

## حرکت شناسی

**مسافت:** مسافت یک کمیت اسکالر (ترده‌ای) است که برابر با طول مسیر طی شده می‌باشد و با  $\ell$  نشان داده می‌شود.

**جابجایی:** جابه‌جایی برداری است که مکان ابتدای حرکت را به مکان انتهای حرکت وصل می‌کند و به مسیر حرکت بستگی ندارد و با  $\vec{d}$

نشان داده می‌شود.

**سرعت متوسط:** برداری است که برابر با نسبت بردار جابه‌جایی به مدت زمان جابه‌جایی می‌باشد..

☑ بردار سرعت متوسط همواره (در هر نوع حرکتی و در هر مسیری) با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است.

☑ یکای SI سرعت، متر بر ثانیه است. یکای پرکاربرد سرعت، کیلومتر بر ساعت است. برای تبدیل واحد از متر بر ثانیه به کیلومتر بر

ساعت یا عکس به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\frac{m}{s} \times \frac{3}{6} \rightarrow \frac{km}{h} \quad \text{و} \quad \frac{km}{h} \div \frac{3}{6} \rightarrow \frac{m}{s}$$

**تندی متوسط:** کمیتی عددی است که برابر نسبت مسافت طی شده به مدت زمان طی کردن مسافت.

$$s_{av} = \frac{\ell}{\Delta t}$$

☑ تندی متوسط کمیتی عددی و سرعت متوسط کمیتی برداری است و یکای SI هر دو متر بر ثانیه است.

☑ در مدت زمان معین حرکت یک متحرک، همواره مسافت (تندی متوسط) بزرگتر یا مساوی اندازه جابه‌جایی (اندازه سرعت متوسط) است.

در صورتی این دو با هم برابرند که متحرک تغییر جهت نداده باشد. یعنی حرکت روی خط راست بدون بازگشت.

**مبدأ مکان (مبدأ):** نقطه‌ای که مکان متحرک در هر لحظه نسبت به آن سنجیده می‌شود. می‌توان هر نقطه‌ای را به عنوان مبدأ در نظر

گرفت. برای سادگی نقطه‌ای روی خط راست را مبدأ در نظر می‌گیریم و به آن مختصات  $X = 0$  یا  $Y = 0$  می‌دهیم.

**مکان اولیه (مبدأ حرکت):** به نقطه‌ای که متحرک از آن نقطه حرکت خود را آغاز می‌کند و یا مکان در لحظه‌ای که ما به بررسی حرکت

متحرک می‌پردازیم.

**بردار مکان:** برداری که در هر لحظه مبدأ مکان را به مکان متحرک وصل می‌کند.

☑ اگر متحرک در قسمت مثبت محور X باشد، بردار مکان در جهت محور و اگر متحرک در قسمت منفی محور باشد، بردار مکان خلاف جهت محور است.

☑ اگر متحرک در حال نزدیک شدن به مبدا مکان باشد، اندازه بردار مکان متحرک در حال کم شدن است و هنگامی که متحرک در حال دور شدن از مبدا باشد، اندازه بردار مکان در حال افزایش است.

**جابجایی در حرکت روی خط راست:** چون حرکت روی یک محور است از  $\Delta x$  و یا  $\Delta y$  استفاده می‌کنیم. اگر علامت جابه‌جایی مثبت باشد، جابه‌جایی در جهت محور و اگر علامت جابه‌جایی منفی باشد، جابه‌جایی خلاف جهت محور است.

☑ اگر متحرکی جابه‌جایی‌های پشت سر هم را در بازه‌های زمانی مختلف روی مسیر مستقیم طی کند، سرعت متوسط و تندی متوسط متحرک در کل حرکت برابر است با:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots} \quad s_{av} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots}$$

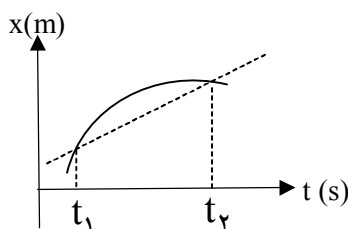
☞ اگر جابه‌جایی در خلاف جهت جابه‌جایی‌های دیگر باشد، مشخص است که علامت آن جابه‌جایی قرینه سایر جابه‌جایی‌ها خواهد بود. (یعنی تو فرمول سرعت متوسط علامت‌ها را فلز باه‌هایی‌ها قایم شده)

☑ اگر در یک حرکت متحرک مدتی توقف داشته باشد، زمان توقف در مدت زمان حرکت به حساب می‌آید.

