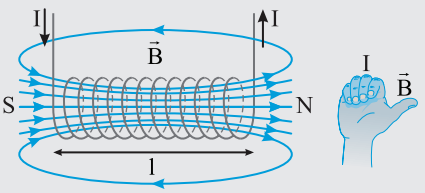
اندازه میدان $B=\mu_0\frac{N}{l}I$

جهت میدان (قاعده دست راست)

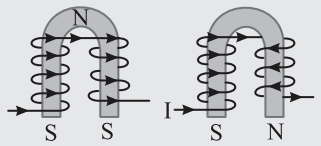
چهار انگشت: در سوی چرخش جریان، انگشت شست: جهت میدان و قطب N سیملوله

با قرار دادن هسته آهنی میدان مغناطیسی درون سیملوله افزایش می‌یابد.

میدان درون سیملوله یکنواخت و خط‌های میدان با فاصله‌های یکسان از هم و موازی هم هستند.



مثال:



ویژگی‌های مغناطیسی مواد

مواد مغناطیسی ← موادی که اتم‌ها و مولکول‌های سازنده آن‌ها خاصیت مغناطیسی دارند.

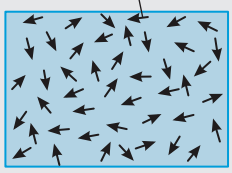
← کوچک‌ترین ذره‌های تشکیل‌دهنده این مواد نیز آهنربا بوده و مانند دوقطبی مغناطیسی رفتار می‌کند.

تقسیم‌بندی مواد از نظر مغناطیسی

پارامغناطیسی

- اتم‌های مواد مغناطیسی، خاصیت مغناطیسی دارند.
- آرایش دوقطبی‌های این مواد کاتوره‌ای است و میدان مغناطیسی خالص ایجاد نمی‌کنند.
- در میدان مغناطیسی قوی بعضی از دو قطبی‌های آن در جهت میدان قرار می‌گیرند و هرچه میدان قوی‌تر باشد دو قطبی‌های بیشتری هم‌جهت میدان می‌شوند.
- با حذف میدان ماده پارامغناطیسی به حالت اول برمی‌گردد.
- اورانیوم، پلاتین، آلومینیوم، سدیم، اکسیژن و اکسید نیتروژن

هر ذره سازنده مواد پارامغناطیسی یک آهنربای میکروسکوپی است.



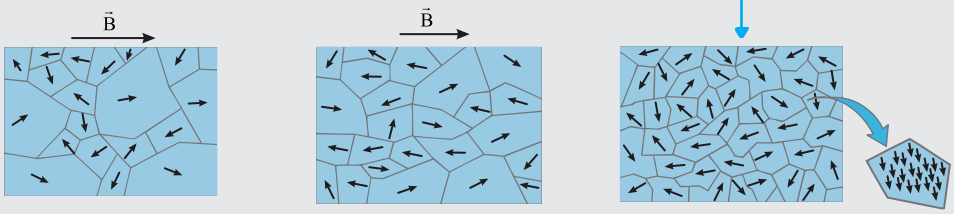
دیامغناطیسی

- این مواد به طور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیسی‌اند.
- هیچ‌یک از اتم‌های این مواد، دارای دوقطبی مغناطیسی خالص نیستند.
- در این مواد در حضور میدان مغناطیسی خارجی در اثر القا دوقطبی‌های مغناطیسی در خلاف جهت میدان خارجی ایجاد می‌شود.
- مس، نقره، سرب، بیسموت

فرومغناطیسی

- اتم‌های آن‌ها به‌طور ذاتی دارای دوقطبی هستند.
- در اثر برهم‌کنش‌های قوی بین دوقطبی مغناطیسی در این مواد دوقطبی‌ها در ناحیه‌ای به نام حوزه‌های مغناطیسی همسو می‌شوند.
- این مواد در میدان مغناطیسی آهنربا می‌شوند.

طرز قرار گرفتن حوزه‌ها در میدان



دسته‌بندی مواد فرومغناطیسی

نرم

- حوزه‌ها به راحتی جابه‌جا شده و به راحتی مغناطیسی می‌شود.
- با حذف میدان نیز به سرعت خاصیت خود را از دست می‌دهند.
- آهن، نیکل و کبالت خالص

سخت

- مرز حوزه‌ها به سختی جابه‌جا می‌شود و جسم سخت‌تر از فرومغناطیسی نرم خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کند.
- با حذف میدان مغناطیسی به سختی خاصیت خود را از دست می‌دهد.
- آلیاژهای آهن، نیکل و کبالت

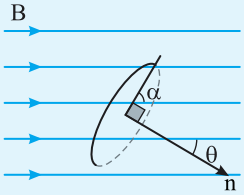
الگو یادآوری

۱

القای الکترومغناطیسی

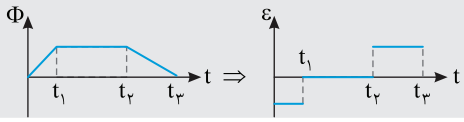
شار مغناطیسی

- شار مغناطیسی یک کمیت نرده‌ای است.
- شار مغناطیسی که از سطح یک حلقه در میدان مغناطیسی یکنواخت می‌گذرد: $\Phi = BA\cos\theta$
  - Φ: شار مغناطیسی یکای آن وبر
  - B: میدان مغناطیسی (T)
  - A: مساحت سطح حلقه (m^2)
  - θ: زاویهٔ بین خطوط میدان و نیم‌خط عمود بر سطح
    - θ: متمم زاویه‌ای است که سطح با خط‌های میدان می‌سازد. $(\theta = 90 - \alpha)$
  - برای هر سطح دو جهت برای رسم نیم‌خط عمود وجود دارد که با اختیار یکی از جهت‌ها، نباید تا پایان مسأله آن را تغییر دهیم.



قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

- هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است.
- **رابطهٔ قانون القا** $\bar{\varepsilon} = -N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
- جریان متوسط القایی گذرنده در مقاومت R: $\bar{I} = \dfrac{\bar{\varepsilon}}{R} \Rightarrow \bar{I} = -\dfrac{N}{R}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
- بار گذرنده از هر مقطع مدار در اثر تغییر شار: $|\Delta q| = \dfrac{N}{R}\Delta\Phi$
- شیب نمودار شار - زمان برابر منفی نیروی محرکه القایی در یک حلقه $(N=1)$ است.
- **مثال:**

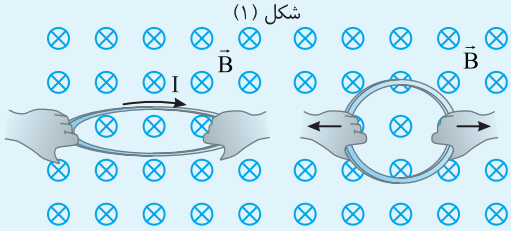


روش‌های تغییر شار

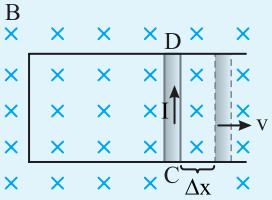
۱ **تغییر میدان مغناطیسی**: با حرکت یک آهنربا به سوی یک پیچه، میدان در محل پیچه تغییر کرده و جریان القایی به‌وجود می‌آید.

شکل (۱)

۲ **تغییر سطح** (ΔA): با کشیدن دو طرف حلقه سطح آن کاهش می‌یابد که سبب تغییر شار و باعث ایجاد نیرو محرکه القایی می‌شود.



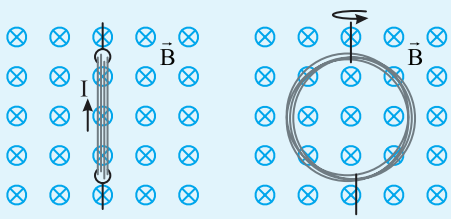
بررسی یک حالت خاص: در شکل روبه‌رو با حرکت سیم CD بر سیم رسانای U شکل در یک میدان مغناطیسی به دلیل تغییر سطح مدار، نیروی محرکهٔ القایی به‌وجود می‌آید.



شکل (۲)

- **رابطهٔ نیروی محرکه**: $\bar{\varepsilon} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\varepsilon} = -\dfrac{B\Delta A}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\varepsilon} = -\dfrac{Bl(\Delta x)}{\Delta t} \Rightarrow |\varepsilon| = Blv$
- **قاعده دست راست برای جریان القایی** **چهار انگشت**: v، کف دست: B، انگشت شست: I

۳ **تغییر** θ: زاویه بین سطح مدار و خطوط میدان



الگو یادآوری

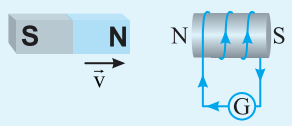
۲

القای الکترومغناطیسی

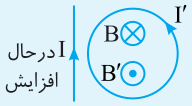
قانون لنز

جریان حاصل از نیروی محرکهٔ القایی در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن با عامل به‌وجود آورنده‌اش یعنی تغییر شار مغناطیسی، مخالفت می‌کند.

مثال‌هایی از کاربرد قانون لنز



حرکت آهنربا ← افزایش B ← ایجاد جریان ← مخالفت جریان با حرکت آهنربا ← قطب N در سمت چپ سیملوله ← جریان القایی مطابق شکل

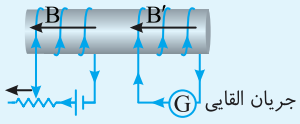


میدان درونسوی B

B′ القایی ناهمسو با

$B\uparrow \Rightarrow B$

جریان القایی پادساعتگرد



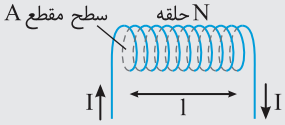
حرکت لغزنده به سمت چپ، افزایش مقاومت ← کاهش جریان ← کاهش میدان ← میدان سیملوله سمت راست مطابق شکل

خود - القاوری

هرگاه از یک سیملوله جریان متغیری بگذرد، در آن نیروی محرکه‌ای القا می‌شود که با تغییر جریان مخالفت می‌کند. این نیروی محرکه را نیرو محرکه القایی، سیملوله را القاگر و این پدیده را اثر خود - القاوری گویند.

نماد مداری القاگر، است.

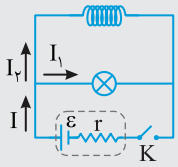
ضریب القاوری ← **تعیین‌کننده**: ویژگی‌های فیزیکی هر القاگر $L=\mu_0 \frac{AN^2}{l}$



- عوامل مؤثر بر L، تعداد دور N، طول l و سطح القاگر A و جنس هسته درون آن
- یکای SI ضریب القاوری، هانری (H) است. $(1\,H=\Omega.s)$

انرژی ذخیره شده در میدان القاگر با ضریب القاوری L: $U=\frac{1}{2}LI^2$

مثالی از اثر خود- القاوری ←



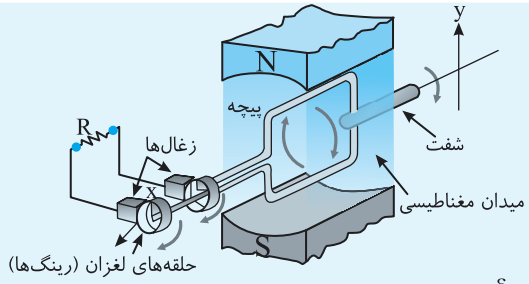
- لحظه وصل کلید ← لامپ روشن ← $I=I_1$ و $I_2=0$
- پس از ثبات جریان
  - اگر $R_L=0 \leftarrow I=I_2 \leftarrow I_1=0$ و لامپ خاموش می‌شود.
  - اگر $R_L\neq 0 \leftarrow I=I_1+I_2 \leftarrow$ لامپ با نور کمتر روشن می‌ماند.
- لحظه قطع کلید ← لامپ پرنور و به آرامی خاموش می‌شود.

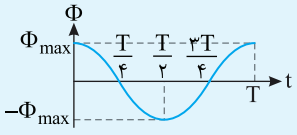
جریان متناوب (ac)

تغییر زاویه θ

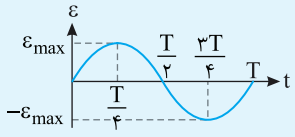
با چرخش قاب، θ تغییر کرده و تغییر شار سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی می‌شود که جریان حاصل از آن سینوسی بوده و به آن جریان متناوب می‌گویند.

نماد مولد جریان متناوب

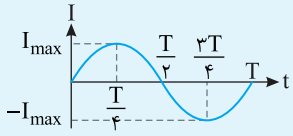




$\Phi=BA\cos\frac{2\pi}{T}t$



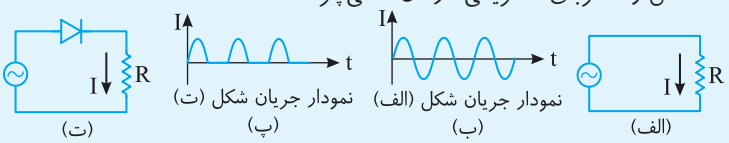
$\varepsilon=\varepsilon_m\sin\frac{2\pi}{T}t$



$I=I_m\sin\frac{2\pi}{T}t$

در مولدهای صنعتی جریان متناوب، پیچه‌ها ساکن و آهنربای الکتریکی در آن‌ها می‌چرخد.

یکسو کردن جریان متناوب توسط دیود:



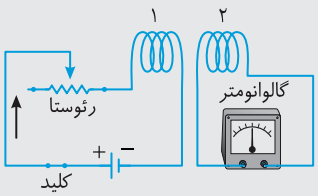
(الف) (ب) نمودار جریان شکل (الف) (پ) نمودار جریان شکل (ت) (ت)

الگو یادآوری ۳

القای الکترومغناطیسی

القای متقابل

هـرگاه دو پیچـه مجاور هم بوده و از یکی از آن‌هـا جریان متغیر بگذرد در پیچه دیگر جریان القایی به‌وجود می‌آید.



تذکر مهم

- اگر جریان در L_1 پیوسته باشد، در L_2 جریان القایی ایجاد نمی‌شود.
- اگر جریان در L_1 متغیر و تابع خطی از زمان باشد، جریان القایی در L_2 ثابت است.
- اگر جریان در L_1 متغیر و تابع درجه ۲ از زمان باشد، جریان القایی در L_2 متغیر و خطی است.
- اگر جریان در L_1 سینوسی باشد، جریان القایی L_2 کسینوسی است.

مبدل‌ها

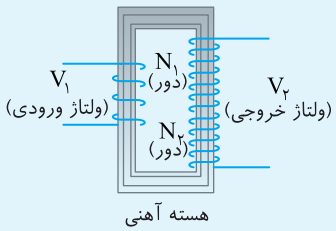
کاربرد مهندسی القای متقابل در مبدل‌ها (ترانسفورماتورها) است.

رابطهٔ مبدل‌ها $\frac{N_2}{N_1}=\frac{V_2}{V_1}$

$N_2>N_1 \Rightarrow V_2>V_1 \Rightarrow$ مبدل افزاینده

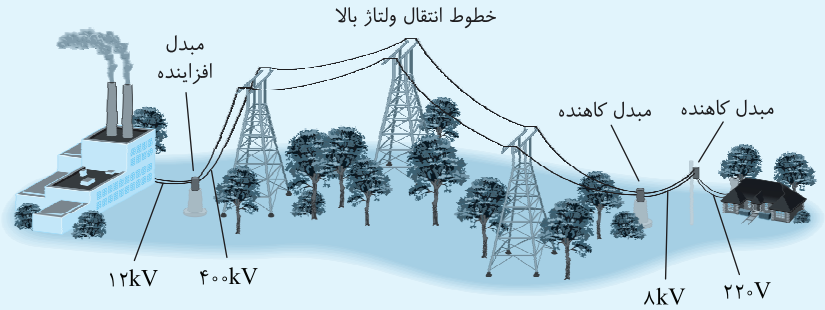
$N_2<N_1 \Rightarrow V_2<V_1 \Rightarrow$ مبدل کاهنده

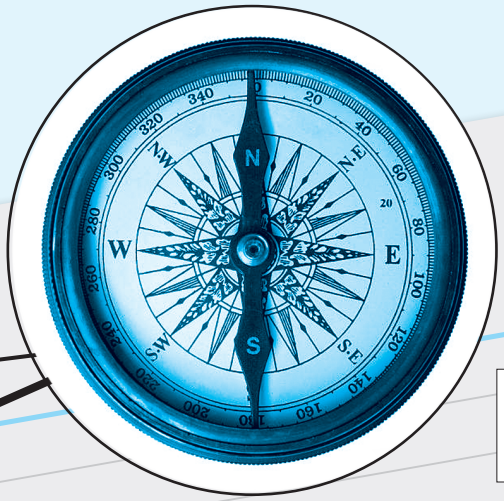
مبدل‌ها در جریان متناوب (ac) کار می‌کنند.



یکـی از مزیت‌های جریـان متناوب ac بر جریان dc کاهش و افزایش ولتاژ به کمک مبدل‌ها اسـت. در توزیع برق از نیروگاه به خانه‌ها ابتدا با مبدل در نیروگاه ولتاژ را افزایش می‌دهند و در ورودی شهرها ولتاژ را با مبدل کاهش می‌دهند و قبل از توزیع در خانه‌ها مجدداً با یک مبدل ولتاژ را کاهش می‌دهند.

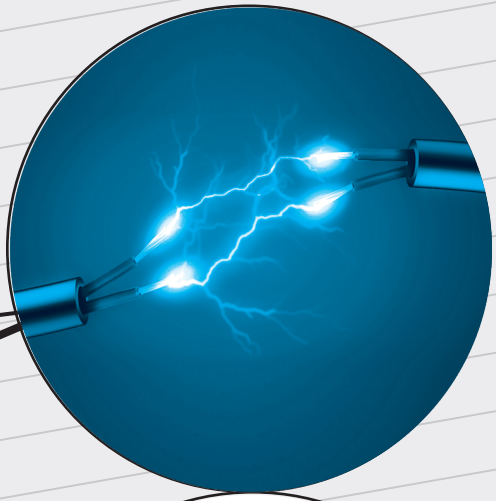
تغییر ولتاژ توسط مبدل‌ها باعث کاهش اتلاف توان در خطوط انتقال برق است.

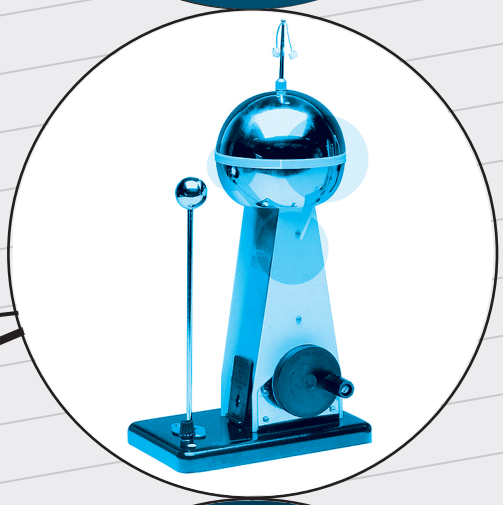


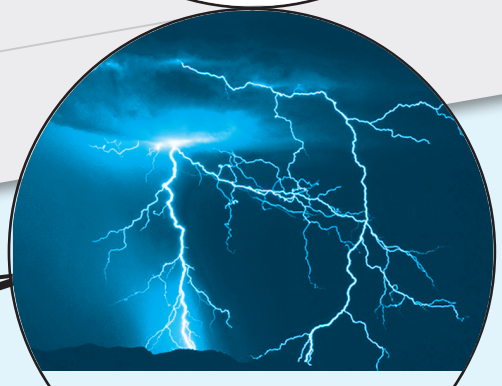


درسنامه‌های درختی

فیزیک ۳







الگو یادآوری

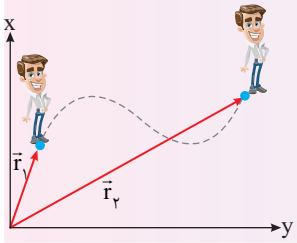
۱

حرکت بر خط راست (مشخصه‌های حرکت)

مکان

بردار مکان ($\vec{r}$)

- برداری که مبدأ مکان را به مکان متحرک وصل می‌کند.
- کمیتی برداری است. $(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$



بردار جابه‌جایی ($\vec{d}$)

- برداری است که مکان اولیهٔ متحرک را به مکان نهایی آن وصل می‌کند.
- کمیتی برداری است.
- به مسیر حرکت بستگی ندارد.

مسافت طی‌شده (l)

- طول مسیر حرکت را مسافت طی‌شده گویند.
- به مسیر حرکت بستگی دارد.
- کمیتی نرده‌ای است.
- نکته ۱: مسافت طی‌شده متحرک مساوی و یا بزرگ‌تر از اندازه جابه‌جایی است: $l \geq |\vec{d}|$
- ۲: اگر متحرک روی خط راست و بدون تغییر جهت حرکت کند: $l = |\vec{d}|$

معادلهٔ حرکت

- معادلهٔ مکان - زمان حرکت است: $x = f(t)$
- مثلاً $x = t^2 - 4t + 5$

مبدأ مکان $x = 0$	مکان اولیه (مبدأ حرکت) $x = f(t=0)$

- به ازای $x > 0$ بردار مکان مثبت (بردار مکان در جهت مثبت محور x است.)
- به ازای $x < 0$ بردار مکان منفی (بردار مکان خلاف جهت محور x است.)
- تغییر جهت بردار مکان در لحظه‌ای است که مکان متحرک صفر شود $(x = 0)$ و علامت و جهت بردار مکان تغییر کند.