**معادله مکان - زمان:** متحرک در هر لحظه از زمان در یک مکان قرار دارد. به رابطه‌ای که مکان متحرک را بر حسب زمان بیان می‌کند **معادله یا رابطه مکان - زمان** می‌گوییم.

**نمودار مکان - زمان:** نموداری است که محور افقی آن زمان و محور قائم آن مکان است. مکان متحرک در هر لحظه توسط این نمودار نشان داده می‌شود. نمودار مکان - زمان یک جسم همواره به صورت یک تابع است زیرا یک جسم در یک لحظه نمی‌تواند در دو مکان باشد و همچنین یک تابع پیوسته است زیرا جسم نمی‌تواند به طور ناگهانی از یک نقطه به نقطه دیگر که با آن فاصله دارد تغییر مکان دهد.

**سرعت متوسط:** شیب خط بین دو لحظه از نمودار مکان - زمان برابر سرعت متوسط بین آن دو لحظه است.



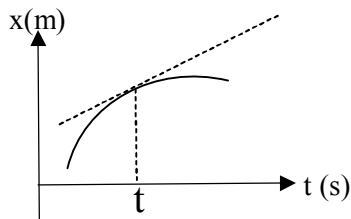
شیب خط چین برابر سرعت متوسط متحرک بین دو لحظه  $t_1$  و  $t_2$  است.

**سرعت لحظه‌ای:** به سرعت متحرک در هر لحظه می‌گوییم .

☑ علامت سرعت جهت حرکت متحرک را نشان می‌دهد. سرعت مثبت یعنی حرکت در جهت محور و سرعت منفی یعنی حرکت خلاف جهت محور است.

☑ اگر تنها اندازه سرعت لحظه‌ای بیان شود آن را **تندی لحظه‌ای** می‌نامیم.

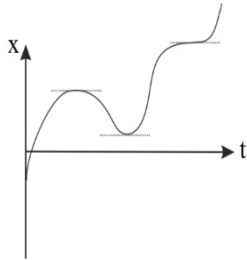
**تعیین سرعت لحظه‌ای:** شیب خط مماس بر نمودار مکان- زمان در هر لحظه برابر سرعت در آن لحظه است.



شیب خط‌چین برابر سرعت متحرک در لحظه  $t$  است.

**توقف:** صفر شدن سرعت (تندی) متحرک.

**تغییر جهت:** صفر شدن سرعت متحرک و تغییر علامت سرعت. (در حرکت روی فضا، مهمه که هم سرعت صفر بشه هم علامتش عوض بشه ها)



به عنوان مثال در نمودار روبرو، متحرک ۳ بار توقف کرده و ۲ تغییر جهت داده است .

☑ داشتن در نمودار مکان- زمان جایز نیست. (پهرا)

☑ بردار سرعت (سرعت لحظه‌ای) همواره بر مسیر حرکت مماس است.

**حرکت تندشونده:** حرکتی که در آن اندازه (قدر مطلق) سرعت در حال افزایش باشد.

**حرکت کندشونده:** حرکتی که در آن اندازه (قدر مطلق) سرعت در حال کاهش باشد.

تست های شماره ۱ تا ۷ حل شود.

$$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

**شتاب متوسط:** تغییرات بردار سرعت نسبت به زمان تغییرات.

☑ بردار شتاب متوسط همواره در جهت بردار **تغییرات سرعت** است. (جهت تغییرات سرعت با جهت بردار سرعت متفاوت است).

☑ اگر اندازه یا جهت بردار سرعت و یا هر دو تغییر کند، حرکت شتابدار است.

☑ حرکت روی **مسیر غیر خط راست** حتی اگر تندی ثابت باشد، قطعاً شتابدار است، زیرا جهت بردار سرعت در حال تغییر است.