بازهٔ زمان

- n ثانیهٔ mام: $t_1 = nm - n$ تا $t_2 = nm$
- مثلاً دو ثانیهٔ سوم: $t_1 = 2 \times 3 - 2 = 4s$ تا $t_2 = 2 \times 3 = 6s$
- ثانیهٔ nام: $t_1 = n - 1$ تا $t_2 = n$
- مثلاً ثانیهٔ پنجم: $t_1 = 4s$ تا $t_2 = 5s$

حرکت بر خط راست (مشخصه‌های حرکت)

سرعت - تندی

سرعت متوسط: جابه‌جایی تقسیم بر بازهٔ زمانی:

$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \quad (\Delta \vec{x} \to m,\ \Delta t \to s,\ \vec{v}_{av} \to m/s)$$

کمیتی برداری و هم‌جهت با بردار جابه‌جایی است.

اگر متحرک به مکان اولیهٔ خود باز گردد: $\Delta x = 0 \Rightarrow v_{av} = 0$

تندی متوسط: مسافت طی‌شده تقسیم بر بازهٔ زمانی

$$s_{av} = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (\Delta l \to m,\ \Delta t \to s,\ s_{av} \to m/s)$$

کمیتی نرده‌ای است.

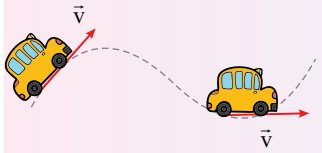
کمیتی همواره مثبت است.

نکته ۱) تندی متوسط همواره بزرگ‌تر یا مساوی اندازهٔ سرعت متوسط است: $s_{av} \geq |v_{av}|$

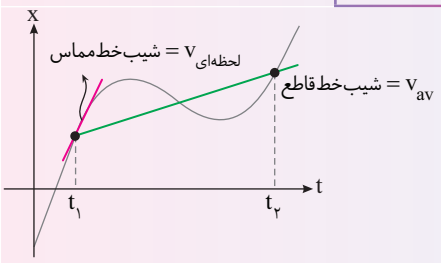
۲) در یک حرکت روی خط راست اگر متحرک تغییر جهت ندهد: $s_{av} = v_{av}$

سرعت لحظه‌ای: سرعت متحرک در هر لحظه بوده و کمیتی برداری است.

تندی لحظه‌ای: تندی متحرک در هر لحظه بوده و برابر اندازهٔ سرعت است.



جهت سرعت متحرک در هر لحظه مماس برمسیر متحرک است.



سرعت متوسط در نمودار $x-t$ ← شیب خط قاطع بین دو لحظهٔ t_1 تا t_2 در نمودار $x-t$ است.

سرعت لحظه‌ای در نمودار $x-t$ ← شیب خط مماس بر نمودار $x-t$ در هر لحظه است.

معادلهٔ سرعت - زمان: تابعی است که در هر لحظه سرعت متحرک را مشخص می‌کند: $v = f(t)$

مثلاً: $v = t^2 - 4t + 5$

سرعت متحرک مشخص کنندهٔ جهت حرکت متحرک است.
- $v > 0$: متحرک در جهت محور x در حال حرکت است.
- $v < 0$: متحرک در خلاف جهت محور x در حال حرکت است.

تغییر جهت حرکت: لحظه‌ای است که سرعت متحرک صفر شده و علامت آن تغییر می‌کند.

شتاب (a)

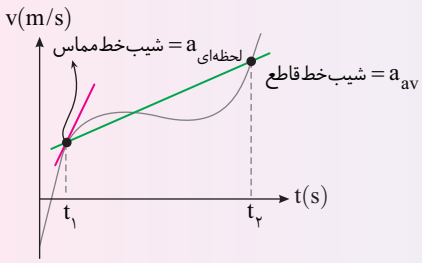
شتاب متوسط: آهنگ تغییر سرعت است:

$$\vec{a}_{av}(m/s^2) = \frac{\Delta \vec{v} \to m/s}{\Delta t \to s}$$

کمیتی برداری است و اندازهٔ آن برابر شیب خط قاطع نمودار $v-t$ است.

شتاب لحظه‌ای: شتاب متحرک در هر لحظه است.

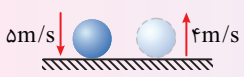
کمیتی برداری است و اندازهٔ آن برابر شیب خط مماس بر نمودار $v-t$ است.



نوع حرکت
- حرکت تندشونده: $\vec{a}$ و $\vec{v}$ هم‌جهت باشند $\Leftarrow av > 0$
- حرکت کندشونده: $\vec{a}$ و $\vec{v}$ خلاف جهت هم باشند $\Leftarrow av < 0$

نکته ۱) جهت شتاب متوسط هم‌جهت با بردار تغییر سرعت است.

۲) در محاسبهٔ شتاب متوسط باید به جهت سرعت دقت کنیم، به طور مثال در شکل روبه‌رو اگر گوی با سرعت $5m/s$ به زمین برخورد کرده و با سرعت $4m/s$ به سمت بالا برگردد، تغییر سرعت برابر است با:



$$\Delta \vec{v} = +4\vec{j} - (-5\vec{j}) = +9\vec{j}$$

حرکت بر خط راست (دو حرکت خاص)

سرعت ثابت

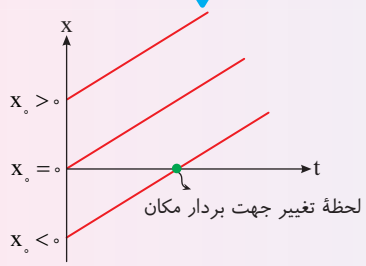
حرکتی که در آن، اندازه و جهت سرعت ثابت است.

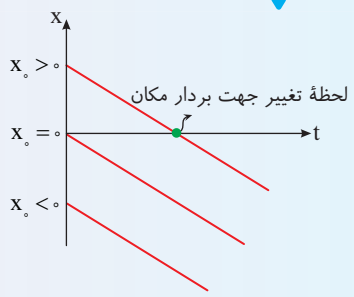
- $v_{av} = v_{\text{لحظه‌ای}}$
- جهت حرکت ثابت و بدون تغییر است.
- شتاب لحظه‌ای و شتاب متوسط صفر است.

معادلهٔ مکان - زمان: $x = vt + x_\circ \Rightarrow \Delta x = vt$

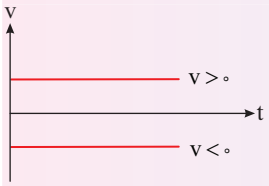
(x: مکان متحرک در هر لحظه، v: سرعت متحرک، $x_\circ$: مکان اولیه)

نمودار مکان - زمان: شیب خط ثابت و برابر سرعت متحرک است.





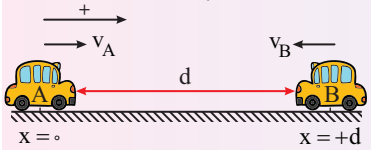
نمودار سرعت - زمان:



حرکت چند مرحله‌ای: اگر متحرک در چند بازهٔ زمانی Δt_1، Δt_2 و ... جابه‌جایی‌های Δx_1، Δx_2 و ... را با سرعت‌های v_1، v_2 و ... طی کند:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \cdots} \Rightarrow v_{av} = \frac{v_1\Delta t_1 + v_2\Delta t_2 + \cdots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \cdots} \quad , \quad v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots}{\frac{\Delta x_1}{v_1} + \frac{\Delta x_2}{v_2} + \cdots}$$

حرکت دو متحرک با سرعت ثابت: در بررسی حرکت دو متحرک نوشتن معادلهٔ حرکت مهم است. برای این کار جهت مثبت اختیاری (معمولاً به سمت راست) و مبدأ مکان اختیاری (معمولاً مکان اولیهٔ یکی از متحرک‌ها) را باید مشخص کنیم.



$$\begin{cases} x_A = v_A t + \circ \\ x_B = -v_B t + d \end{cases}$$

شتاب ثابت

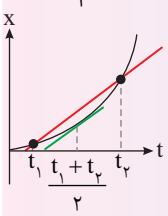
حرکتی که در آن آهنگ تغییر سرعت (شتاب) ثابت است و شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای متحرک با هم برابر است.

معادلهٔ حرکت	معادلهٔ سرعت - زمان	معادلهٔ مستقل از شتاب	معادلهٔ مستقل از زمان
$x = \frac{1}{2}at^2 + v_\circ t + x_\circ$	$v = at + v_\circ$	$\Delta x = \frac{v_1 + v_2}{2}\Delta t$	$v_2^2 - v_1^2 = 2a\Delta x$

فرمول‌های جانبی

سرعت متوسط:

- در بازهٔ صفر تا t: $v_{av} = \frac{1}{2}at + v_\circ$ ، $v_{av} = \frac{v_1 + v_2}{2}$
- در حرکت با شتاب ثابت سرعت متوسط در بازهٔ t_1 تا t_2 با سرعت در لحظهٔ $\frac{t_1 + t_2}{2}$ برابر است.



شتاب ثابت

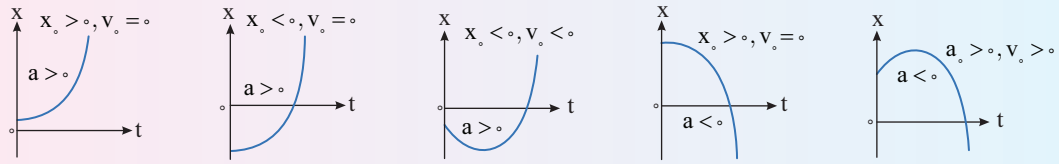
فرمول‌های جانبی ← مدت زمان و جابه‌جایی توقف متحرک

$$\Delta t_{\text{توقف}} = \frac{v_0}{|a_{\text{ترمز}}|} \qquad \Delta x_{\text{توقف}} = \frac{v_0^2}{|2a_{\text{ترمز}}|}$$

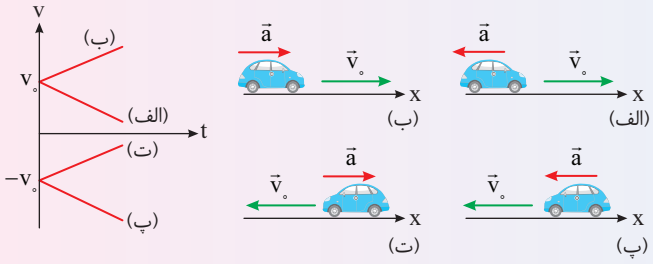
جابه‌جایی در ثانیهٔ t ام: $\Delta x(\text{ام } t) = \frac{1}{2}a(2t-1)+v_0$

جابه‌جایی‌ها در ثانیه‌های متوالی تصاعد حسابی با قدر نسبت a تشکیل می‌دهند.

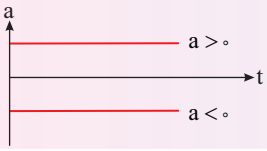
نمودار مکان - زمان: جهت دهانهٔ نمودار علامت شتاب را مشخص می‌کند.



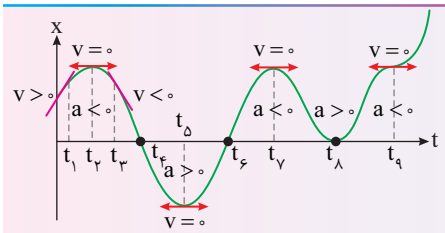
نمودار سرعت - زمان: شیب خط مماس بر این نمودار شتاب را مشخص می‌کند.



نمودار شتاب - زمان



نمودار مکان - زمان



شیب خط مماس بر نمودار برابر سرعت لحظه‌ای است.
- در بازه‌ای که نمودار صعودی بوده یا زاویهٔ خط مماس برنمودار با جهت مثبت محور زمان حاده است: $v>0$
- در بازه‌ای که نمودار نزولی بوده یا زاویهٔ خط مماس بر نمودار با جهت مثبت محور زمان منفرجه است: $v<0$
- در قله و درهٔ نمودار: $v_{t_2}=v_{t_5}=v_{t_7}=v_{t_8}=v_{t_9}=0$

شیب خط قاطع بین دو لحظه برابر سرعت متوسط است.

محل تلاقی نمودار با محور زمان « لحظهٔ گذر از مبدأ t_4 و t_6 » لحظهٔ تغییر جهت بردار مکان

در لحظهٔ t_8 به مبدأ می‌رسد و از آن نمی‌گذرد » جهت بردار مکان تغییر نمی‌کند.

جهت دهانه نمودار
- رو به بالا شتاب مثبت $a>0$
- رو به پایین شتاب منفی $a<0$

با تشخیص علامت سرعت و شتاب از روی نمودار می‌توان نوع حرکت را مشخص کرد.
- در لحظهٔ t_1، $av<0$ کندشونده
- در لحظهٔ t_3، $av>0$ تندشونده

به تعداد نقاط قله و درهٔ نمودار، علامت سرعت و جهت حرکت تغییر می‌کند.

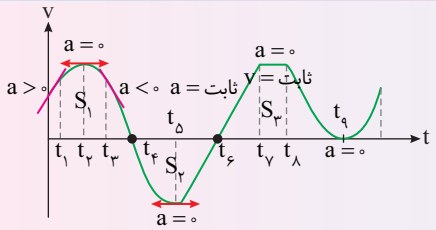
در t_2، t_5، t_7، t_8 متحرک تغییر جهت می‌دهد، در t_9 جسم به طور لحظه‌ای متوقف شده امّا علامت سرعت تغییر نمی‌کند و متحرک تغییر جهت نمی‌دهد.

حرکت‌شناسی در یک بعد (ویژگی‌های نمودارها)

الگو یادآوری ۵

حرکت‌شناسی در یک بعد (ویژگی‌های نمودارها)

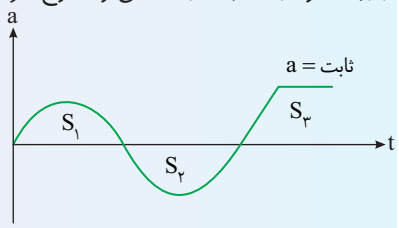
نمودار سرعت - زمان



- شیب خط مماس بر نمودار برابر شتاب لحظه‌ای
  - در بازه‌ای که نمودار صعودی است یا زاویه خط مماس بر نمودار با جهت مثبت محور زمان حاده است: $a > ۰$
  - در بازه‌ای که نمودار نزولی است یا زاویه خط مماس بر نمودار با جهت مثبت محور زمان منفرجه است: $a < ۰$
  - در نقاط قله و درهٔ نمودار: $a_{t_۵} = a_{t_۲} = ۰$
- شیب خط قاطع بین دو لحظه برابر شتاب متوسط است.
- در محل تلاقی نمودار $v-t$ با محور زمان
  - تغییر جهت سرعت (حرکت) مانند لحظه‌های $t_۴$ و $t_۶$
  - عدم تغییر جهت سرعت (حرکت) مانند لحظهٔ $t_۹$
- سطح محصور بین نمودار و محور زمان
  - $\text{جابه‌جایی} = S_۱ + S_۲ + S_۳ + \cdots$ ، $S_۱, S_۳ > ۰$ ، $S_۲ < ۰$
  - $\text{مسافت}^{۱} = |S_۱| + |S_۲| + |S_۳| + \cdots$
- در بازه‌ای که
  - نمودار به محور زمان نزدیک می‌شود حرکت متحرک کندشونده است.
  - نمودار از محور زمان دور می‌شود حرکت متحرک تندشونده است.

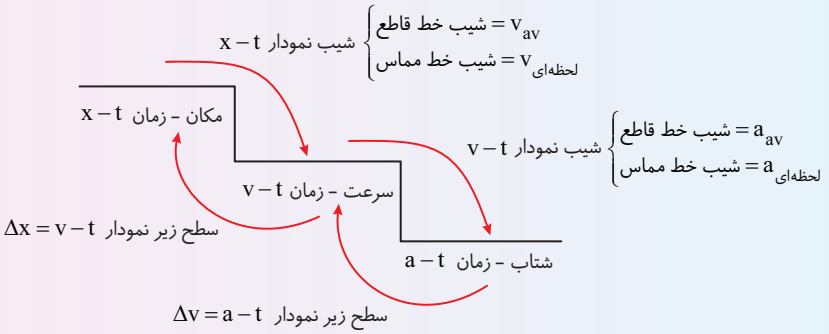
نمودار شتاب - زمان

از روی نمودار شتاب - زمان نمی‌توان نوع حرکت را مشخص کرد مگر آن که سرعت اولیه مشخص باشد.



سطح محصور بین نمودار شتاب - زمان و محور زمان برابر تغییرات سرعت است. $\Delta v = S_۱ + S_۲ + S_۳$ ، $S_۱, S_۳ > ۰$ ، $S_۲ < ۰$

جمع‌بندی



۱- می‌دانیم سطح مثبت است تنها برای نمادگذاری از این روش استفاده کرده‌ایم.

الگو یادآوری

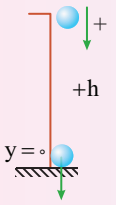
۶ سقوط آزاد

- در مسیر سقوط آزاد، جسم تنها تحت تأثیر نیروی وزن است.
- این حرکت نمونهٔ خوبی از حرکت با شتاب ثابت است.
- شتاب سقوط تمام اجسام در شرایط خلأ یکسان است و به جرم جسم بستگی ندارد.
  - یک پَر و یک گلوله در شرایط خلأ با یک شتاب سقوط می‌کنند.
  - اگر ارتفاع رها شدن دو جسم از سطح زمین یکسان باشد، در شرایط خلأ دو جسم با هم به زمین می‌رسند و تندی برخورد آن‌ها به زمین یکسان است.

رابطه‌های اصلی

- رابطه‌های سقوط آزاد همان رابطه‌های حرکت با شتاب ثابت بدون سرعت اولیه است.

جهت مثبت رو به پایین

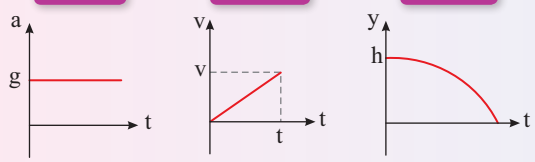


$y=\frac{۱}{۲}gt^{۲}$

$v=gt$

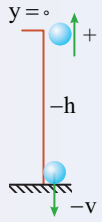
$v_y^{۲}=۲gy$

نمودارها



a−t v−t y−t

جهت مثبت رو به بالا

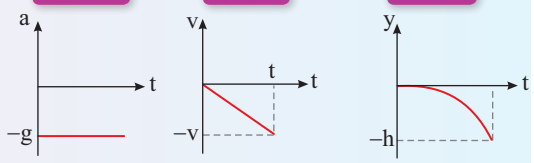


$y=-\frac{۱}{۲}gt^{۲}$

$v=-gt$

$v_y^{۲}=-۲gy$

نمودارها



a−t v−t y−t

الگو یادآوری

۱

دینامیک

علم بررسی علل سکون و حرکت اجسام به کمک نیروهای وارد بر آن‌ها را دینامیک گویند.

نیرو: برهم‌کنش دو جسم را نیرو گویند. ← نیرو کمیتی است برداری و دارای اندازه و جهت است.

اثر نیرو: تغییر تندی جسم، تغییر جهت سرعت و تغییر شکل جسم

قوانین حرکت نیوتون

قانون اول نیوتون

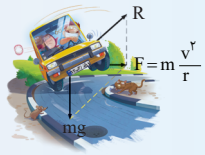
یک جسم حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگر آنکه نیروی خالص غیر صفری به آن وارد شود.

اگر نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند $(F_{net}=0)$
- جسم ساکن، ساکن می‌ماند (تعادل ایستایی)
- جسم متحرک به حرکت با سرعت ثابت ادامه می‌دهد (تعادل جنبشی)

لختی تمایل اجسام به حفظ وضع موجود را لَختی (اینرسی) گویند.

مثال

- انحراف سرنشین در پیچ جاده به دلیل لختی و تمایل به حرکت روی خط راست



- کشیدن سریع مقوا از زیر سکه و سقوط سکه در لیوان در اثر لختی

- حرکت سریع دست و پاره شدن نخ پایینی در اثر لختی وزنه

قانون دوم نیوتون

هرگاه بر جسم نیروی خالصی وارد شود، جسم در جهت نیرو شتابی می‌گیرد که با نیرو نسبت مستقیم و با جرم جسم نسبت وارون دارد.

$$\vec{F}_{net}=m\vec{a} \Leftarrow \vec{a}=\vec{F}_{net}/m$$

در کاربرد قانون دوم نیوتون، ابتدا تمام نیروهای وارد بر جسم را رسم می‌کنیم و برایند آن‌ها را مساوی $m\vec{a}$ قرار می‌دهیم.

تذکر! $m\vec{a}$ نیرو نیست بلکه نیروی خالص وارد بر جسم برابر جرم جسم در شتاب آن است.

قانون سوم نیوتون

هر گاه جسم A بر جسم B نیروی F را وارد کند، جسم B نیز بر جسم A نیرویی هم اندازه F و در خلاف جهت وارد می‌کند. $(F_{AB}=-F_{BA})$

نیروهای کنش و واکنش بر دو جسم مختلف وارد می‌شوند و بررسی برایند آن‌ها غیرفیزیکی است.

نمونه‌هایی از قانون سوم نیوتون

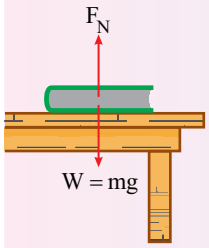
- راه رفتن: زمین را به عقب هل می‌دهیم زمین به ما رو به جلو نیرو وارد می‌کند و ما جلو می‌رویم.
- عامل رانش موشک به جلو: موشک به گازهای خروجی نیرو وارد می‌کند و گازها نیروی رو به جلو به موشک وارد می‌کنند.
- شلیک گلوله از تفنگ سبب می‌گردد که گلوله به جلو برود و تفنگ به عقب لگد بزند.

مثالی از تحلیل واکنش نیروهای وارد بر جسم

نیروهای وارد بر کتاب ← نیروی وزن و نیروی عمودی سطح

W از طرف کره زمین بر جسم وارد می‌شود و واکنش W نیرویی است که از طرف جسم به کرهٔ زمین وارد می‌شود.

F_N نیرویی که سطح میز بر کتاب رو به بالا وارد می‌کند، واکنش F_N توسط کتاب بر سطح میز رو به پایین وارد می‌شود.



نیروهای خاص

وزن

وزن یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که از طرف زمین به جسم وارد می‌شود $(\vec{W}=m\vec{g})$

جهت نیروی وزن همواره در امتداد قائم و به طرف مرکز زمین است.

مقاومت شاره

نیرویی که در اثر حرکت جسم در شاره، از سوی شاره و در خلاف جهت حرکت جسم به جسم وارد می‌شود $(\vec{f}_D)$.

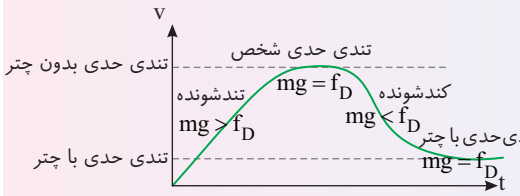
بعضی از عوامل مؤثر در مقاومت شاره ← بزرگی و شکل جسم

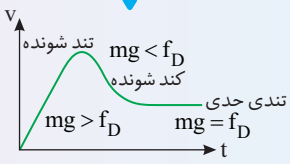
تندی جسم ← هرچه تندی بیشتر شود، مقاومت هوا (شاره) بیشتر می‌شود.

تندی حدی ← با افزایش تندی، لحظه‌ای فرا می‌رسد که نیروی وزن و نیروی مقاومت هوا برابر می‌شود $(f_D=W)$ و حرکت جسم با تندی ثابتی به نام تندی حدی ادامه می‌یابد.

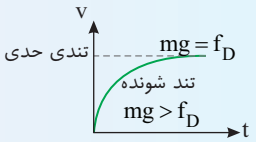
تندی حدی چترباز $5m/s$ و قطرهٔ باران $7m/s$ است.

حرکت چترباز





نمودار تندی - زمان وقتی ابتدا چترباز پرش آزاد دارد و سپس چترش را باز می‌کند.

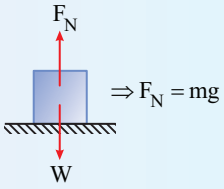


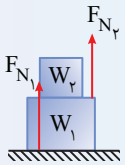
نمودار تندی - زمان وقتی از ابتدا چتر باز است.

نیروی عمودی سطح

نیرویی که از طرف سطح، عمود بر سطح در جهت جسم بر جسم وارد می‌شود (F_N).

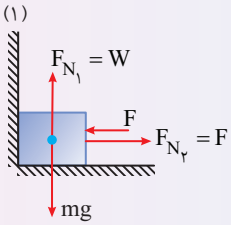
مثال

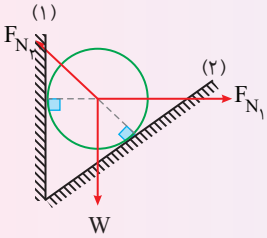




$F_{N_2}=W_2$

$F_{N_1}=W_1+W_2$





نکته نیروسنج همواره نیروی عمودی سطح را نشان می‌دهد.

آسانسور ← سرعت ثابت $F_N=W$

حرکت رو به بالا: $F_N-mg=ma$ ($a>0$ تندشونده، $a<0$ کندشونده)

حرکت رو به پایین: $mg-F_N=ma$ ($a>0$ تندشونده، $a<0$ کندشونده)

پاره شدن کابل آسانسور ← سقوط آزاد ← شتاب g ← $F_N=0$

ترازو عدد صفر را نشان می‌دهد.

نیروهای خاص

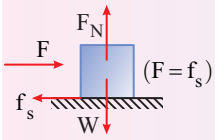
اصطکاک

هر گاه دو جسم که با یکدیگر در تماس‌اند بخواهند نسبت به هم حرکت کنند، بین آن‌ها یک نیروی تماسی ایجاد می‌شود که با حرکت آن‌ها نسبت به هم مخالفت می‌کند. این نیرو را اصطکاک گویند.

نیروی اصطکاک به جنس سطح دو جسم و زبری و نرمی آن‌ها و ... بستگی دارد.

نیروی اصطکاک برای دویدن، راه رفتن، ترمز کردن و ... مفید است.

اصطکاک ایستایی ← بر جسم نیرو وارد می‌شود و جسم حرکت نمی‌کند. در این حالت اصطکاک بین جسم و سطح، اصطکاک ایستایی است (f_s).

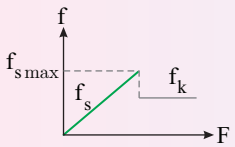


← این اصطکاک مقدار ثابتی ندارد.

← بیشینه اصطکاک ایستایی: اصطکاک در آستانهٔ حرکت $f_{s_{max}}=\mu_s F_N$ ، $f_s<f_{s_{max}}$

اصطکاک جنبشی این اصطکاک، وقتی جسم در حال حرکت روی سطح است، ظاهر می‌شود (f_k).

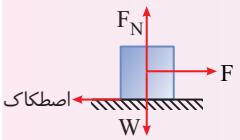
← $f_k=\mu_k F_N$



μ_s ضریب اصطکاک ایستایی، μ_k ضریب اصطکاک جنبشی ← $\mu_k<\mu_s$

بررسی اصطکاک

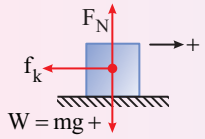
اگر $F<f_k$ ← $F<f_{s_{max}}$ جسم ساکن می‌ماند ← اصطکاک ایستایی $(f_s=F)$



اگر $F=f_{s_{max}}$ ← جسم ساکن می‌ماند ← اصطکاک آستانهٔ حرکت $F=F_{s_{max}}=\mu_s F_N$

اگر $F>f_{s_{max}}$ ← جسم به حرکت در می‌آید ← اصطکاک جنبشی: $f_k=\mu_k F_N$

پرتاب جسم با سرعت اولیه



جسم نیروی جلوبری ندارد

← $F_{net}=ma\Rightarrow -\mu_k mg=ma\Rightarrow a=-\mu_k g$

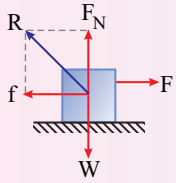
این شتاب به جرم جسم بستگی ندارد.

مسافت توقف $\Delta x=\dfrac{v_0^2}{2\mu_k g}$ ← به جرم بستگی ندارد.

زمان توقف $\Delta t=\dfrac{v_0}{\mu_k g}$ ← به جرم جسم بستگی ندارد.

نیروی سطح

نیرویی که سطح بر جسم وارد می‌کند (R).

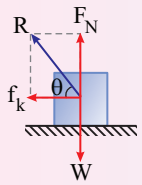


این نیرو دارای دو مؤلفهٔ نیروی عمودی سطح (F_N) و نیروی اصطکاک (f) است.

اگر جسم در اثر نیروی F همچنان ساکن بماند $R=\sqrt{f_s^2+F_N^2}$

اگر جسم به حرکت در آید. $R=\sqrt{f_k^2+F_N^2}$

زاویهٔ بین نیروی سطح و امتداد افقی: $\tan\theta=\dfrac{F_N}{f_k}=\dfrac{F_N}{\mu_k F_N}\Rightarrow \tan\theta=\dfrac{1}{\mu_k}$ (جسم در حال حرکت)



← این زاویه به اندازهٔ نیروی عمودی سطح بستگی ندارد.

اگر سطح بدون اصطکاک باشد، نیروی سطح وارد بر جسم همان نیروی عمودی سطح است. $f_{\text{اصطکاک}}=0\Rightarrow R=F_N$

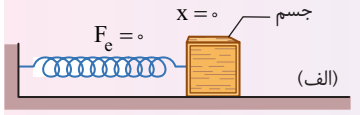
نیروهای خاص

نیروی کشسانی فنر

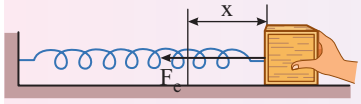
هر گاه بخواهیم طول یک فنر را تغییر دهیم (فنر را بکشیم یا فشرده کنیم)، فنر با اعمال نیرویی با تغییر طولش مخالفت می‌کند، این نیرو را نیروی کشسانی فنر گویند.

یادمان باشد برای کشیدگی و فشردگی فنر باید از دو طرف فنر به آن نیرو وارد شود.

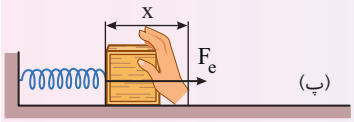
همواره نیروی کشسانی فنر به سمت حالت طبیعی آن است.



(الف)



(ب)



(پ)

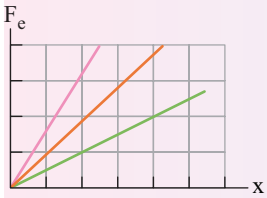
قانون هوک: $|F_e| = k|x| \Leftarrow F_e = -kx$

تغییر طول فنر از طول طبیعی‌اش

ثابت فنر (N/m)

به اندازه، شکل و ساختار ماده‌ای که فنر از آن ساخته شده بستگی دارد.

شیب نمودار $F_e - x$

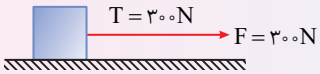


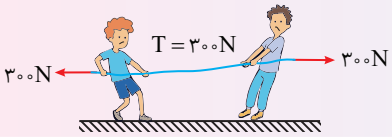
کشش طناب

برابر نیرویی است که در صورت پاره شدن در محل پارگی باید وارد شود تا نخ در وضعیت اولیهٔ کشیدگی باقی بماند.

کشش یک طناب که جرم ناچیز دارد در تمام نقاط آن یکسان است.

نیروی کشش طناب در دو شکل روبه رو ۳۰۰N است.





تکانه و قانون دوم نیوتون

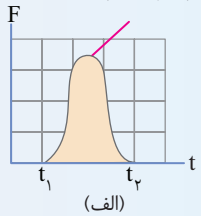
حاصل‌ضرب جرم در سرعت جسم را تکانه گویند. $\vec{P} = m\vec{v}$، کمیت برداری است.

رابطهٔ نیرو و تغییر تکانه: $\vec{F}_{net} = m\vec{a} = m\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow \vec{F}_{net} = \dfrac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$

آهنگ تغییر تکانه برابر نیروی وارد بر جسم است (بیان دیگر قانون دوم نیوتون).

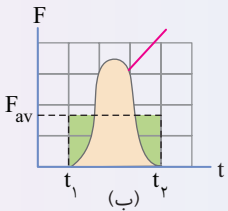
سطح محصور بین نمودار نیرو - زمان و محور زمان برابر تغییر تکانه است.

تغییر تکانه برابر با مساحت سطح زیر نمودار نیرو- زمان است.

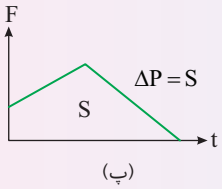


(الف)

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



(ب)



(پ)

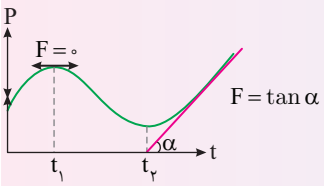
رابطهٔ تکانه و انرژی جنبشی $(K = \frac{۱}{۲}mv^۲, P = mv) \rightarrow K = \dfrac{P^۲}{۲m}$

ویژگی‌های نمودار $(P-t)$

شیب خط مماس بر نمودار برابر بزرگی نیرو است.

در نقاط max و min نیرو صفر است.

از صفر تا $t_۱$ حرکت تندشونده، از $t_۱$ تا $t_۲$ کندشونده، از $t_۲$ به بعد تندشونده

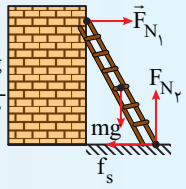


الگو یادآوری

۵ تعادل

هر گاه نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند، جسم در حال تعادل است.

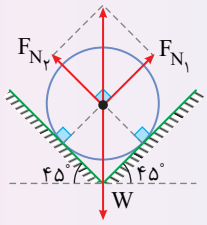
دیوار بدون اصطکاک



$F_{N_1} = f_s$

$F_{N_2} = mg$

$R = \sqrt{f_s^2 + W^2}$



$F_{N_1}^2 + F_{N_2}^2 = W^2$

$F_{N_1} = F_{N_2}$

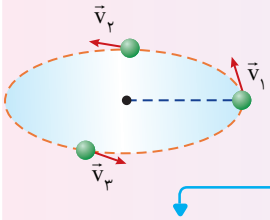
اگر نردبان در آستانهٔ حرکت باشد

$F_{N_1} = f_{s_{max}}$

حرکت دایره‌ای

مفاهیم اولیه

حرکت دایره‌ای، حرکتی است روی یک مسیر خمیده (دایره) بنابراین این حرکت، شتابدار است.



دوره ← مدت زمان لازم برای پیمودن یک دور محیط دایره را دوره می‌نامیم (T).

مثال

- دوره عقربه ثانیه‌شمار: $T_s = 60s = 1\,min = \frac{1}{60}h$
- دوره عقربه دقیقه‌شمار: $T_m = 1h = 60\,min = 3600s$
- دورهٔ عقربه ساعت‌شمار: $T_h = 12h = 720\,min = 43200s$

بسامد ← تعداد دورها در مدت ۱s (f).

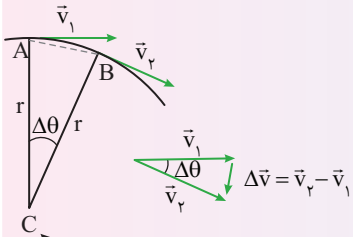
تعداد دور بر دقیقه (rpm) ← ۵۰rpm یعنی ۵۰ دور در مدت یک دقیقه

سینماتیک حرکت دایره‌ای

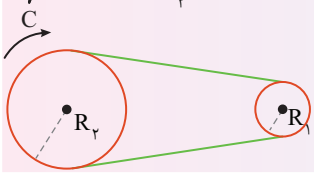
سرعت

در هر نقطه بر مسیر حرکت مماس است.

اندازه سرعت (تندی): ذره در مدت یک دوره (T) محیط دایره $(2\pi r)$ را طی می‌کند: $v = \frac{2\pi r}{T}$



یک مثال مهندسی از انتقال حرکت در حرکت دایره‌ای:



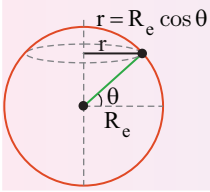
$v_1 = v_2 \Rightarrow \frac{2\pi R_2}{T_2} = \frac{2\pi R_1}{T_1}$

نقاط کره زمین

دوره چرخش تمام نقاط کرهٔ زمین به حول محور زمین ۲۴h است.

در دوران زمین حول محورش، تندی نقاط در نزدیک استوا از تندی نقاط نزدیک قطب بیشتر است.

به زاویهٔ θ، مدار یا عرض جغرافیایی گویند.



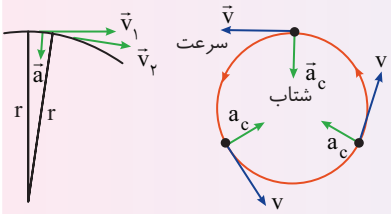
شتاب

شتاب مرکزگرا در امتداد شعاع و رو به مرکز است.

اندازهٔ شتاب مرکزگرا

$a_c = \frac{v^2}{r}$

$a_c = r(\frac{4\pi^2}{T^2})$



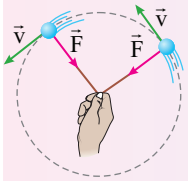
۶ دینامیک دایره‌ای

نیرو

در حرکت دایره‌ای یکنواخت، نیروی خالص وارد بر جسم در امتداد شعاع و رو به مرکز است که آن را **نیروی مرکزگرا** گویند.

جهت نیروی مرکزگرا دائماً در حال تغییر است، بنابراین نیروی مرکزگرا یک نیروی متغیر است حتی اگر اندازهٔ آن ثابت باشد.

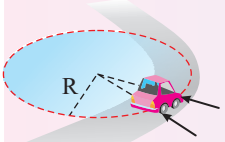
اندازهٔ نیروی مرکزگرا: $F=m\frac{v^2}{r}$ و $F=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$



مثال‌هایی از نیروی مرکزگرا

عبور از پیچ افقی ← نیروی مرکزگرا نیروی اصطکاک ایستایی است ← $f_s=m\frac{v^2}{R}$

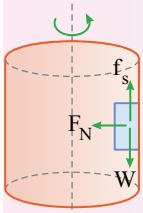
بیشینه تندی برای گذر از پیچ ← $f_{s_{max}}=m\frac{v^2}{R}\Rightarrow \mu_s mg=m\frac{v^2}{R}\Rightarrow v=\sqrt{\mu_s Rg}$



نیروهای اصطکاک ایستایی

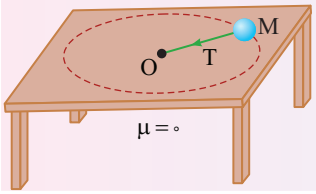
استوانه دوار ← جسم روی دیوارهٔ یک استوانه دوار قرار دارد.

- نیروی عمودی سطح نیروی مرکزگرا $F_N=mr(\frac{4\pi^2}{T^2})$
- نیروی اصطکاک ایستایی برابر نیروی وزن $f_s=W$



جسم متصل به ریسمان

- نیروی کشش نخ نیروی مرکزگرا است.
- $T=m\frac{v^2}{r}$



نیروی گرانش

گرانش

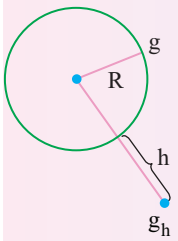
تمام اجرام بر هم نیروی ربایشی وارد می‌کنند که به آن نیروی گرانشی گویند.

قانون گرانش عمومی نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل‌ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مربع فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر نسبت وارون دارد.

$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$ ← G ثابت گرانش عمومی $G=6/67\times10^{-11}Nm^2/kg^2$

میدان گرانشی

- خاصیتی در فضای اطراف هر جرم که بر اجرام دیگر نیرو وارد می‌کند.
- برابر نیروی وارد بر یکای جرم جسم $(\vec{g}=\frac{\vec{F}}{m})$ است که به آن **شتاب گرانشی** نیز می‌گویند.
- در سطح سیاره $g=G\frac{M}{R^2}$ ، M جرم سیاره، R شعاع سیاره
- در ارتفاع h از سطح سیاره $g=G\frac{M}{(R+h)^2}$



ماهواره

نیرویی که ماهواره را در مدار خود نگه می‌دارد نیروی گرانش زمین (وزن ماهواره) است که همان نیروی مرکزگرا است. $m\frac{v^2}{r}=G\frac{M_e m}{r^2}$

سرعت ماهواره r فاصله از مرکز زمین « $v^2=\frac{GM_e}{r}\xrightarrow{GM_e=R_e^2g}v^2=\frac{R_e^2g}{r}$ « $\boxed{v=R_e\sqrt{\frac{g}{r}}}$ « $r=R_e+h$ « $\boxed{v=R_e\sqrt{\frac{g}{R_e+h}}}$

دوره « $v=r\omega$ « $T=\frac{2\pi r}{v}$ « $T=\frac{2\pi}{R_e\sqrt{\frac{g}{r}}}$ « $T=\frac{2\pi}{R_e}\sqrt{\frac{r^2}{g}}$ « $T^2=\frac{4\pi^2}{R_e^2g}$ « $T^2\propto r^2$

الگو یادآوری

۱

حرکت نوسانی

مفاهیم اولیه

نوسان دوره‌ای نوسان‌ها می‌توانند دوره‌ای یا غیردوره‌ای باشند.

- در نوسان‌های دوره‌ای، نوسان‌ها در هر دوره تکرار می‌شوند.
- به نوسان‌های سینوسی، حرکت هماهنگ ساده (SHM) گویند.

حرکت هماهنگ ساده حرکت روی یک پاره‌خط در دو طرف نقطه‌ای در وسط مسیر (حالت تعادل، مرکز نوسان، مبدأ).

در این حرکت یک نیروی برگرداننده وجود دارد که همواره رو به مرکز نوسان است.

دوره (T) زمان یک نوسان کامل

بسامد (f) تعداد نوسان در یکای زمان

$$f(Hz)=\frac{1}{T(s)}$$

بُعد یا مکان (x) فاصله از مبدأ (مرکز نوسان، حالت تعادل)

دامنه بیشینه بُعد $x_m=\pm A$، به نقاط $\pm A$ نقاط بازگشت گویند.

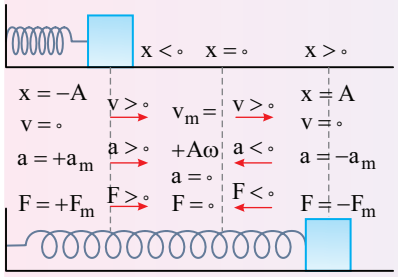
- طول پاره‌خط مسیر نوسان $2A$ است.
- در یک دوره مسافت طی‌شده $4A$ و جابه‌جایی صفر است.

با گذر از مرکز نوسان جهت بردار شتاب و نیرو تغییر می‌کند.