**شتاب (شتاب لحظه‌ای):** شتاب متحرک در هر لحظه

**حرکت تندشونده:** حرکتی که در آن اندازه (قدر مطلق) سرعت در حال افزایش باشد. بردارهای سرعت و شتاب در حرکت تندشونده با

هم جهت هستند و به عبارتی حاصلضرب سرعت و شتاب مثبت می باشد. ( $av > 0$ )

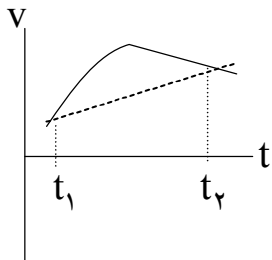
**حرکت کندشونده:** حرکتی که در آن اندازه (قدر مطلق) سرعت در حال کاهش باشد. بردارهای سرعت و شتاب در حرکت کندشونده در

خلاف جهت هم هستند و به عبارتی حاصلضرب سرعت و شتاب منفی می باشد. ( $av < 0$ )

**نمودار سرعت- زمان:** نموداری است که محور افقی آن محور زمان و محور قائم آن محور سرعت است. نمودار سرعت زمان مانند مکان -

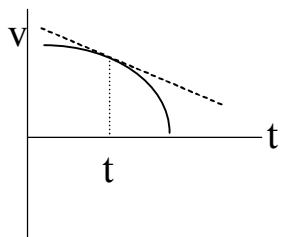
زمان پیوسته است.

**محاسبه شتاب متوسط:** شیب خط بین دو لحظه از نمودار سرعت- زمان برابر شتاب متوسط بین آن دو لحظه است.



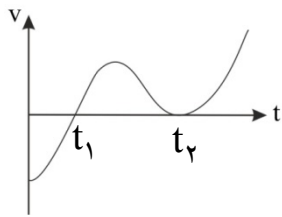
$$a_{av}(t_1 - t_2) = \text{شیب خط واصل بین دو لحظه}$$

**محاسبه شتاب لحظه‌ای:** شیب خط مماس در هر لحظه بر نمودار سرعت زمان برابر شتاب در آن لحظه است.



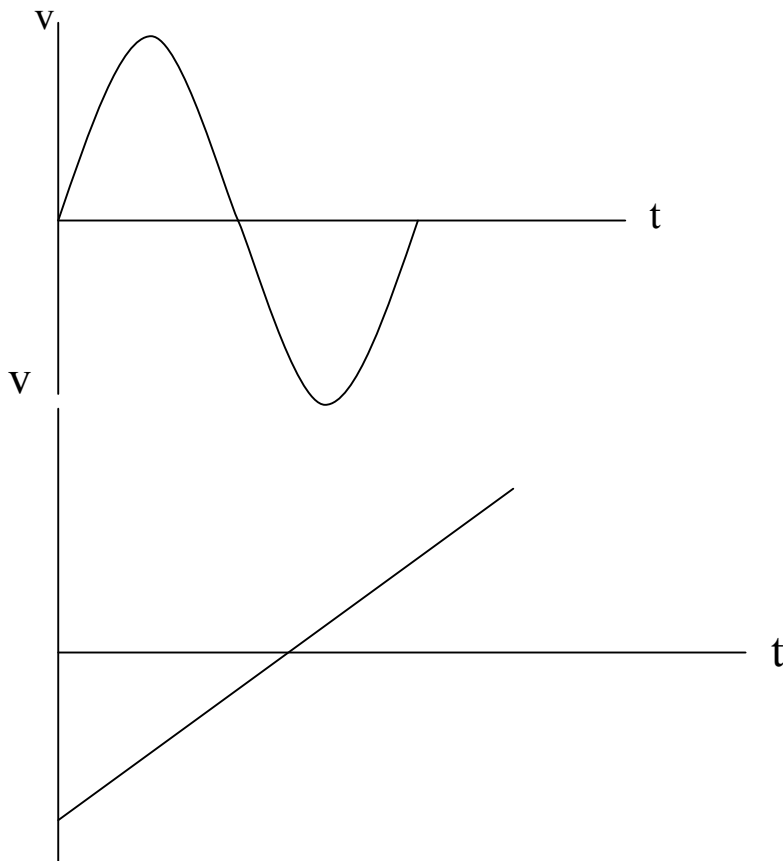
$$a_t = t \text{ شیب خط مماس در لحظه}$$

تعیین نقاط توقف و تغییر جهت حرکت:



لحظه  $t_1$  توقف و تغییر جهت است. لحظه  $t_2$  تنها توقف است.

تعیین تندشونده و کندشونده بودن حرکت و حرکت در جهت محور یا خلاف آن:



مساحت زیر نمودار سرعت - زمان:

تست های شماره ۸ تا ۱۴ رو حل کنید

## حرکت با سرعت ثابت

**حرکت یکنواخت:** حرکتی که در آن اندازه سرعت (تندی) ثابت است. در نتیجه مسیر می تواند به هر شکلی باشد و تنها کافی است تندی مقدارش ثابت باشد.

**حرکت با سرعت ثابت (حرکت یکنواخت روی خط راست):** حرکتی که در آن بردار سرعت ثابت است. در نتیجه مسیر باید به صورت خط راست باشد. در این حرکت اندازه سرعت متوسط در هر بازه زمانی با اندازه سرعت لحظه ای در هر لحظه ای با هم برابر است.

$$|\vec{v}_{av}| = |\vec{v}| = s_{av} = s$$

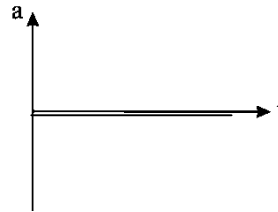
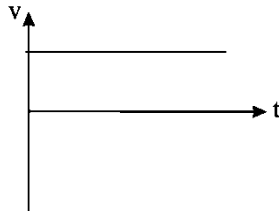
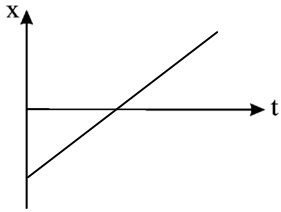
$$\Delta x = v \cdot \Delta t$$

**معادلات و نمودارهای حرکت با سرعت ثابت:**

$$x = vt + x_0$$

$$v(t) = v$$

$$a = 0$$



**سرعت نسبی:** اگر دو متحرک مستقل با تندی های ثابت  $v_1$  و  $v_2$  روی خط راست در دو جهت مختلف حرکت کنند، مثل این است که یکی ثابت و دیگری با تندی  $v_1 + v_2$  حرکت می کند و اگر در یک جهت حرکت کنند مثل این است که یکی ثابت و دیگری با تندی  $|v_1 - v_2|$  حرکت می کند.

تست های شماره ۱۵ تا ۱۷ رو حل کنید

### حرکت با شتاب ثابت

**حرکت با شتاب ثابت:** اگر شتاب متحرکی همواره ثابت باشد، شتاب لحظه‌ای و متوسط با هم برابر است که حرکت را شتاب ثابت می‌نامند.

**معادلات و نمودارهای حرکت شتاب ثابت:**

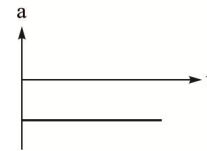
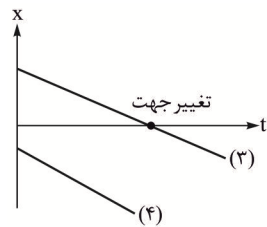
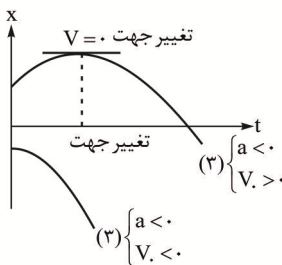
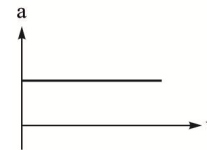
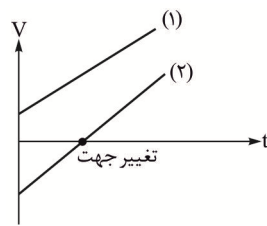
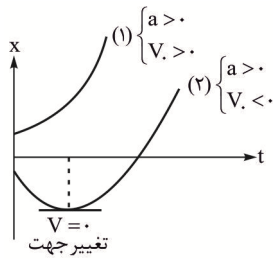
$$۱) x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$$۲) v = at + v_0$$

$$۳) v_{t_r} - v_{t_1} = a(x_{t_r} - x_{t_1})$$

$$۴) \Delta x_{(t_1, t_r)} = \left( \frac{v_{t_1} + v_{t_r}}{2} \right) \Delta t$$

$$۵) v_{av}(t_1, t_r) = \frac{v_{t_1} + v_{t_r}}{2} = v_{\frac{t_1+t_r}{2}}$$



**ویژگی های حرکت با شتاب ثابت:**

- ۱- نمودار مکان - زمان این حرکت به صورت سهمی است.
- ۲- نمودار سرعت زمان خط راست است.
- ۳- طبق فرمول شماره ۴، سرعت متوسط در یک بازه زمانی در این حرکت علاوه بر رابطه اصلی سرعت متوسط، از میانگین سرعت ابتدا و انتهای بازه زمانی به دست می‌آید.