همواره شتاب (نیرو) با مکان مختلف‌العلامه هستند.

قانون هوک $F=-kx$

در یک دوره شتاب، نیرو و سرعت دوبار صفر و دوبار بیشینه می‌شوند.



$x=-A$	$x<0$	$x=0$	$x>0$	$x=+A$
$v=0$	$v<0$	v_m	$v<0$	$v=0$
$-a_m$	$a>0$	$a=0$	$a<0$	$+a_m$
$-F_m$	$F>0$	$F=0$	$F<0$	$+F_m$

مشخصه‌های حرکت نوسانی

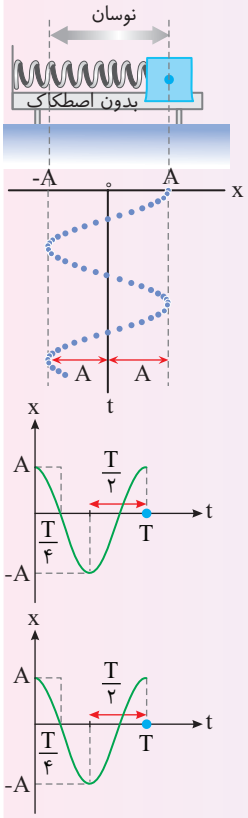
مکان یا بُعد

معادلهٔ حرکت هماهنگ ساده را می‌توان به صورت سینوسی یا کسینوسی نوشت.

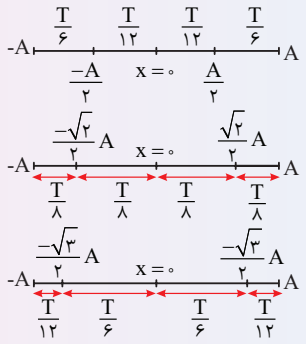
معادلهٔ مکان – زمان $x=A\cos\omega t$

- x مکان (فاصله از مبدأ) و A دامنه
- ωt شناسه تابع کسینوسی (فاز) بر حسب رادیان
- بسامد زاویه‌ای: $\omega=\frac{2\pi}{T}(rad/s)$ و $\omega=2\pi f$

نمودار مکان – زمان



بازه‌های زمانی شناخته شده



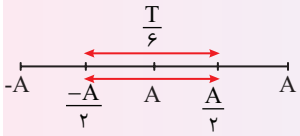
حرکت نوسانی

مشخصه‌های حرکت نوسانی

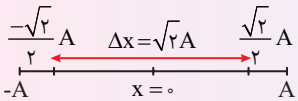
مکان یا بُعد

بازه‌های زمانی شناخته شده

حداقل مدت زمان طی جابه‌جایی به اندازهٔ یک دامنه، برابر $\frac{T}{۶}$ است.



بیشینه سرعت متوسط در بازه‌های قرینه در دو طرف حالت تعادل اتفاق می‌افتد. مثلاً در $\frac{T}{۴}$ بیشترین جابه‌جایی و سرعت متوسط در بازهٔ $\frac{T}{۸}$ در دو طرف مبدأ رخ می‌دهد.

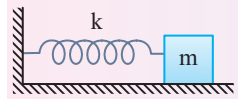


$$v_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{\sqrt{۲}A}{\frac{T}{۴}}=\frac{۴\sqrt{۲}A}{T}$$

سامانه جرم - فنر

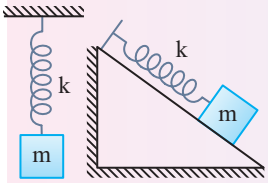
دوره

$T=۲\pi\sqrt{m/k}$ ، بسامد زاویه‌ای $\omega=\sqrt{k/m}$ و $\frac{T'}{T}=\sqrt{\frac{m'}{m}}\times\sqrt{\frac{k}{k'}}$



دوره به دامنه بستگی ندارد.

دورهٔ یک سامانه جرم - فنر در همهٔ محیط‌ها و نقاط کرهٔ زمین ثابت است و تنها به جرم نوسانگر و ثابت فنر بستگی دارد.



شتاب - نیرو

معادله شتاب - مکان

$$|a|=+\omega^۲x \Leftarrow a=-\frac{k}{m}x \Leftarrow ma=-kx$$

بیشینه شتاب ← $a_m=A\omega^۲$

معادله نیرو - مکان ← $F=ma\Rightarrow|F|=m\omega^۲|x|$

نیروی بیشینه $F_m=mA\omega^۲$

انرژی حرکت هماهنگ ساده

انرژی پتانسیل ← در نقاط بازگشت بیشینه و در مرکز نوسان صفر است.

انرژی جنبشی ← در نقاط بازگشت صفر و در مرکز نوسان بیشینه است.

$K_m=\frac{۱}{۲}mv_m^۲ \leftarrow K=\frac{۱}{۲}mv^۲$

انرژی مکانیکی ← $E=U+K$ در تمام نقاط مسیر، مقدار ثابتی است.

انرژی مکانیکی برابر بیشینه انرژی جنبشی و بیشینه انرژی پتانسیل است. $E=U_m=K_m$

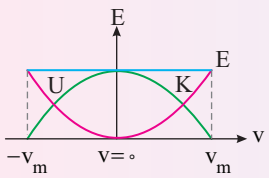
روابط انرژی مکانیکی ← $E=\frac{۱}{۲}kA^۲$ ، $E=\frac{۱}{۲}mA^۲\omega^۲$ ، $E=\frac{۱}{۲}mv_m^۲$

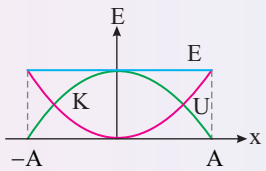
انرژی پتانسیل بر حسب سرعت

$$E=K+U\Rightarrow U=E-K$$

$$\Rightarrow U=\frac{۱}{۲}mv_m^۲-\frac{۱}{۲}mv^۲=\frac{۱}{۲}m(v_m^۲-v^۲)$$

نمودارهای انرژی بر حسب مکان و سرعت





بیشینه تندی ← $v=A\omega$

رابطه بیشینه تندی و بیشینه شتاب $a_m=A\omega^۲\Rightarrow a_m=v_m\omega$, $v_m=A\omega$

الگو یادآوری ۳

حرکت نوسانی

آونگ

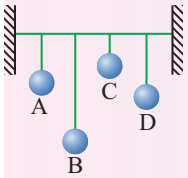
آونگ ساده آونگی با وزنهٔ کوچکی متصل به یک نخ با طول ثابت و جنس کش نیامدنی و زاویهٔ انحراف کوچک از حالت تعادل

دوره $T=2\pi\sqrt{l/g}$ ، بسامد زاویه‌ای $\omega=\sqrt{g/l}$ ، $\frac{T}{T'}=\sqrt{\frac{l}{l'}}\times\sqrt{\frac{g'}{g}}$

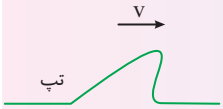
- دورهٔ آونگ به جرم آونگ و دامنه بستگی ندارد.
- دورهٔ آونگ با دور شدن از سطح زمین و کاهش g افزایش می‌یابد.
- دورهٔ آونگ در قطب‌های زمین از استوا کمتر است.
- اگر دورهٔ آونگ یک ساعت آونگ‌دار کاهش یابد، ساعت تندتر کار می‌کند و ساعت جلو می‌افتد.

تشدید

- هر نوسانگر می‌تواند با بسامدی ویژهٔ خود که به ساختار آن بستگی دارد نوسان کند که به آن بسامد طبیعی $(f_\circ)$ گویند.
- برای جلوگیری از میرایی نوسان یک نوسانگر مانند یک آونگ، باید به آن انرژی داده شود تا نوسان‌ها میرا نباشد، این نوع نوسان‌ها را نوسان واداشته گویند.
- هر گاه بر جسمی که می‌تواند با دوره یا بسامد خاصی (بسامد طبیعی) نوسان کند نیرویی دوره‌ای با همان بسامد وارد شود، جسم شروع به نوسان می‌کند و دامنهٔ نوسان افزایش می‌یابد $(f_d=f_\circ)$ و در این حالت تشدید رخ داده است.
- از پدیده تشدید برای نامیرا کردن نوسان‌های میرا استفاده می‌شود.
- در شکل روبه‌رو با نوسان آونگ A به آونگ‌های B و C انرژی منتقل می‌شود و آن‌ها می‌جنبند و به نوسان در می‌آیند، این آونگ‌ها با بسامدهای دیگر به نوسان در می‌آیند اما هر گاه بسامد نوسان واداشته با بسامد آونگی برابر شود $(f_\circ=f_d)$ در مورد آن آونگ تشدید رخ می‌دهد.

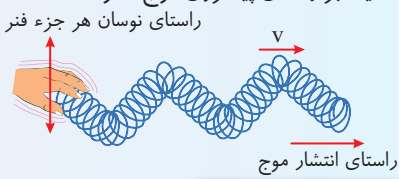


موج مکانیکی (مفاهیم اولیه)

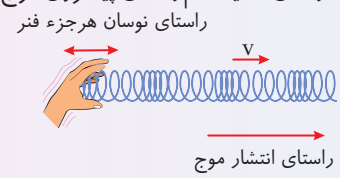


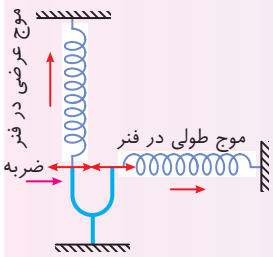
- آشفتگی منتشر شده در محیط را **تپ** گویند و انتقال تپ را در محیط انتشار تپ گویند.
- به تپ‌های متوالی ایجاد شده در یک محیط کشسان **موج** گویند.
- موج‌ها عموماً به دو دسته تقسیم می‌شوند.
  - **موج‌های الکترومغناطیسی** این موج‌ها برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند.
  - **موج‌های مکانیکی** این موج‌ها برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند.

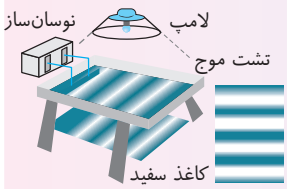
موج عرضی: موجی است که راستای نوسان ذره‌های محیط بر راستای پیشروی موج عمود است.



موجی طولی: موجی است که راستای نوسان ذره‌های محیط هم‌راستای پیشروی موج است.



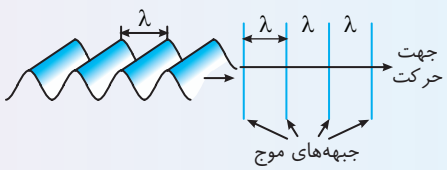




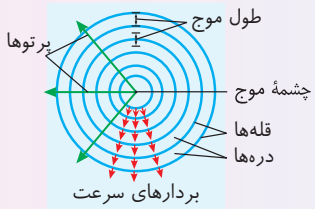
(ب)

مشخصه‌های موج

- برای مطالعهٔ مشخصات موج از وسیله‌ای موسوم به تشت موج استفاده می‌شود.
- به برآمدگی‌های موج ایجاد شده **قله (ستیغ)** و به فرورفتگی‌ها **درّه (پاستیغ)** گفته می‌شود.
- **طول موج** به فاصلهٔ بین دو برآمدگی یا دو فرورفتگی مجاور، طول موج (λ) گویند.
  - مسافتی که موج در مدت یک دوره طی می‌کند.
- برای رسم موج می‌توان تنها مکان قله‌ها یا درّه‌های موج را در شکل نشان داد که به آن‌ها جبههٔ موج گویند.
  - به طور مثال:



(الف)



(ب)

(الف)

الگو یادآوری

۴

موج مکانیکی (مفاهیم اولیه)

مشخصه‌های موج

ویژگی‌های وابسته به چشمه

- دامنه (A): بیشینهٔ فاصلهٔ یک ذره از مکان تعادل، دامنهٔ موج نامیده می‌شود که همان فاصلهٔ قله یا دره نسبت به سطح آرام یا ساکن است.
- دورهٔ تناوب (T): مدت زمانی که هر ذرهٔ محیط یک نوسان کامل انجام می‌دهد، دورهٔ تناوب موج نامیده می‌شود که برابر دورهٔ چشمه نوسان است.
- بسامد (f): تعداد نوسان‌های انجام شده توسط هر ذرهٔ محیط در یک ثانیه بسامد موج نامیده می‌شود که برابر بسامد چشمهٔ موج است. $(f=\frac{1}{T})$

ویژگی‌های وابسته به محیط

- تندی انتشار موج (v): اگر جبهه‌های موج در مدت Δt مسافت l را طی کنند، تندی انتشار موج از رابطهٔ روبه‌رو به‌دست می‌آید: $v=\frac{l}{\Delta t}=\frac{\lambda}{T}=\lambda f \quad (\lambda \propto T)$
- تندی انتشار موج به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار بستگی دارد.
  - به طور مثال: در آب‌های عمیق تندی انتشار موج به عمق آب بستگی ندارد، اما در عمق‌های کم‌عمق هر چه عمق آب کمتر شود، تندی انتشار موج کاهش می‌یابد.

بررسی طول موج در دو حالت مختلف $(\lambda=\frac{v}{f})$

دو موج توسط یک چشمه در دو محیط منتشر شوند:
چون چشمهٔ موج‌ها یکسان است پس بسامد دو نیز یکسان است.

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{\frac{v_2}{f}}{\frac{v_1}{f}}\Rightarrow\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{v_2}{v_1}$$

دو موج توسط دو چشمه در یک محیط منتشر شوند:
چون موج‌ها در یک محیط منتشر شده‌اند، تندی انتشار آن‌ها یکسان است.

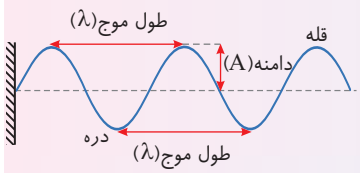
$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{\frac{v}{f_2}}{\frac{v}{f_1}}\Rightarrow\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{f_1}{f_2}$$

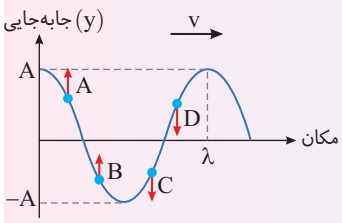
موج‌های عرضی و مشخصه‌های آن

موج سینوسی

هر گاه چشمهٔ موج دارای حرکت هماهنگ ساده باشد، موج سینوسی است.

- هر نقطه از محیط دارای حرکت هماهنگ ساده است.
- بسامد دورهٔ نوسان تمام نقاط محیط با بسامد و دورهٔ چشمه برابر است.





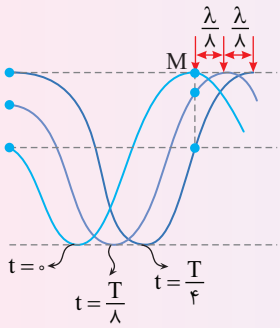
رفتار ذرات محیط

- هر ذره از محیط حرکت ذرهٔ قبل از خود را تکرار می‌کند.
- **ذرهٔ A**: در حال حرکت رو به بالا، کندشونده (شبیه نوسانگر در حال حرکت به سوی دامنه) $a<0$ ، $v>0$ ، $y>0$
- **ذرهٔ B**: رو به بالا، تندشونده (نوسانگر در حال نزدیک شدن به حالت تعادل) $a>0$ ، $v>0$ ، $y<0$
- **ذرهٔ C**: رو به پایین، کندشونده، $a>0$ ، $v<0$ ، $y<0$
- **ذرهٔ D**: رو به پایین، تندشونده، $a<0$ ، $v<0$ ، $y>0$

الگو یادآوری ۵

موج‌های عرضی و مشخصه‌های آن

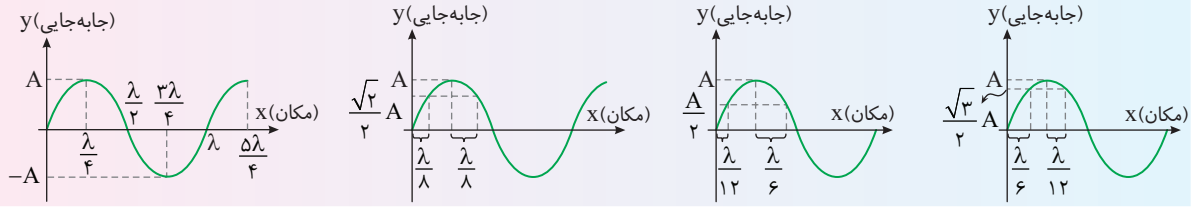
موج سینوسی



در شکل روبه‌رو از یک موج در بازه‌های زمانی $\frac{T}{8}$ عکس گرفته شده است. با توجه به شکل و همانطور که در بالا نیز گفته شده ذرهٔ M حرکت ذرهٔ قبل از خود را تکرار کرده و به سمت پایین در حال نوسان است و قلهٔ موج در حال پیشروی به سمت راست است.

همانطور که در شکل نیز مشخص است با توجه به ثابت بودن تندی انتشار موج، طول موج و دورهٔ موج با هم متناسب‌اند. $T \propto \lambda \Rightarrow \frac{T}{8} \propto \frac{\lambda}{8}$

بررسی طول موج در شکل موج سینوسی:



تندی انتشار موج عرضی در تار یا فنر

سرعت انتشار موج در تار یا فنر: $v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ (m/s ، N (نیوتون)) ، F: نیروی کشش طناب، $\mu=\frac{m}{L}$ (m → kg ، L → m): چگالی خطی جرمی

تندی انتشار موج به طول تار بستگی ندارد. $v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}=\sqrt{\frac{F}{\rho A}}=\frac{2}{D}\sqrt{\frac{F}{\pi\rho}}$

چگالی سیم ، سطح مقطع سیم ، قطر سیم

نکته

- اگر طول تار یا فنر n برابر شود، جرم آن نیز n برابر شده و μ ثابت می‌ماند.
- اگر تار را بکشیم تا با ثابت ماندن جرم، طول تار n برابر شود، در این صورت μ تار $\frac{1}{n}$ می‌شود.

انتقال انرژی در موج مکانیکی عرضی

هر موجی حامل انرژی است.

با انتشار موج مکانیکی این انرژی به صورت انرژی جنبشی و پتانسیل در موج منتقل می‌شود.

در یک موج سینوسی (برای همهٔ انواع امواج مکانیکی) مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) با مربع دامنه و بسامد (f^2, A^2) موج متناسب است.

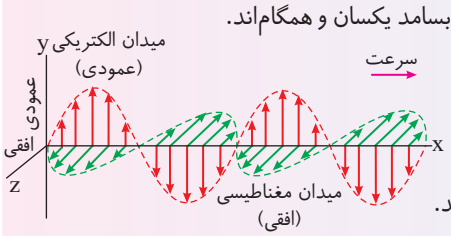
امواج الکترومغناطیسی

امواج الکترومغناطیسی از رابطهٔ متقابل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به وجود می‌آیند، یعنی تغییر در هر کدام از آن‌ها میدان متغیر دیگری را به‌وجود می‌آورد.

منشأ تولید امواج الکترومغناطیسی، حرکت شتابدار ذرهٔ باردار است.

موج الکترومغناطیسی

۱ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی دارای بسامد یکسان و همگام‌اند.



۲ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر هم عمودند.

۳ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر مسیر انتشار موج (راستای انتقال انرژی) عمودند و موج عرضی است.

الگو یادآوری

۶

موج‌های عرضی و مشخصه‌های آن

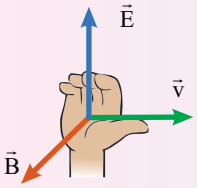
امواج الکترومغناطیسی

موج الکترومغناطیسی

۴ این موج‌ها حامل بار الکتریکی نیستند و در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی منحرف نمی‌شوند.

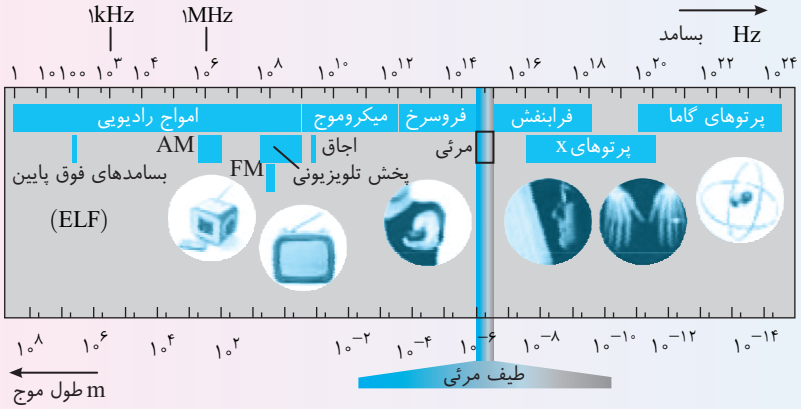
۵ سرعت تمام موج‌های الکترومغناطیسی در خلأ یکسان و برابر $c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}=3\times10^8\,m/s$ است.

طول موج الکترومغناطیسی در خلأ برابر است با: $\lambda=\frac{c}{f}$



۶ جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را می‌توان مطابق شکل از قاعدهٔ دست راست به‌دست آورد.

۷ **طیف امواج الکترومغناطیسی** امروزه طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیسی را می شناسیم. این طیف شامل امواج رادیویی، میکروموج، فروسرخ، طیف نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای x و پرتوهای گاما است که از کمترین بسامد تا بیشترین بسامد گسترده شده‌اند. تمام این امواج به رغم تفاوت فراوان در روش های تولید و کاربردهای آن‌ها، امواجی الکترومغناطیسی هستند و همگی با تندی نور در خلأ حرکت می‌کنند و هیچ گسستگی‌ای در این طیف وجود ندارد.



هر چه از پرتوهای گاما به سمت امواج رادیویی حرکت کنیم، طول موج امواج افزایش یافته و انرژی و بسامد آن‌ها کاهش می‌یابد.

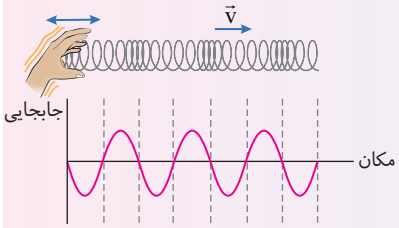
موج طولی و مشخصه‌های آن

در انتشار موج طولی در یک فنر بلند کشیده شده ناحیه‌های جمع‌شدگی و بازشدگی به طور متناوب در طول فنر ظاهر می‌شود.

در یک لحظه از زمان در مکان‌هایی که بیشترین جمع‌شدگی یا بیشترین بازشدگی حلقه‌ها رخ می‌دهد، جابه‌جایی هر جزء فنر از وضعیت تعادل برابر صفر است.

در یک لحظه در وسط فاصلهٔ بین یک جمع‌شدگی بیشینه و یک بازشدگی بیشینهٔ مجاور هم، اندازهٔ جابه‌جایی هر جزء فنر از وضعیت تعادل بیشینه است.

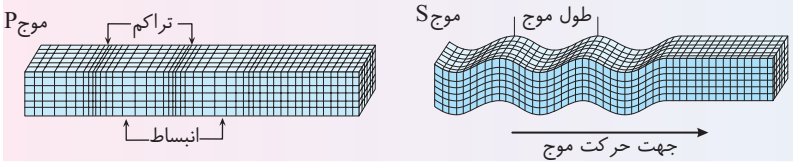
برای فنر زیر نمودار جابه‌جایی - مکان رسم شده است:



برای موج طولی
- طول موج برابر با فاصلهٔ بین دو تراکم (برای فنر، جمع‌شدگی) یا دو انبساط متوالی (برای فنر، بازشدگی) است.
- همچنین دامنهٔ موج طولی برابر با بیشینهٔ جابه‌جایی از مکان تعادل است.

برای امواج مکانیکی، تندی انتشار امواج طولی در یک محیط جامد بیشتر از تندی انتشار امواج عرضی در همان محیط است.

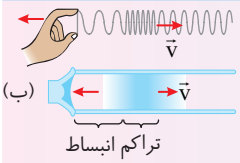
به طور مثال: امواج زمین لرزه از دو موج P (طولی) و S (عرضی) تشکیل شده است: $v_P > v_S$



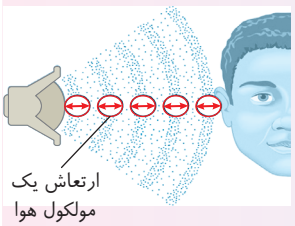
الگو یادآوری ۷

مشخصه‌های امواج صوتی

امواج صوتی موج‌های مکانیکی است که راستای نوسان ذرات محیط هم راستا با انتشار صوت است.



- صوت به صورت ناحیه‌های بازشدگی (لایه‌های انبساطی) و ناحیه‌های جمع‌شدگی (لایه‌های تراکمی) در محیط منتشر می‌شود.
- هر مولکول هوا با موج حرکت نمی‌کند، بلکه در مکان ثابتی به جلو و عقب نوسان می‌کند.



جبهه‌های موج صوتی به صورت کروی‌اند $(A=4\pi r^2)$

تندی انتشار موج

- مشابه بقیه امواج از ویژگی‌های محیط بوده و از رابطه $\lambda=\frac{v}{f}$ به‌دست می‌آید.
- در هر سه محیط جامد، مایع و گاز منتشر می‌شود.
- عموماً: تندی صوت در جامدها > تندی صوت در مایع‌ها > تندی صوت در گازها
- آزمایش نشان می‌دهد که تندی صوت افزون بر جنس محیط به دما نیز بستگی دارد و در یک محیط با افزایش دما، تندی نیز افزایش می‌یابد.

صوت

شدت و تراز شدت صوت

شدت صوت: به مقدار انرژی صوتی که در واحد زمان در یکای سطح عمود بر راستای انتشار صوت می‌گذرد.

$$I=\frac{\overset{\text{انرژی صوت}}{E}}{t.A}=\frac{\overset{\text{توان صوت}}{\bar{P}}}{A}$$

برای یک چشمهٔ نقطه‌ای صوت با جبهه‌های موج کروی:

$$A=4\pi \overset{\text{فاصله از چشمه}}{r^2}$$

عوامل مؤثر بر شدت صوت:

$$\frac{I_2}{I_1}=\underbrace{\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}_{\text{دامنه}}\times\underbrace{\left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2}_{\text{بسامد}}\times\underbrace{\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}_{\text{فاصله از چشمه}}$$

- شدت صوت به محیط انتشار نیز بستگی داشته و با آشکارساز قابل اندازه‌گیری است.

تراز شدت صوت: به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\overset{\text{دسی بل}}{\beta}=10\log\frac{\overset{\text{شدت صوت}}{I}}{I_0}$$

I_0: شدت مرجع بوده و نزدیک به حد پایین گسترهٔ شنوایی است:

$$I_0=10^{-12}\,W/m^2$$

یادآوری ریاضی:

۱) $\log ab=\log a+\log b$ ۲) $\log\frac{a}{b}=\text{lag}\, a-\log b$

۳) $\log a^n=n\log a$ ۴) $\log a=\log b\Rightarrow a=b$

۵) $\log 1=0$ ۶) $\log 10=1$

اختلاف تراز شدت صوت:

$$\beta_2-\beta_1=10\left(\log\frac{I_2}{I_0}-\log\frac{I_1}{I_0}\right)\Rightarrow\Delta\beta=10\log\frac{I_2}{I_1}$$

ادراک شنوایی

به صوت حاصل از چشمهٔ موجی کم‌میرا که دارای حرکت هماهنگ ساده است (مثل دیاپازون) تُن موسیقی یا به اختصار تن گویند.

شنیدن هر تن موسیقی دارای دو ویژگی متمایز **ارتفاع** و **بلندی** است که هر دو به ادراک شنوایی ما مربوط می‌شود:

ارتفاع بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند.
به طور مثال اگر چند دیاپازون با بسامدهای مختلف به طور یکسان نواخته شوند بسامدهای آن را می‌توان از کمترین (بم‌ترین) تا بیشترین (زیرترین) مقدار تشخیص داد.

بلندی شدتی است که گوش انسان از صوت درک می‌کند.
به طور مثال اگر یک دیاپازون با بسامد مشخص را با ضربه‌هایی متفاوت به ارتعاش واداریم، بسامد صوت (ارتفاع صوت) ثابت امّا بلندی‌های مختلفی به گوش می‌رسد.

نکته بلندی متفاوت با شدت است. شدت را می‌توان با آشکارساز اندازه گرفت اما بلندی چیزی است که ما حس می‌کنیم.

دستگاه شنوایی انسان به بسامدهای متفاوت حساسیت‌های متفاوتی نشان می‌دهد.

- بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گسترهٔ ۲۰۰۰Hz تا ۵۰۰۰Hz است.
- گوش انسان قادر به شنیدن تن‌های صدای ۲۰Hz تا ۲۰۰۰۰Hz است.
- **نکته ۱** اگر به مدت ۱۰ دقیقه در معرض صوتی با تراز شدت ۱۲۰dB باشیم، آستانهٔ شنوایی به طور موقت از ۰dB به ۲۸dB افزایش می‌یابد.
- **نکته ۲** مطالعه نشان می‌دهد که به طور متوسط اگر به مدت ۱۰ سال در معرض صدایی با تراز شدت ۹۲dB قرار گیریم، آستانهٔ شنوایی به طور دائم ۲۸dB افزایش می‌یابد.

الگو یادآوری

۸

اثر دوپلر

تغییر بسامد صوت در اثر حرکت منبع یا شنونده یا هر دو را اثر دوپلر گویند.

اگر چشمهٔ صوت و ناظر شنونده ثابت باشند، طول موج و بسامد رسیده به شنونده با طول موج و بسامد چشمه یکسان است.

چشمهٔ متحرک و ناظر (شنونده) ساکن:

طول موج: طول موج نسبت به حالت سکون چشمه در جلوی چشمه کاهش و در عقب آن افزایش می‌یابد.

بسامد موج: بسامد موج نسبت به حالت سکون چشمه در جلوی چشمه $(\downarrow \lambda = \frac{v}{\uparrow f})$ افزایش و در پشت چشمه $(\uparrow \lambda = \frac{v}{f \downarrow})$ کاهش می‌یابد.

چشمه ساکن و ناظر (شنونده) متحرک باشد:

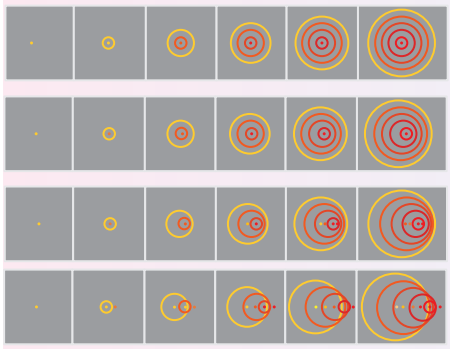
ناظر در حال نزدیک شدن به چشمه ← طول موج ثابت ← بسامد موج افزایش می‌یابد.

ناظر در حال دور شدن از چشمه ← طول موج ثابت ← بسامد موج کاهش می‌یابد.

نکته ۱ اگر در اثر حرکت چشمه یا شنونده یا هر دو، بسامد افزایش یابد ← ارتفاع صوت افزایش می‌یابد.

۲ اگر در اثر حرکت چشمه یا شنونده یا هر دو، بسامد کاهش یابد ← ارتفاع صوت کاهش می‌یابد.

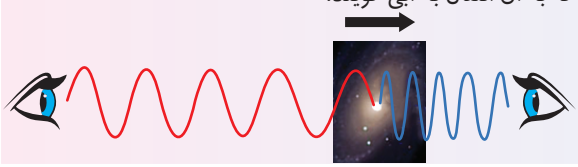
مقایسه جبهه‌های موج در اثر دوپلر



- چشمه و ناظر ساکن
- چشمه با تندی کمتر از تندی صوت در حال حرکت به سمت راست است.
- چشمه با تندی برابر با تندی صوت در حال حرکت به سمت راست است.
- چشمه با تندی بیشتر از تندی صوت به سمت راست در حرکت است.

دوپلر برای امواج الکترومغناطیسی

- برای امواج الکترومغناطیسی مانند هر موج دیگری اثر دوپلر برقرار است.
- با حرکت چشمهٔ موج نسبت به ناظر (آشکارساز)، بسامد و طول موج دریافتی تغییر می‌کند.
- در پدیده‌های نجومی از جابه‌جایی دوپلری استفاده می‌شود.
- با دور شدن چشمه از آشکارساز طول موج افزایش می‌یابد که به آن انتقال به سرخ گویند.
- با نزدیک شدن چشمه به آشکارساز طول موج کوتاه‌تر می‌شود که به آن انتقال به آبی گویند.



الگو یادآوری

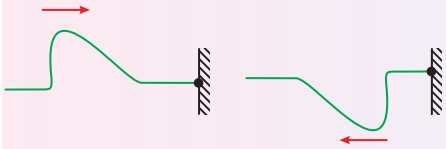
۱

بازتاب موج در یک بعد

اگر تپی را در یک فنر کشیدهٔ بلند که یک سر آن به تکیه‌گاهی ثابت شده است، روانه کنیم وقتی تپ به تکیه‌گاه (مرز) می‌رسد نیرویی به آن وارد می‌کند و طبق قانون سوم نیوتون تکیه‌گاه نیز نیرویی با اندازهٔ برابر و خلاف جهت بر فنر وارد می‌کند.

تپ بازتاب نسبت به تپ فرودی قرینه و معکوس است.

به طور مثال:



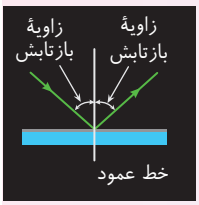
تپ فرودی و تپ بازتاب (در یک محیط منتشر شده‌اند) دارای تندی یکسان‌اند ← بسامد آن‌ها نیز یکی است.

بازتاب امواج

بازتاب موج در دو یا سه بعد

قانون بازتاب عمومی زاویهٔ پرتو تابش با نیم‌خط عمود (زاویهٔ تابش) با زاویهٔ پرتو بازتاب با نیم‌خط عمود (زاویهٔ بازتاب) با هم برابرند.

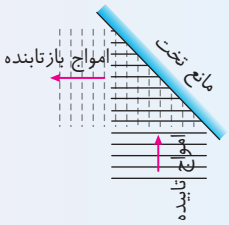
پرتوی تابش، پرتوی بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده در هر بازتابشی در یک صفحه قرار دارند.



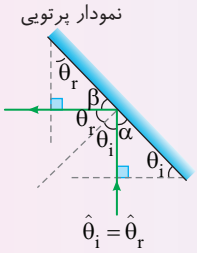
فاصلهٔ دو جبههٔ موج متوالی برابر طول موج است. پرتو موج بر جبهه‌های موج عمود بوده و راستای انتشار موج را نشان می‌دهد.

به طور مثال:

طرحی از جبهه‌های موج



نمودار پرتویی

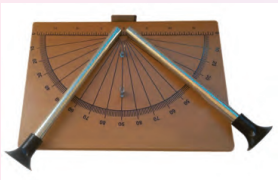


زاویهٔ بین جبهه‌های موج و سطح برابر زاویهٔ بین پرتو و خط عمود است.

$\theta_r =$ زاویه بین جبهه‌های بازتاب و سطح، $\theta_i =$ زاویه بین جبهه‌های تابش و سطح، $\theta_r =$ زاویه بازتاب، $\theta_i =$ زاویه تابش

نکته اگر پرتویی عمود بر سطح به آن برخورد کند پرتو روی خودش بازتاب می‌شود.

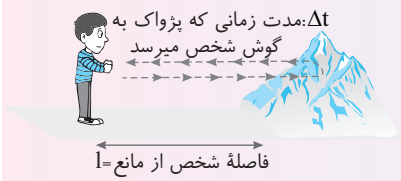
در اسباب نشان داده شده در شکل روبه‌رو، با توجه به قانون بازتاب عمومی هنگامی صوت ایجاد شده در یکی از دهانه‌ها در دهانهٔ دیگر با بلندی بیشینه شنیده می‌شود که زاویه‌ای که هر دو لوله با نیم‌خط عمود $(\theta_i = \theta_r)$ می‌سازند یکسان باشد.



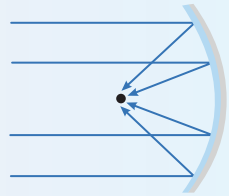
نمایشی از اسباب آزمایش بازتاب صوت

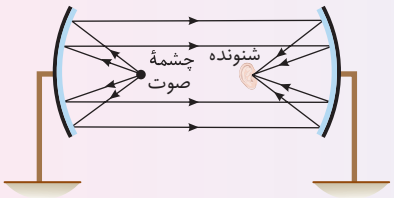
پژواک: به بازتاب صوت از یک سطح پژواک گویند.

برای تشخیص دو صوت از هم باید اختلاف زمانی رسیدن دو صوت به گوش از ۰/۱s بیشتر باشد.



بازتاب از سطح کاو: اگر پرتوهای موج موازی با محور سطح به آن برخورد کند، پرتوهای بازتاب از کانون سطح عبور می‌کنند:



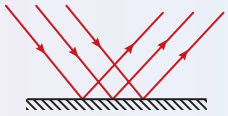


الگو یادآوری

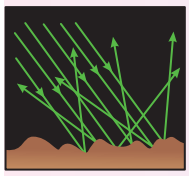
۲ بازتاب امواج

در بازتاب دو نوع سطح وجود دارد، امّا در هر دو حالت قانون بازتاب عمومی برقرار است.

بازتـاب منظم یا آینه‌ای: اگر یک دسـته پرتو موازی به سـطح صیقلی تابیده شود، پرتوهای بازتاب از سـطح نیـز با یکدیگر موازی‌اند.



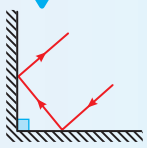
بازتاب نامنظم یا پخشـنده: اگر یک دسـته پرتو موازی به سطح غیر صیقلی تابیده شود، پرتوهای بازتاب در جهت‌های مختلف پخش می‌شوند که این پدیده را پخش نور گویند.



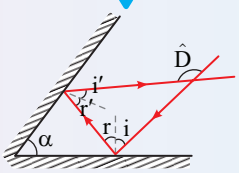
نکته یک سطح برای پرتوهای نوری غیرصیقلی است که ناهمواری‌های سطح بزرگ‌تر از طول موج نور باشد.

کاربرد بازتاب:
۱ میکروفون سهموی که با استفاده از بازتاب صوت از سطح کاو صدای رسیده به آن را تقویت می‌کند.
۲ لیتوتریپسی که از آن برای شکستن سنگ‌های کلیه به کمک بازتابنده‌های بیضوی استفاده می‌شود.
۳ در دستگاه سونار که در کشتی‌ها برای مکان‌یابی اجسام زیر آب به‌کار می‌رود از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود.
۴ در دستگاه سونوگرافی از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود.
۵ برای اندازه‌گیری تندی شارش خون از مکان‌یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر می‌توان استفاده کرد.
۶ در دوربین‌های کنترل سرعت (رادار دوپلری) از امواج الکترومغناطیسی برای مکان‌یابی پژواکی استفاده شده است.

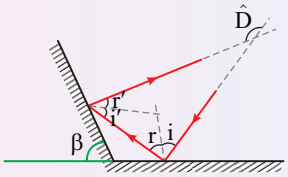
بررسی چند نمونه بازتاب از روی آینه‌های متقاطع



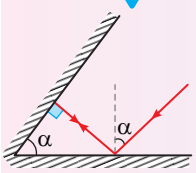
اگر دو آینه بر هم عمود باشند پرتوی تابش و بازتاب از سطح دوم با هم موازی‌اند



$\hat{D} = ۲\alpha$



$\hat{D} = ۲\beta$



شکست موج

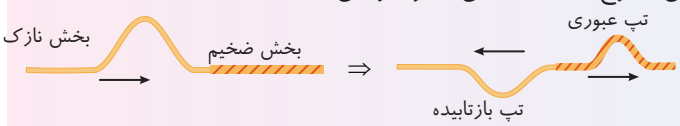
شکست موج در یک بعد

تغییر تندی پیشروی موج در ورود به محیط جدید را گویند.

هنگام گذر موج از یک محیط به محیط دیگر بسامد ثابت می‌ماند اما تندی انتشار موج و طول موج تغییر می‌کند. $f_۱ = f_۲ \Rightarrow \frac{v_۲}{v_۱} = \frac{\lambda_۲}{\lambda_۱}$

هنگام رسیدن موج به مرز جدایی دو محیط بخشی از موج بازتاب و بخشی دیگر عبور می‌کند.

اگر یک تپ را در سمت نازک ریسمان تولید کنیم.



اگر موج سینوسی از قسمت ضخیم طناب به قسمت نازک آن وارد شود، قطر سیم کاهش یافته و با توجه به رابطهٔ تندی موج در ریسمان $v = \frac{۲}{D}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}}$ تندی موج افزایش می‌یابد: $\xrightarrow{\lambda = \frac{v}{f}} \lambda_۲ > \lambda_۱$

$\begin{cases} v_۲ > v_۱ \\ f_۲ = f_۱ : \text{چشمهٔ موج تغییر نکرده است.} \end{cases}$

الگو یادآوری ۳

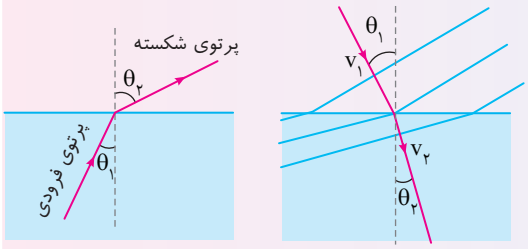
شکست موج

شکست موج در دو یا سه بعد

اگر یک موج به طور مایل از یک محیط به محیط دیگر وارد شود، جهت پیشروی موج در مرز بین دو محیط تغییر می‌کند.

قانون شکست عمومی نسبت سینوس زاویهٔ تابش و زاویهٔ شکست با نسبت تندی در دو محیط برابر است.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{v_2}{v_1}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$



در هر محیطی که تندی موج در آن بیشتر است، زاویهٔ پرتو موج با نیم‌خط عمود بر مرز بین دو محیط بزرگ‌تر است.

نکته اگر پرتو موجی عمود بر مرز بین دو محیط بتابد، در ورود به محیط دوم منحرف نمی‌شود اما تندی و طول موج آن تغییر می‌کند.

شکست امواج الکترومغناطیسی

ضریب شکست هر محیط برابر نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در آن محیط است.

$$n=\frac{\text{تندی نور در خلأ}}{\text{تندی نور در یک محیط}}=\frac{c}{v}$$

هر چه ضریب شکست یک محیط بیشتر باشد، تندی نور در آن محیط کمتر است، می‌توان گفت آن محیط غلیظ‌تر است.

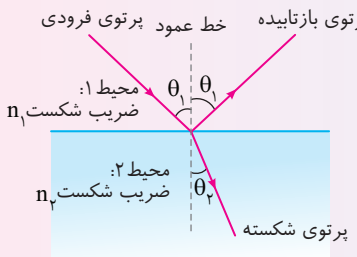
در یک محیط با ضریب شکست بیشتر، طول موج کوتاه‌تر است.

قانون شکست اسنل

$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$$

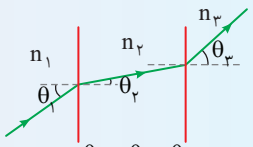
جمع‌بندی

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{v_2}{v_1}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{n_1}{n_2}$$



در گذر نور از چند محیط به سه نکته زیر دقت کنید:

هر محیطی که در آن زاویهٔ پرتو با خط عمود بزرگ‌ترین باشد، تندی نور در آن محیط بیشترین است و آن محیط کمترین ضریب شکست را دارد.

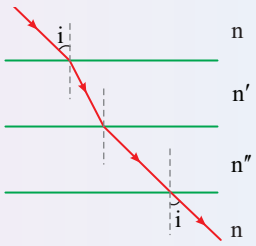


$\theta_3>\theta_1>\theta_2$

$v_3>v_1>v_2$

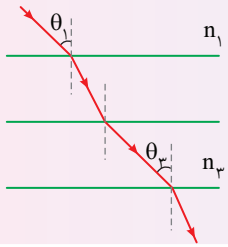
$n_3<n_1<n_2$

اگر محیط ابتدا اول و آخر یکسان باشند. پرتو نور ورودی و خروجی با هم موازی می‌شوند.



برای هر دو محیط دلخواهی می‌توانیم روابط شکست را بنویسیم به طور مثال:

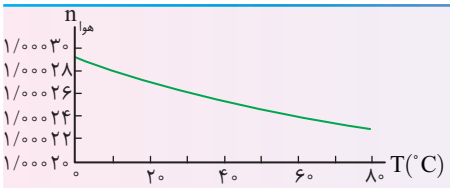
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3}=\frac{v_1}{v_3}=\frac{\lambda_1}{\lambda_3}=\frac{n_3}{n_1}$$



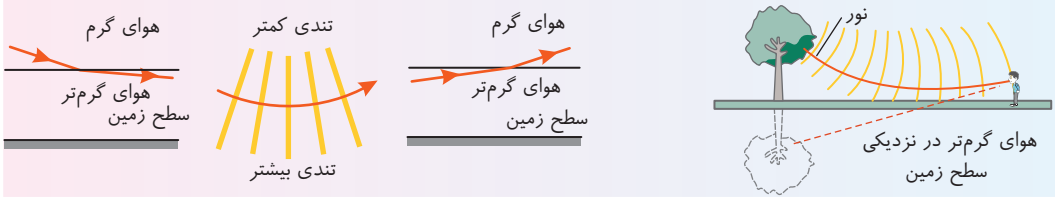
سراب

۱ در روزهای گرم اتفاق می‌افتد.

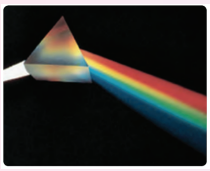
۲ ضریب شکست یک محیط مثل هوا به دمای آن نیز بستگی دارد و با افزایش دما ضریب شکست محیط کاهش می‌یابد.

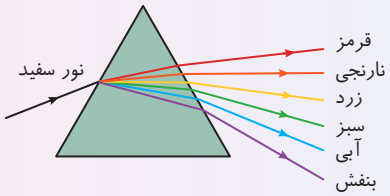


۳ در بررسی دقیق‌تر پدیدهٔ سراب متوجه می‌شویم که در روزهای گرم لایه‌های هوایی نزدیک به زمین گرم‌تر است و مطابق شکل زیر بخش‌های پایینی جبهه موج کمی تندتر از بخش بالایی جبهه موج حرکت می‌کنند (زیرا با افزایش دما محیط رقیق‌تر و تندی موج در آن محیط بیشتر می‌شود) و این باعث می‌شود پرتوهای موج رو به بالا خم شوند:

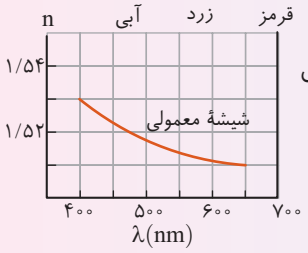


پاشندگی نور تجزیه نور سفید به رنگ‌های متفاوت به وسیلهٔ منشور نمونه‌ای از پاشندگی نور است:

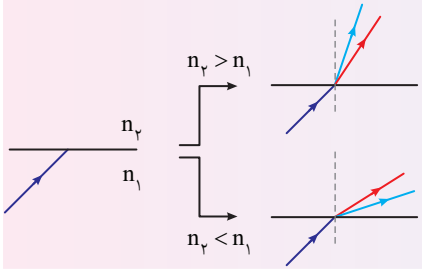


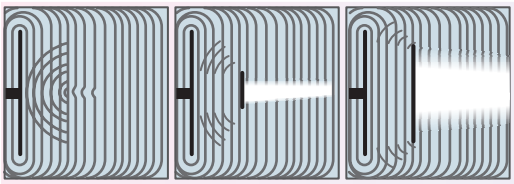


- علت پاشندگی نور متفاوت بودن ضریب شکست یک محیط معین غیر خلأ برای طول موج‌های مختلف است.
- عموماً ضریب شکست یک محیط معین برای طول موج‌های کوتاه‌تر بیشتر است.
- ضریب شکست یک محیط معین، برای نور قرمز کمترین و برای نور بنفش بیشترین مقدار است.



- مثال: پرتو نور اولیه ترکیبی از نور آبی و قرمز است.

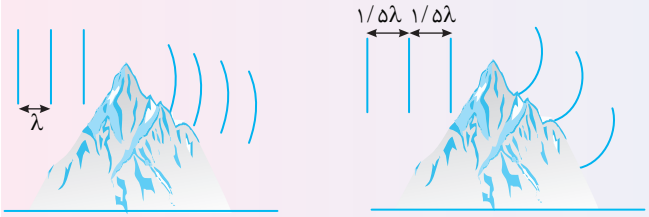




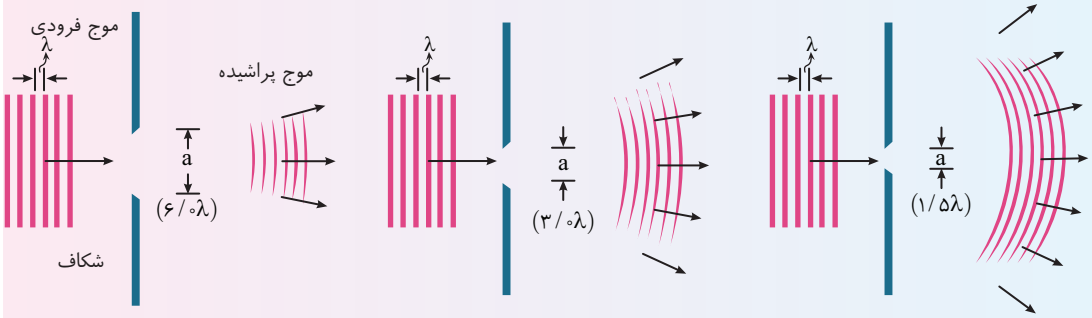
اگر در مسیر پیشروی موج مانعی قرار دهیم، بخشی از موج از لبه‌های مانع یا شکاف‌های آن می‌گذرد. در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در حدود طول موج باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها یا شکاف‌ها عبور می‌کند به وضوح به اطراف مانع یا شکاف گسترده می‌شود که به این رفتار موج، پراش می‌گویند.

هر چه ابعاد شکاف یا لبهٔ یک مانع بیشتر در حدود طول موج باشد، پراش بارزتری رخ می‌دهد و موج به ناحیهٔ سایه بیشتری دسترسی پیدا می‌کند:

- با افزایش طول موج پراش بارزتری رخ می‌دهد.



- با کاهش پهنای شکاف پراش بارزتری رخ می‌دهد.



در عبور از یک شکاف طول موج، بسامد و تندی موج ثابت می‌ماند.

اگر پراش نور تک‌فام از یک شکاف باریک یا لبه‌ای تیز را روی یک پرده ملاحظه کنیم، همواره نوارهای تاریک و روشنی موسوم به نقش پراش موازی با لبه‌های شکاف مشاهده می‌کنیم. البته تحلیل نقش پراش مبتنی بر بحث تداخل امواج است.

پراش

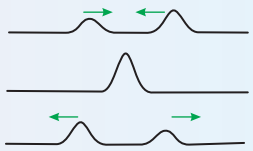
الگو یادآوری ۵

اصل بر هم‌نهی ← وقتی چندین موج به طور همزمان بر ناحیه‌ای از فضا تأثیر بگذارند، اثر خالص آن‌ها برابر مجموع اثرهای مجزای هریک از آن‌ها است.

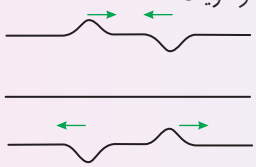
به طور مثال اگر دو قلهٔ موج در یک نقطه به هم برسند، آن نقطه از محیط به اندازهٔ مجموع دامنهٔ دو موج از حالت تعادل خود بالا می‌رود. $(A_t = A_1 + A_2)$

به ترکیب موج‌ها با یکدیگر تداخل گویند، به بیان دیگر، تداخل ترکیب دو یا چند موج است که همزمان از یک نقطه عبور می‌کنند.

در شکل زیر تپ‌ها هنگام هم‌پوشانی تپ بزرگ‌تری را ایجاد کرده‌اند که به آن تداخل سازنده می‌گویند.



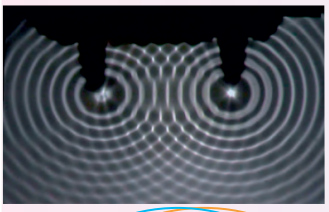
در شکل زیر تپ‌ها هنگام هم‌پوشانی اثر یکدیگر را حذف کرده‌اند که به آن تداخل ویرانگر گویند.

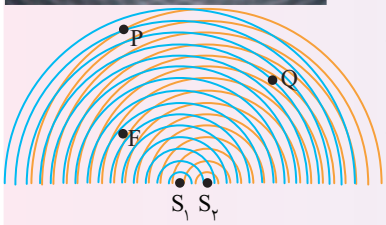


تداخل امواج

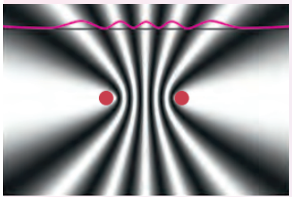
دقت کنید که تداخل تپ‌ها مسیر حرکت آن‌ها را تغییر نمی‌دهد و پس از تداخل شکل تپ‌ها و مسیر حرکت آن‌ها مشابه قبل از هم‌پوشانی باقی می‌ماند. تداخل موج‌ها نیز مانند تداخل تپ‌هایی که در بالا توضیح دادیم خواهد بود.

تداخل امواج سطحی آب ← هر گاه دو نوسان‌ساز هم‌دوره (با بسامد یکسان) روی سطح آب مطابق شکل موج ایجاد کنند. پس از انتشار دو موج با هم تداخل می‌کنند.



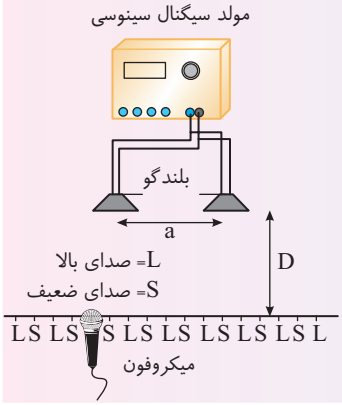


- به طور مثال در نقطهٔ P: قله‌های دو موج به هم رسیده و تداخل سازنده است و دامنهٔ موج آب بیشینه می‌شود. $(A_T = A_1 + A_2)$
- در نقطهٔ Q: قله موج S_1 به درهٔ موج S_2 رسیده و تداخل ویرانگر است و دامنهٔ موج آب کمینه می‌شود. $(A_T = A_1 - A_2)$
- در نقطهٔ F: دره‌های دو موج به هم رسیده و تداخل سازنده است و سطح آب به شدت پایین می‌رود.
- به چنین نقش متناوب یک در میان از بیشینه و کمینه موج تداخلی، نقش تداخل گفته می‌شود.



تداخل امواج صوتی

- در آزمایش شکل زیر، توسط دو بلندگوی هم‌بسامد در فاصلهٔ مناسب از بلندگوها روی خط افقی نقش تداخلی ایجاد می‌شود.
- در نقاط L تداخل صوتی سازنده بوده و صدای بلندی شنیده می‌شود.
- در نقاط S تداخل صوتی ویرانگر بوده و صدای ضعیف شنیده می‌شود.
- فاصلهٔ نقاط S و L متناسب با طول موج صوت است و با افزایش طول موج فاصلهٔ این نقاط از هم بیشتر می‌شود.
- با حرکت دادن میکروفون صدای دریافتی به طور متناوب کم و زیاد می‌شود.

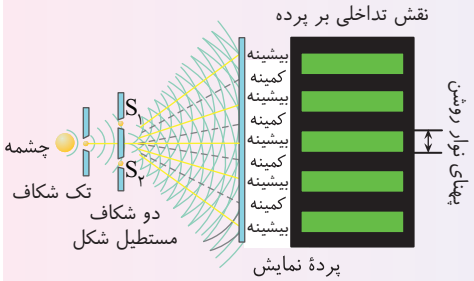


تداخل امواج

تداخل امواج نوری

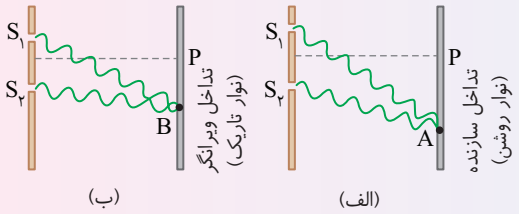
آزمایش یانگ نشان‌دهندهٔ رفتار موجی نور است.

در این آزمایش نورهای پراش یافته از دو شکاف S_1 و S_2 با یکدیگر تداخل کرده و روی پردهٔ نمایش نوارهای (فریزهای) تاریک و روشن ایجاد می‌کنند.



در محل نوارهای (فریزهای) روشن تداخل دو موج سازنده است و دو موج یکدیگر را تقویت می‌کنند.

در محل نوارهای (فریزهای) تاریک تداخل دو موج ویرانگر است و دو موج یکدیگر را تضعیف می‌کنند.



نوارهای روشن و تاریک روی پرده که ناشی از تداخل‌های سازنده و ویرانگرند، نقش‌های تداخلی خوانده می‌شوند.

پهنای نوارهای تاریک و روشن (که مساوی فرض می‌شوند) متناسب با طول موج نور به‌کار رفته در آزمایش است.

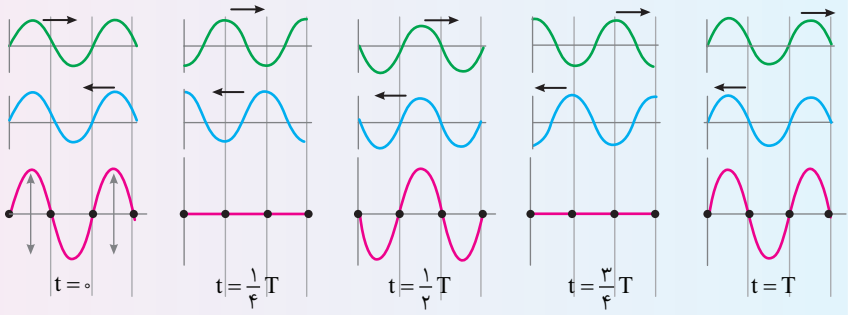
- به طور مثال اگر آزمایش یانگ را یک بار با نور قرمز و بار دیگر با نور سبز انجام دهیم ($\lambda_{\text{قرمز}} > \lambda_{\text{سبز}}$)، پهنای نوارهای تاریک و روشن نور قرمز بزرگ‌تر از پهنای نوارهای تاریک و روشن نور سبز است.
- اگر آزمایش یانگ در محیط شفافی با ضریب شکست n انجام شود، به دلیل کاهش طول موج، پهنای نوارها نسبت به آزمایش یانگ در هوا، $\frac{1}{n}$ می‌شود.

موج ایستاده و تشدید در ریسمان

امواج ایستاده

هر گاه دو موج رفت و برگشت هم‌دوره و هم‌دامنه در یک ریسمان منتشر شوند در اثر تداخل آن‌ها امواج ایستاده تشکیل می‌شود.

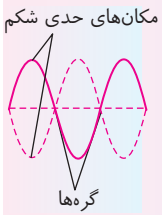
برای تولید امواج ایستاده کافی است موجی را در یک ریسمان متصل به انتهای ثابت بفرستیم، موج پس از بازتاب از مانع، تشکیل امواج ایستاده می‌دهد.



نکته بازهٔ زمانی بین دو بارِ متوالی تخت شدن ریسمان، $\frac{T}{2}$ است. به شکل $t=\frac{T}{4}$ و $t=\frac{3T}{4}$ دقت کنید.

به نقاطی از ریسمان که هنگام تشکیل امواج ایستاده هرگز حرکت نمی‌کند، گره گفته می‌شود.

- وسط دو گرهٔ مجاور را شکم گویند.



جمع‌بندی امواج ایستاده:

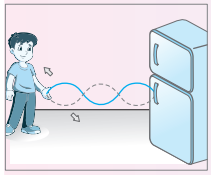
- امواج عرضی، می‌توانند امواج ایستاده تولید کنند.
- امواج طولی، می‌توانند امواج ایستاده تولید کنند.
- بسامد ارتعاش تمام نقاط محیط یکسان و برابر بسامد چشمه موج است.
- پس از تشکیل امواج ایستاده، جای گره‌ها و شکم‌ها ثابت است.
- تمام نقاط بین دو گرهٔ متوالی با هم بالا و پایین می‌روند اما دامنهٔ آن‌ها یکسان نیست.
- دو شکم مجاور هم حرکتشان قرینهٔ هم است وقتی یکی رو به بالا می‌رود دیگری رو به پایین می‌رود.

الگو یادآوری ۷

امواج ایستاده

جمع‌بندی امواج ایستاده:

- فاصلهٔ دو گرهٔ متوالی یا دو شکم متوالی $\frac{\lambda}{۲}$ و فاصلهٔ یک گره از شکم مجاورش $\frac{\lambda}{۴}$ است.
- پس از تشکیل امواج ایستاده، این موج به سمت راست و چپ حرکت نمی‌کند و هر ذره دارای حرکت هماهنگ ساده است و انرژی از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر منتقل نمی‌شود.

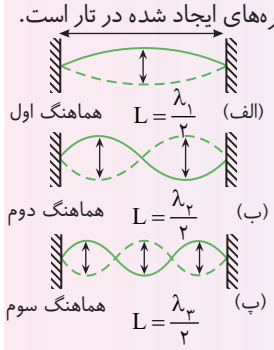


- با توجه به شکل روبه‌رو پس از تشکیل امواج ایستاده در محل چشمه (نوسان‌ساز)، گره وجود دارد.
- در نقاط گره دو موج به هم رسیده کاملاً ناهمفاز (در فاز مخالف)اند و تداخل ویرانگر است.
- در نقاط شکم دو موج به هم رسیده کاملاً همفازاند و تداخل سازنده است.
- فاصلهٔ گرهٔ nام از انتهای ثابت برابر $\Delta x = ۲n\frac{\lambda}{۴}$ و فاصلهٔ شکم nام از انتهای ثابت برابر $\Delta x = (۲n-۱)(\frac{\lambda}{۴})$ است.

موج ایستاده و تشدید در ریسمان

تشدید در ریسمان

- اگر دو سر یک تار را به یک نوسان ساز وصل کنیم، در این تار به‌ازای بسامدهای معینی امواج ایستادهٔ بارز رخ می‌دهد و گره و شکم به خوبی روی تار قابل مشاهده است. به این بسامدهای معین، بسامدهای تشدیدی می‌گویند.
- با توجه به شکلِ سه بسامد تشدیدی اول یک تار، می‌توان طول موج تار را بر حسب عدد هماهنگ به‌دست آورد:
  - عدد هماهنگ یک تار برابر تعداد شکم‌های ایجادشده در تار یا یک واحد کمتر از تعداد گره‌های ایجاد شده در تار است.



$$\lambda_n = \frac{۲L}{n}$$

L: طول تار، n: شمارهٔ هماهنگ

یادآوری برای یک موج رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ برقرار است بنابراین بسامدهای تشدیدی تار با استفاده از رابطهٔ روبه‌رو به‌دست می‌آیند.

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \Rightarrow f_n = \frac{nv}{۲L}$$

f_n: بسامد تشدیدی، n: عدد هماهنگ، v: تندی تار، L: طول تار

- تندی تار برابر $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} = \frac{۲}{D}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}}$ است که در این رابطه F نیروی کشش ریسمان و μ چگالی خطی جرمی تار یعنی $\frac{m}{L}$ است.

  (ρ: چگالی تار، A: سطح مقطع تار، D: قطر مقطع تار)

- مدهای نوسان را با بسامد تشدیدی مشخص می‌کنند.
- کمینه بسامد یک تار مربوط به $n = ۱$ است که به آن بسامد اصلی گفته می‌شود و مد مربوط به آن را مد اصلی یا هماهنگ اول گویند. $f_۱ = \frac{v}{۲L}$
  - در هماهنگ اول، طول موج تار بیشینه است. $\lambda_۱ = \frac{۲L}{۱} = ۲L$
  - **میانبر** بسامد هماهنگ nام، n برابر بسامد هماهنگ اول است. $f_n = nf_۱$
  - نسبت بسامد دو هماهنگ m ام و nام برابر است با: $\frac{f_m}{f_n} = \frac{mf_۱}{nf_۱} = \frac{m}{n}$
  - تفاضل دو بسامد متوالی همواره برابر بسامد اصلی خواهد شد: $f_n - f_{n-۱} = nf_۱ - (n-۱)f_۱ = f_۱$
- هنگامی بین دو تار یا یک تار و یک وسیله تشدید رخ می‌دهد که بسامد آن‌ها با هم برابر باشد. به طور مثال اگر دو تار زیر با یکدیگر تشدید کنند، بسامد هماهنگ سوم تار A با بسامد هماهنگ دوم تار B برابر است:

$$\Rightarrow f_{۲B} = f_{۳A}$$

الگو یادآوری

۸

موج ایستاده و تشدید در لولهٔ صوتی

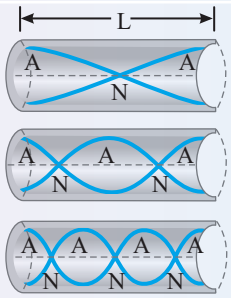
اگر در یک لوله بدمیم به شرطی که طول لوله مضرب‌های معینی از طول موج صوت باشد، در لوله تشدید رخ می‌دهد و موج‌های صوتی تشکیل امواج ایستاده با شکم و گره مشخص می‌دهند.

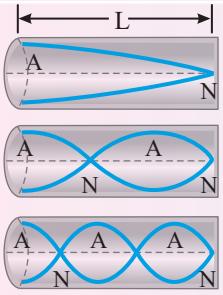
در یک لولهٔ در حال تشدید، فاصلهٔ دو گره یا دو شکم مجاور $\frac{\lambda}{۲}$ و فاصلهٔ یک شکم از یک گره $\frac{\lambda}{۴}$ است.

دقت کنید که صوت یک موج طولی است و در شکل‌های زیر برای اینکه آن را راحت‌تر نمایش دهیم به صورت موج عرضی مدلسازی کرده‌ایم.

در انتهای بستهٔ لوله گره و در انتهای باز آن شکم ایجاد می‌شود.

الف) لولهٔ صوتی با دو انتهای باز (لولهٔ صوتی باز)		ب) لولهٔ صوتی با یک انتهای باز و یک انتهای بسته (لولهٔ صوتی بسته)[1]	
مد اصلی (بم‌ترین صوت)	$L=\frac{\lambda_۱}{۲}$	مد اصلی (بم‌ترین صوت)	$L=\frac{\lambda_۱}{۴}$
مد دوم (هماهنگ دوم)	$L=۲\frac{\lambda_۲}{۲}$	مد دوم (هماهنگ سوم)	$L=۳\frac{\lambda_۳}{۴}$
مد سوم (هماهنگ سوم)	$L=۳\frac{\lambda_۳}{۲}$	مد سوم (هماهنگ پنجم)	$L=۵\frac{\lambda_۵}{۴}$
مد n اُم (هماهنگ n اُم)	$L=n\frac{\lambda_n}{۲}$	مد n اُم (هماهنگ n اُم)	$L=(۲n-۱)\frac{\lambda_n}{۴}$





در لولهٔ صوتی با دو انتهای باز، تعداد شکم از تعداد گره‌ها یک واحد بیشتر است. / در لولهٔ صوتی با دو انتهای باز، طول لوله مضرب درست $\frac{\lambda}{۲}$ یا مضرب زوج $\frac{\lambda}{۴}$ است.

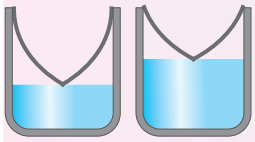
در لولهٔ صوتی با یک انتهای باز تعداد شکم‌ها و تعداد گره‌ها یکسان است. / در لولهٔ صوتی با یکی انتهای باز، طول لوله مضرب فرد $\frac{\lambda}{۴}$ است.

نکتهٔ مهم

۱) در تار مرتعش، موج ایستاده در تار عرضی $\xrightarrow{\text{امّا}}$ موج صوتی ایجاد شده در محیط، طولی است.

۲) در لولهٔ صوتی، موج ایستاده در لوله طولی $\xrightarrow{\text{همچنین}}$ موج صوتی ایجاد شده در محیط، طولی است.

۳) هنگام پر کردن یک ظرف استوانه‌ای تو پر مطابق شکل فضای خالی لیوان در حال کاهش بوده و طول موج صوت ایجاد شده کاهش می‌یابد بنابراین:



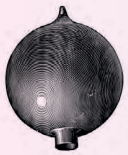
$\lambda \downarrow \xrightarrow{\lambda=\frac{v}{f}}$ بسامد افزایش می‌یابد $\rightarrow$ ارتفاع صوت زیاد می‌شود / صدا زیرتر می‌شود

هنگام خالی کردن یک پارچ یا لیوان بر عکس حالت بالا اتفاق می‌افتد و طول موج افزایش می‌یابد در نتیجه بسامد صوت حاصل کاهش یافته و ارتفاع صوت کم می‌شود و صدا بم‌تر خواهد شد.

تشدیدگر هلمهولتز و امواج ایستاده در اجاق میکروموج

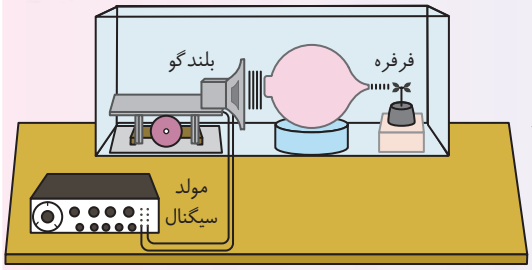
وقتی در دهانهٔ یک بطری می‌دمیم، گسترهٔ وسیعی از بسامدها ایجاد می‌شود که اگر یکی از این بسامدها با یکی از بسامدهای تشدیدی بطری منطبق باشد، یک موج صوتی قوی ایجاد می‌شود.

تشدیدگر هلمهولتز: به ظرفی مانند بطری که دارای یک گردن است، تشدیدگر هلمهولتز گفته می‌شود و ساده‌ترین آن به صورت کره‌هایی تو خالی با دهانه‌ای باز به شکل گردن بوده و به صورت روبه‌رو است:



تشدیدگر هلمهولتز مانند لوله‌های صوتی، بسامدهای تشدیدی معینی دارند و هرگاه بسامد یک صوت برابر با یکی از بسامدهای تشدیدی آن باشد، تشدیدگر پاسخ قوی‌تری به آن می‌دهد.

به طور مثال: در شکل روبه‌رو تنها به ازای بسامدهای معینی صوت عبوری از تشدیدگر باعث چرخیدن فرفره خواهد شد که این بسامدهای معین همان بسامدهای تشدیدی تشدیدگر هلمهولتز است.



۱- بررسی شکل‌های کتاب درسی جزء برنامهٔ رسمی کتاب نیست اما حضور مسائل آن به دلیل شباهت زیاد با تار مرتعش در سؤالات کنکور ممکن است.

الگو یادآوری

۹ تشدیدگر هلمهولتز و امواج ایستاده در اجاق میکروموج

اجاق‌های میکروموج (مایکروفر) بر اساس تداخل امواج الکترومغناطیسی و تشکیل امواج ایستاده کار می‌کند.

بسامد امواج ایستادهٔ ایجادشده ۲/۴۵۰GHz و طول موج آن حدود ۱۲cm است.

در محل شکم‌ها دامنهٔ نوسان میدان الکتریکی بیشینه است و مولکول‌های آب موجود در مواد غذایی به شدت به ارتعاش درآمده و بیشترین افزایش دما ایجاد می‌شود.	در محل گره‌ها، دامنهٔ نوسان میدان الکتریکی صفر است و هیچ نوسان میدان الکتریکی‌ای نداریم و در گره‌ها اصطلاحاً نقاط سرد داریم.

به همین دلیل اجاق‌های میکروموج صفحه‌های گردانی دارند تا با گرداندن غذا در اجاق هیچ بخشی از غذا در گره باقی نماند.

آشنایی با فیزیک اتمی

فیزیک کلاسیک به مکانیک نیوتونی، نظریه الکترومغناطیس ماکسول و ترمودینامیک، فیزیک کلاسیک گویند.

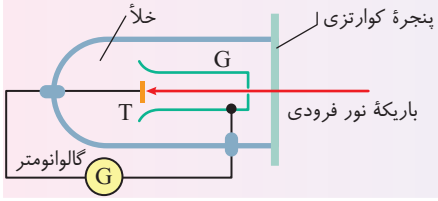
فیزیک جدید

- شالودهٔ فیزیک جدید نظریه‌های نسبیت خاص و عام و نظریه کوانتومی است.
- نظریهٔ نسبیت خاص، پدیده‌های فیزیکی در سرعت‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با سرعت نور را توجیه می‌کند.
- نظریهٔ نسبیت عام، پدیده‌های مربوط به مطالعهٔ هندسه فضا - زمان و گرانش را بررسی می‌کند.
- نظریهٔ کوانتومی به مطالعهٔ پدیده‌ها در مقیاس بسیار کوچک، مانند مولکول‌ها، اتم‌ها و ذره‌های ریزی که اتم‌ها را می‌سازند (ذره‌های زیراتمی) می‌پردازد.
- فیزیک جدید در واقع به پدیده‌هایی می‌پردازد که توسط فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیست از جمله این پدیده‌ها می‌توان به اثر فوتوالکتریک، ساختار اتم، طیف اتمی و ساختار هسته اشاره کرد.

اثر فوتوالکتریک

- جدا شدن الکترون از سطح فلز توسط تاباندن نور (تابش الکترومغناطیسی) بر آن را اثر فوتوالکتریک گویند و الکترون‌های جداشده را فوتوالکترون می‌نامند.
- با تاباندن نور مرئی بر کلاهک الکتروسکوپ باردار با بار منفی، انحراف ورقه‌ها تغییر نمی‌کند اما با تاباندن نور فرابنفش، انحراف ورقه‌ها کاهش می‌یابد که علت آن اثر فوتوالکتریک است.

- برای بررسی اثر فوتوالکتریک از مدار روبه‌رو استفاده می‌شود.



دیدگاه فیزیک کلاسیک

- رخ دادن پدیدهٔ فوتوالکتریک به بسامد نور فرودی بر فلز بستگی ندارد و با هر بسامدی رخ می‌دهد.
- در نظریهٔ ماکسول، شدت نور با مربع دامنهٔ میدان الکتریکی موج متناسب است $(I \propto E^{۲})$ و با افزایش شدت نور باید انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها افزایش یابد.
- عامل جدا شدن الکترون نیرویی است که توسط میدان الکتریکی نور بر الکترون وارد می‌شود. $(\vec{F} = -e\vec{E})$

تجربه آزمایشگاهی

- رخ دادن اثر فوتوالکتریک به شدت نور فرودی بر فلز بستگی ندارد.
- رخ دادن اثر فوتوالکتریک به بسامد نور بستگی دارد.
- کمترین بسامد را (و بلندترین طول موج) که اثر فوتوالکتریک با آن رخ می‌دهد، **بسامد آستانه** (طول موج آستانه) گویند.
- با افزایش شدت نور، انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها تغییر نمی‌کند و تنها تعداد فوتوالکترون‌ها افزایش می‌یابد.

نظریهٔ اینشتین

فوتون ← نور از بسته‌های حاوی انرژی به نام فوتون تشکیل شده است.

← انرژی هر فوتون $E = hf$ و انرژی کل پرتو نور $E = nhf$ است.

بسامد نور — تعداد فوتوالکترون‌ها

ثابت پلانک $h = ۶/۶۳ \times ۱۰^{-۳۴}\ J.s$

- با تاباندن نور مناسب و جدا شدن الکترون، بخشی از انرژی فوتون سبب جدا شدن الکترون (W) می‌شود و بخشی از انرژی فوتون به انرژی جنبشی الکترون تبدیل می‌شود $K = hf - W_{۰}(K)$.
- W مقدار انرژی لازم برای جدا شدن الکترون است.

تابع کار ← برای هر فلز، یک حداقل انرژی (کار) لازم است تا الکترون از فلز جدا شود، این حداقل انرژی را تابع کار گویند $(W_{۰})$.

- ← تابع کار به جنس فلز بستگی دارد.
- ← بین تابع کار و بسامد آستانه و طول موج آستانه رابطهٔ $W_{۰} = hf_{۰}$ و $W_{۰} = hc/\lambda_{۰}$ برقرار است.
- ← تابع کار مربوط به سست‌ترین الکترون است، بنابراین با جدا شدن الکترون انرژی جنبشی آن بیشینه است.

$K_m = hf - W_{۰}$

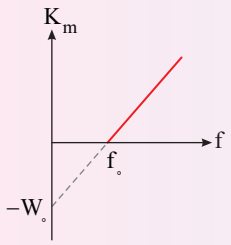
الگو یادآوری

۲ آشنایی با فیزیک اتمی

اثر فوتوالکتریک

نمودار $K_m - f$ ← نمودار خط راست است.

- عرض از مبدأ آن $-W_0$ است.
- شیب خط آن ثابت پلانک است.
- طول از مبدأ آن بسامد آستانه است.
- در تمام آزمایش‌های فوتوالکتریک برای هر فلزی شیب خط نمودار $(K_m - f)$ برابر h است، یعنی نمودارها با هم موازی‌اند.



الکترون ولت

- مقدار انرژی مورد نیاز برای گذر یک الکترون در اختلاف پتانسیل ۱V در خلأ را الکترون‌ولت (eV) گویند.
- هر الکترون ولت معادل $1/6\times10^{-19}J$ است. $(1eV = 1/6\times10^{-19}J)$
- ثابت پلانک: $h = 4/14\times10^{-15}eV.s$ ← تقریب مهم $hc = 1240eV.nm$
- نمودار $k_m - f$ خطی است و شیب آن برای هر فلزی h است.
- اگر بسامد نور دو برابر شود، انرژی جنبشی بیشینه، بیش از دو برابر افزایش می‌یابد.

آشنایی با فیزیک اتمی (طیف اتمی، الگوهای اتمی)

- طیف گسیلی از گازها و بخار عنصرها از خطوط رنگی جدا از هم با طول موج‌های معین تشکیل شده است که به آن **طیف گسیلی (نشری) خطی** گویند.
- طیف نور سفیدی را که بعضی از خط‌ها یا طول موج‌های آن جذب شده باشد **طیف جذبی** گویند.

طیف خورشید

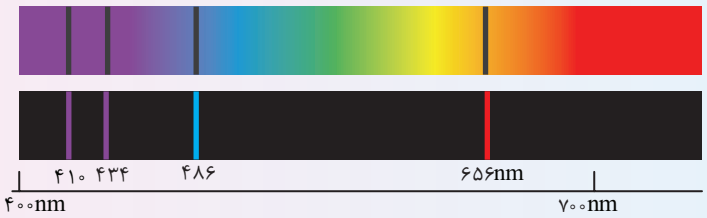
- در طیف نور خورشید خط‌های تاریک جذبی (به نام خطوط فرانهوفر) دیده می‌شود.
- خط‌های جذبی طیف خورشید معرف عنصرهای موجود در جو خورشید و جو زمین است.
- با بررسی طیف جذبی نور ستارگان می‌توان به عنصرهای تشکیل‌دهنده آن‌ها پی برد.

طیف اتمی

- به طیف گسیلی خطی و طیف جذبی خطی عنصری طیف اتمی می‌گویند.

ویژگی‌های طیف اتمی

- طیف اتمی هیچ دو عنصری شبیه به هم نیست و طول موج‌های گسیلی و جذبی هر عنصر منحصر به فرد است.
- اتم هر عنصر دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کند که اگر دمای آن به اندازه کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شود، آن‌ها را تابش می‌کند.



جذب و گسیل نور توسط اتم هیدروژن

تصویر بالایی: طیف جذبی، خط‌های تاریک در زمینهٔ روشن معرف طول موج‌های جذب شده هستند.

تصویر پایینی: طیف گسیلی، خط‌های روشن معرف طول موج‌های گسیلی هستند.

آشنایی با فیزیک اتمی (طیف اتمی، الگوهای اتمی)

رابطهٔ ریدبرگ – بالمر

$n' < n$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$R_H = 0/0109\,(nm^{-1})$

در هر رشته خطوط شماره‌گذاری دارند. اولین خط طیفی بلندترین طول موج گسیلی آن رشته و گذار الکترون از اولین تراز بالاتر به آن تراز است.

این رابطه تنها برای اتم هیدروژن است.

نام رشته	مقدار n'	رابطهٔ ریدبرگ مربوط	مقدارهای n	گسترهٔ طول موج
لیمان	$n'=1$	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=2,3,4,\ldots$	فرابنفش
بالمر	$n'=2$	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=3,4,5,\ldots$	فرابنفش و مرئی
پاشن	$n'=3$	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=4,5,6,\ldots$	فروسرخ
براکت	$n'=4$	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=5,6,7,\ldots$	فروسرخ
پفوند	$n'=5$	$\frac{1}{\lambda}=(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=6,7,8,\ldots$	فروسرخ

الگوهای اتمی

الگوی اتمی تامسون

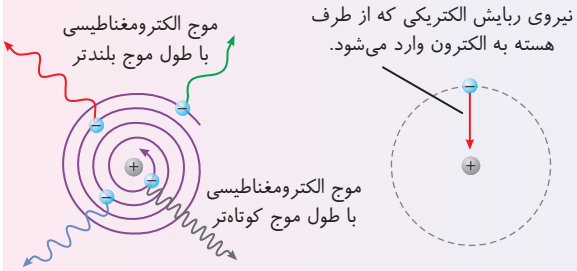
- اتم به صورت توزیع کروی یکنواختی از جرم و بار مثبت است که الکترون‌ها درون آن قرار دارند.
- این الگو توانایی توجیه کردن طیف اتمی را ندارد.
- این الگو با آزمایش رادرفورد و کشف هستهٔ اتم در تضاد است.

الگوی اتمی رادرفورد

- آزمایش ورقهٔ طلا: انحراف غیر عادی ذرات آلفای تابیده‌شده به ورقهٔ نازک طلا و پراکندگی غیرعادی آن‌ها سبب ارائهٔ الگوی اتمی رادرفورد شد.
- همهٔ بار مثبت اتمی در فضای کوچکی به نام هسته قرار دارد و الکترون‌ها در فاصلهٔ زیادی از هسته قرار دارند. این مدل را **مدل اتم هسته‌ای** یا **مدل هسته‌ای اتم** می‌نامند.

نارسایی‌های الگوی رادرفورد

- این الگو در مورد چگونگی حرکت الکترون‌ها اظهار نظری ندارد.
- این الگو پایداری اتم را توجیه نمی‌کند.
  - الکترون ساکن باشد جذب هسته می‌شود. (شکل الف)
  - الکترون متحرک باشد به دلیل تابش الکترومغناطیسی سرانجام بر هسته سقوط می‌کند. (شکل ب)
- این الگو ساختار هسته را توجیه نمی‌کند.
- این الگو گسسته بودن طیف اتمی را توضیح نمی‌دهد.



شکل (الف) شکل (ب)

الگو یادآوری ۴

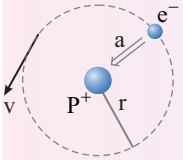
آشنایی با فیزیک اتمی (طیف اتمی، الگوهای اتمی)

الگوهای اتمی

الگوی اتمی بور

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

۲ الکترون در حین حرکت روی یک مدار مانا، بر خلاف نظریهٔ الکترومغناطیسی کلاسیک، تابشی گسیل نمی‌کند. این حالت الکترون را **مدار مانا یا حالت مانا** گویند.



شعاع مدارهای مانا دارای مقدارهای مشخص گسسته‌ای است.

$r_n = n^2 a_0 \rightarrow$ n عدد طبیعی

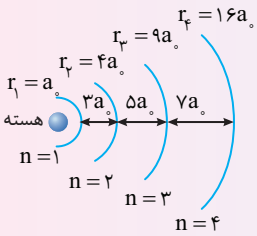
a_0 کوچک‌ترین شعاع مدار الکترون که به آن شعاع اتمی بور می‌گویند. $a_0 = 0/529\ \mathring{A}$

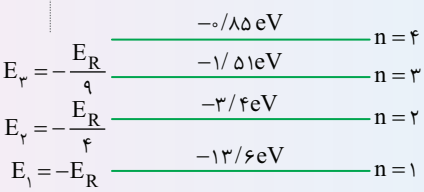
انرژی الکترون در این مدارها مقدارهای مشخص گسسته‌ای است.

$E_n = -\frac{E_R}{n^2} \rightarrow E_R$ را یک ریدبرگ گویند. $E_R = 13/6\,eV = 2/17\times10^{-18}\,J$

$n=1$ را حالت پایه گویند و مدارهای بالاتر را حالت‌های برانگیخته می‌نامند.

نکتهٔ مهم با افزایش n، فاصلهٔ مدارها از هم در اتم هیدروژن افزایش می‌یابد، اما اختلاف انرژی ترازهای انرژی کاهش می‌یابد.





دقت کنید با پرش الکترون از $n=1$ به $n=2$، نسبت انرژی‌ها به صورت $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{4}$ است، اما به دلیل دریافت انرژی توسط الکترون انرژی آن افزایش می‌یابد.

۳ الکترون تنها هنگامی که از حالت مانای $(E_U = -\frac{E_R}{n_U^2})$ به حالت مانای $(E_L = -\frac{E_R}{n_L^2})$ با انرژی کمتر می‌رود، تابش الکترومغناطیسی به صورت فوتون گسیل می‌کند. انرژی فوتون برابر اختلاف انرژی دو تراز است.

$$hf = E_U - E_L \rightarrow h\frac{c}{\lambda} = \frac{-E_R}{n_U^2} - \frac{-E_R}{n_L^2} \rightarrow \boxed{\frac{1}{\lambda} = \frac{E_R}{hc}\left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2}\right)} \Rightarrow R_H = \frac{E_R}{hc}$$

آشنایی با فیزیک اتمی (الگوی اتمی بور برای اتم هیدروژن)

انرژی یونش الکترون

انرژی لازم برای جدا شدن الکترون از اتم و قید هسته را انرژی یونش الکترون گویند.

توانایی‌های الگوی بور

- توجیه جذب و گسیل تابش توسط اتم
- توجیه خطی بودن طیف اتمی
- توجیه منحصر به فرد بودن طیف اتمی
- قابل کاربرد در هر اتم تک‌الکترونی که به آن اتم هیدروژن‌گونه گویند، هر چند بار هستهٔ آن بیشتر از $+e$ باشد.

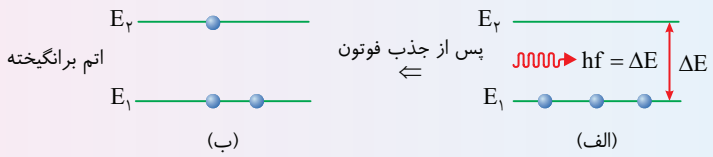
نارسایی‌های الگوی بور

- رفتار اتم‌های چند الکترونی را توجیه نمی‌کند.
- این الگو متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را نمی‌تواند توضیح دهد.

آشنایی با فیزیک اتمی (آشنایی با لیزر)

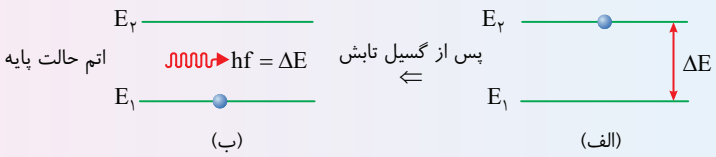
برانگیختگی اتم

- جذب انرژی توسط الکترون و رفتن از حالت n_1 به حالت n_2 $(n_2 > n_1)$
- اتم* → فوتون + اتم



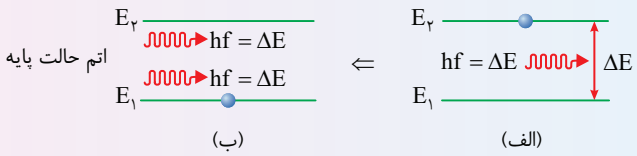
گسیل خودبه‌خودی

- الکترون با گسیل تابش و از دست دادن انرژی از حالت برانگیخته به حالت پایه می‌رود.
- فوتون + اتم → اتم*



گسیل القایی

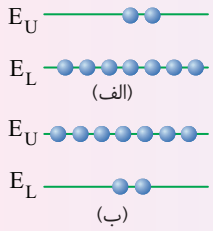
- تابش یک فوتون به یک اتم برانگیخته
- انرژی فوتون تابیده به اتم برابر اختلاف انرژی دو تراز حالت برانگیخته و حالت پایه
- پرش الکترون از حالت برانگیخته به حالت پایه و گسیل یک فوتون هم‌انرژی و هم‌جهت فوتون تابیده شده به اتم برانگیخته
- ۲ فوتون + اتم → اتم* + فوتون



- در گسیل القایی، فوتون گسیل شده با فوتون فرودی هم‌جهت، هم‌فاز و هم‌انرژی است.

لیزر

- اساس کار لیزر گسیل القایی است.
- به باریکه‌ای از فوتون‌های هم‌جهت، هم‌فاز و هم‌انرژی، باریکهٔ لیزری گویند.
- لیزر نور مرئی است.
- در تولید لیزر، ابتدا یک چشمهٔ خارجی سبب برانگیختن الکترون‌ها می‌شود تا لحظه‌ای که وارونی جمعیت رخ دهد.
- **وارونی جمعیت** تعداد الکترون‌ها در یک محیط لیزری در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه‌پایدار نسبت به ترازهای پایین‌تر بیشتر است.
  - در ترازهای شبه‌پایدار الکترون در مدت زمان بسیار طولانی $(10^{-3}\,s)$ از حالت معمولی $(10^{-8}\,s)$ باقی می‌مانند.



الف) به طور معمول و در دمای اتاق، بیشتر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند.
ب) در وضعیتی که وارونی جمعیت به‌وجود آید بیشتر الکترون‌ها در تراز بالاتری (در مقایسه با تراز پایین‌تر) قرار دارند.

الگو یادآوری ۱

آشنایی با ساختار هسته

تعریف‌ها

با آزمایش رادرفورد مشخص شد که اتم تقریباً از فضای تهی تشکیل شده است و بیشتر جرم آن در یک هستهٔ چگال با بار مثبت قرار دارد.

ابعاد هسته حدود $10^{-15}m$ (۱ فمتومتر یا ۱ فرمی) و حدود صدهزار مرتبه کوچک‌تر از ابعاد اتم $(1\mathring{A}=10^{-10}m)$ است.

عدد اتمی Z تعداد پروتون‌های هسته » محدودهٔ عدد اتمی عناصر طبیعی $1\leq Z\leq 92$

عناصری که عدد اتمی آن‌ها بیشتر از ۸۳ باشد، ناپایدارند. هستهٔ پایدار با بیشترین تعداد پروتون $Z=83$ متعلق به بیسموت $(^{209}_{83}Bi)$ است.

عدد نوترونی N تعداد نوترون‌های هسته » محدودهٔ عدد نوترونی عناصر طبیعی $0\leq N\leq 146$

نوکلئون به پروتون و نوترون، نوکلئون می‌گویند.

عدد جرمی A مجموع عدد اتمی و عدد نوترونی (تعداد نوکلئون‌های هسته) $A=Z+N$

نماد هسته $^{A}_{Z}X$ = هسته اتم X

ایزوتوپ
- اتم‌های با مقدار پروتون معین و تعداد نوترون‌های مختلف را ایزوتوپ (هم‌مکان) گویند.
- رفتار شیمیایی ایزوتوپ‌های یک عنصر یکسان است. به همین دلیل با روش‌های شیمیایی ایزوتوپ‌های یک عنصر را نمی‌توان جدا کرد.
- برای جداسازی ایزوتوپ‌های یک عنصر از اختلاف جرم آن‌ها استفاده می‌شود و جداسازی با روش‌های فیزیکی صورت می‌گیرد.

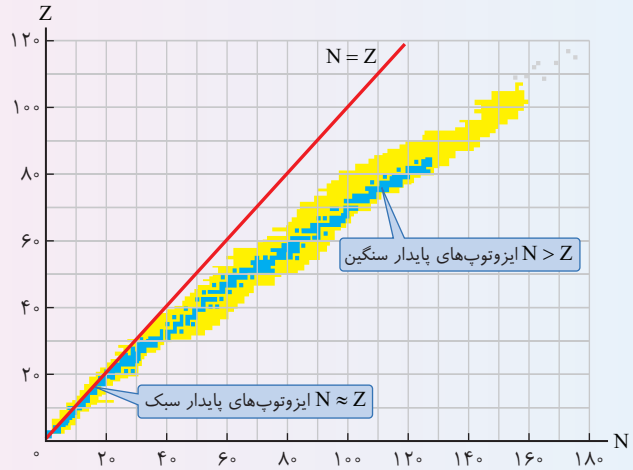
نیروی هسته‌ای

نیروی ربایشی بین نوکلئون‌های هسته را نیروی هسته‌ای گویند.

۱ این نیرو کوتاه‌بُرد است و در ابعاد هسته عمل می‌کند و در ابعاد اتمی اثری از آن مشاهده نمی‌شود.

۲ از نیروی رانش کولنی بین پروتون‌های هسته قوی‌تر است به همین علت به نیروی هسته‌ای قوی مشهور است.

۳ با بزرگ شدن هسته در عناصر سنگین نیروی رانش کولنی بارزتر شده و هسته ناپایدار می‌شود.



از منظر نیروی هسته‌ای تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد به همین علت آن‌ها را نوکلئون گویند.

ترازهای انرژی هسته انرژی نوکلئون‌ها کوانتیده است.

اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون‌ها در هسته بسیار بیشتر از اختلاف ترازهای انرژی اتم است.

در هسته‌های سبک اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون حدود MeV (مگاالکترون ولت) است.

در هسته‌های سنگین اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون حدود keV (کیلوالکترون ولت) است.

بزرگ بودن اختلاف ترازهای انرژی هسته نسبت به ترازهای انرژی الکترون سبب می‌گردد که هسته در واکنش‌های شیمیایی تغییر نکند.

۲ آشنایی با ساختار هسته

انرژی بستگی هسته

جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های هسته کمتر است. این اختلاف جرم را **کاستی جرم هسته** گویند.

نظریهٔ اینشتین هرگاه کاستی جرم هسته را در رابطهٔ معروف اینشتین $(E=mc^2)$ در مربع تندی نور (c^2) ضرب کنیم، انرژی بستگی هسته‌ای به‌دست می‌آید.

قانون پایستگی جرم و انرژی مجموع جرم و انرژی در برهم‌کنش پایسته می‌ماند.

یکای جرم اتمی $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ۱۲ که طبق تعریف $12/000000u$ است را یکای جرم اتمی گویند.

- یکای جرم اتمی برابر $1/66\times10^{-27}kg$ است.
- جرم پروتون $1/007276u$، جرم الکترون $0/000549u$ و جرم نوترون $1/008665u$ است.
- انرژی معادل جرم $1u$ برابر $931/5MeV$ است. برای به‌دست آوردن انرژی آزاد شده در فرایندهای هسته‌ای کافی است اختلاف جرم در دو طرف واکنش بر حسب u، در ۹۳۱/۵ ضرب شود تا انرژی بر حسب MeV به‌دست آید.

آشنایی با ساختار هسته (پرتوزایی)

واپاشی هسته‌های ناپایدار را پرتوزایی (رادیواکتیویته) گویند.

هسته‌های پرتوزا با گسیل یکی از پرتوهای آلفا، بتا (الکترون)، بتای مثبت (پوزیترون) و گاما واپاشیده می‌شوند.

آلفا

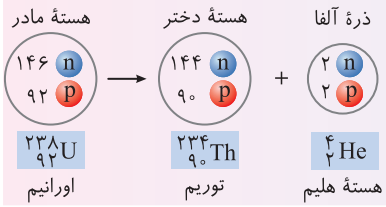
آلفا ذره است » آلفا از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده است. $(\alpha={}^{4}_{2}He)$

در واپاشی آلفازا، از عدد اتمی و عدد نوترونی دو واحد و از عدد جرمی چهار واحد کاسته می‌شود.

واپاشی آلفازا: ${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A-4}_{Z-2}Y+{}^{4}_{2}He$، هسته X را «هسته مادر» و هسته Y را «هسته دختر» می‌گویند.

در اثر ورود ذرات آلفا از راه تنفس و گوارش به بدن، بافت‌های بدن به شدت آسیب می‌بینند.

بُرد ذرات آلفا کم است و به سرعت جذب می‌شوند.



بتا

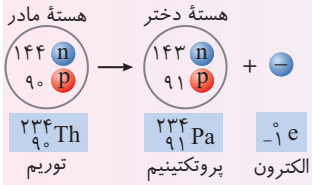
بتا ذره است.

در اثر واپاشی یک نوترون در هسته، بتا (الکترون) و یک پروتون ایجاد می‌شود.

${}^{1}_{0}n\rightarrow{}^{1}_{1}H+{}^{0}_{-1}e$

واپاشی بتازای منفی: ${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A}_{Z+1}Y+{}^{0}_{-1}e^{-}$

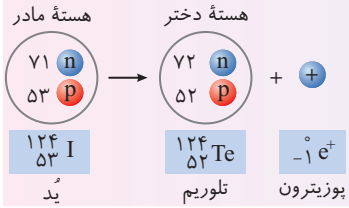
در واپاشی بتای منفی (الکترون)، عدد جرمی تغییر نمی‌کند و عدد اتمی یک واحد افزایش می‌یابد و عنصر به عنصر خانه بعدی جدول تناوبی تبدیل می‌شود.



بتای مثبت (پوزیترون): در اثر واپاشی یک پروتون ایجاد می‌شود: ${}^{1}_{1}H\rightarrow{}^{1}_{0}n+{}^{1}_{0}e^{+}$

واپاشی بتازای مثبت: ${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A}_{Z-1}Y+{}^{0}_{+1}e^{+}$

در این واپاشی عدد جرمی ثابت و عدد اتمی یک واحد کاهش می‌یابد.

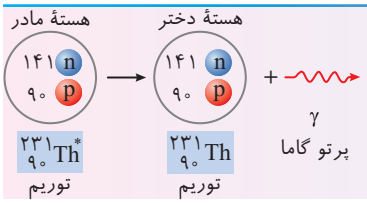


گاما

گاما موج الکترومغناطیسی است و همان ویژگی‌های پرتو X را دارد اما از آن پرانرژی‌تر است.

در واپاشی گاما عدد جرمی و عدد اتمی تغییر نمی‌کند. ${}^{A}_{Z}X^{*}\rightarrow{}^{A}_{Z}X+{}^{0}_{0}\gamma$

گسیل گاما اغلب با گسیل آلفا و بتا همراه است.



الگو یادآوری

۳ آشنایی با ساختار هسته (پرتوزایی)

قانون‌های پایستگی

۱ مجموع بار الکتریکی در دو طرف واکنش‌های هسته‌ای یکسان است.

۲ مجموع عدد جرمی در دو طرف واکنش‌های هسته‌ای یکسان است.

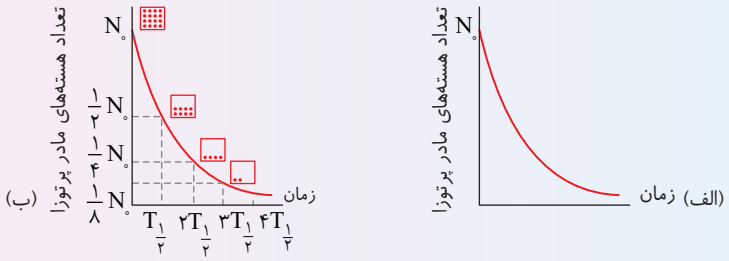
نیمه‌عمر ($T_{\frac{1}{2}}$)

نیمه‌عمر زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های پرتوزای موجود در یک نمونه به نصف برسد.

$N=\frac{N_0}{2^n}$ و $n=\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$ ← n تعداد نیمه‌عمرها و t زمان واپاشی

N_0 تعداد هسته‌های اولیه، N تعدادهسته‌های فعال باقیمانده

نمودارها



آشنایی با فیزیک هسته‌ای

راکتور شکافت هسته‌ای

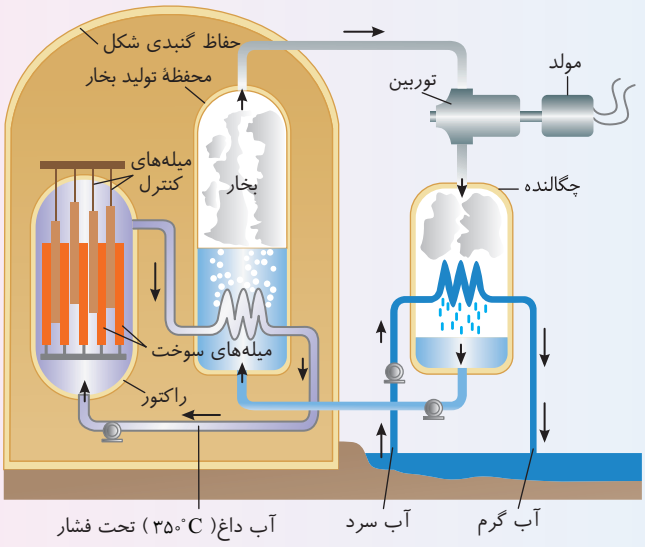
در واکنش شکافت نیاز به نوترون کند داریم.

از آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (اتم‌های کربن) به عنوان **کُندساز** نوترون‌ها استفاده می‌شود.

اجزای راکتور ← کندکننده، میله‌های کنترل، شاره‌ای مانند آب برای خارج کردن گرما و سوخت هسته‌ای

میله‌های کنترل از جنس کادمیم یا بور هستند.

با وارد کردن میله‌های کنترل به داخل راکتور، آهنگ واکنش شکافت، یعنی تعداد نوترون‌های موجود برای به‌وجود آوردن شکافت، تنظیم می‌شود.



طرح‌واره‌ای از یک راکتور PWR و قسمت‌های اصلی یک نیروگاه شکافت هسته‌ای

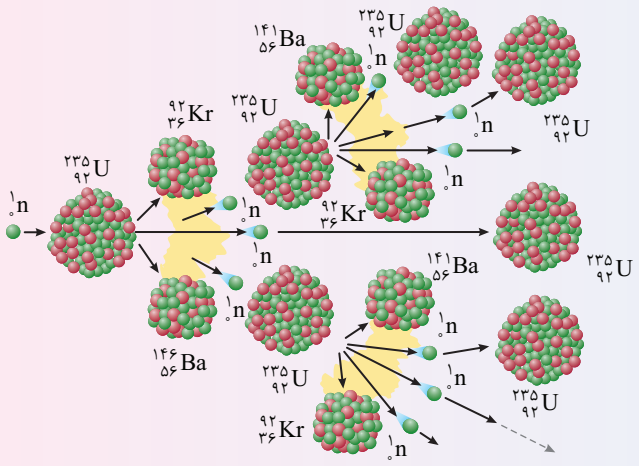
آشنایی با فیزیک هسته‌ای

شکافت هسته‌ای

- واپاشی یک هسته سنگین به دو هسته سبک را واکنش شکافت گویند.
- در واکنش شکافت، جرم محصولات واکنش از جرم هسته‌های اولیه کمتر است و اختلاف جرم طبق رابطهٔ $(E=mc^2)$ به انرژی تبدیل می‌شود.
- در واکنش شکافت، ابتدا یک نوترون کند توسط ایزوتوپ $^{235}_{92}U$ جذب شده و به $^{236}_{92}U^*$ تبدیل می‌شود، سپس واکنش شکافت رخ می‌دهد.
- هسته‌های سبک متفاوتی در واکنش شکافت ایجاد می‌شود که یک نمونه آن به شکل زیر است.

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow \underbrace{^{236}_{92}U^*}_{\text{هسته مرکب (ناپایدار)}} \rightarrow \underbrace{^{141}_{56}Ba}_{\text{باریم}} + \underbrace{^{92}_{36}Kr}_{\text{کریپتون}} + \underbrace{3\,^{1}_{0}n}_{\text{نوترون}} + \underbrace{200\,MeV}_{\text{انرژی}}$$

- با جذب نوترون، هستهٔ اورانیم شروع به ارتعاش کرده و تا جایی تغییر شکل می‌دهد که نیروی جاذبهٔ هسته‌ای دیگر نمی‌تواند با نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بین پروتون‌های هسته متوازن باشد و هسته به پاره‌های سبک که حامل انرژی (عمداً انرژی جنبشی) هستند، واپاشیده می‌شود.
- **واکنش زنجیری** ← اگر نوترون‌های آزاد شده در شکافت بتوانند به هسته‌های دیگر برخورد کنند و سبب واکنش‌های دیگر شوند، یک رشته از واکنش شکافت ایجاد می‌شود که به آن واکنش زنجیری گویند.



گداخت (همجوشی) هسته‌ای

- در فرایند گداخت هسته‌ای، دو هستهٔ سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هستهٔ سنگین‌تری به‌وجود می‌آورند.
- نمونه‌ای از واکنش گداخت:

$$\underbrace{^{2}_{1}D}_{\text{دوتریم}} + \underbrace{^{3}_{1}T}_{\text{تریتیم}} \rightarrow \underbrace{^{4}_{2}He}_{\text{هسته هلیم}} + \underbrace{^{1}_{0}n}_{\text{نوترون}}$$

- جرم محصولات گداخت هسته‌ای از جرم هسته‌های اولیه کمتر است و این اختلاف جرم با توجه به رابطهٔ $E=mc^2$ به انرژی تبدیل می‌شود.
- در واکنش گداخت، دو هسته‌ای که به هم نزدیک می‌شوند دارای بار مثبت‌اند و به شدت یکدیگر را دفع می‌کنند و مانع گداخت هسته‌ای می‌شوند و برای ایجاد گداخت باید دما بسیار بالا باشد تا هسته‌ها انرژی جنبشی لازم برای برخورد به هم را داشته باشند.
- برای شروع واکنش دوتریم - تریتیم، به دمایی حدود ده‌ها میلیون درجهٔ سلسیوس نیاز داریم.

غنی‌سازی

- در سنگ همدان اورانیم دو ایزوتوپ $^{235}_{92}U$ و $^{238}_{92}U$ وجود دارد.
- ۰/۷۲ درصد سنگ اورانیم، ایزوتوپ ^{235}U است.
- برای اورانیم ^{238}U احتمال واکنش شکافت بسیار کم است و واکنش زنجیره‌ای برای آن ناممکن است.
- برای کاربرد اورانیم در واکنش شکافت به اورانیم ^{235}U نیاز است. به فرایند افزایش درصد یا غلظت ایزوتوپ ^{235}U در یک نمونه **غنی‌سازی** می‌گویند.