۴- همچنین سرعت متوسط در یک بازه زمانی برابر با سرعت وسط آن بازه زمانی است. (مواستون باشه که فقط برای شتاب ثابت می تونید از

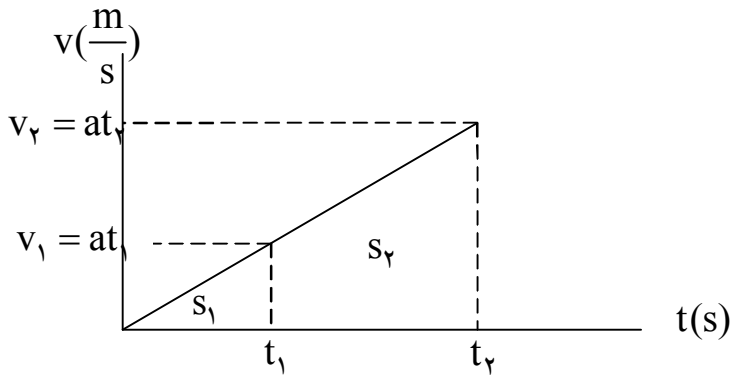
این رابطه ها سرعت متوسط رو به دست بیارید.)

۵- نمودار مکان- زمان نسبت به راس دارای تقارن است.

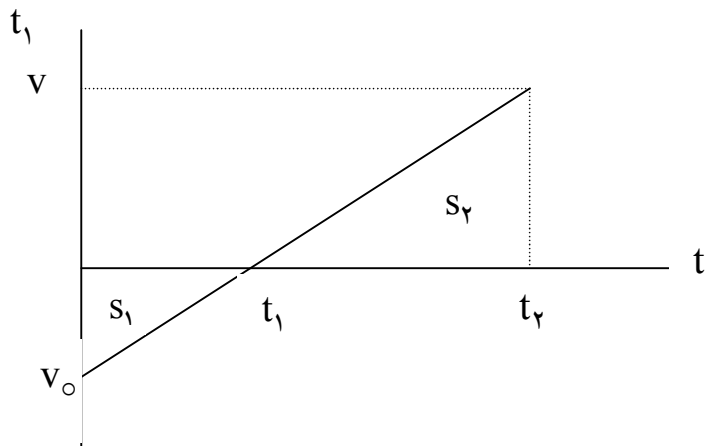
تکنیک حل تست های شتاب ثابت:

نمودار سرعت- زمان + معادله مستقل از زمان

☑ در تست های زیادی می توان روابط تشابه زیر را برای مسافت های طی شده در بازه های زمانی نوشت:



$$\frac{S_1}{S_2} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2$$



$$\frac{S_1}{S_2} = \left(\frac{t_1}{t_2 - t_1}\right)^2 = \left(\frac{v - v_0}{v}\right)^2$$

تست های شماره ۱۸ تا ۲۵ رو حل کنید



مسایل دو متحرک شتاب ثابت:

برای حل این مسایل آن ها را به دو دسته تقسیم می کنیم:

الف) تست ها و سوالاتی که شتاب حرکت یا سرعت حرکت هر دو متحرک ثابت است. برای حل این سوالات از معادله مکان- زمان دو متحرک استفاده می کنیم.

ب) تست ها و سوالاتی که شتاب و سرعت متحرک تغییر می کند. برای حل این سوالات نمودار سرعت- زمان دو متحرک را رسم کنیم.

تست های شماره ۲۶ تا ۲۹ رو حل کنید

## دینامیک

### توانس نیوتون

**نیرو:** اثر متقابل (برهم کنش) دو جسم روی یکدیگر است. نیرو می تواند سبب تغییر شکل جسم و تغییر سرعت جسم (جهت بردار سرعت و یا اندازه آن و یا هر دو) شود.

☑ نیرو کمیته برداری است ( یعنی آله قرار هست پندرتا نیرو رو جمع کنیم باید برداری جمع کنیم) که اندازه آن با نیروسنج اندازه گیری می شود و

یکای آن در SI نیوتون است که بر حسب یکاهای اصلی  $\frac{kg.m}{s^2}$  می باشد.

**قانون اول نیوتون:** اگر به جسمی نیرویی وارد نشود یا برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد، جسم اگر ساکن بوده است، ساکن می ماند و اگر در حرکت بوده است سرعت (جهت و اندازه) آن ثابت می ماند. به طور کلی می توان گفت اگر برآیند نیروها صفر باشد، **بردار سرعت** تغییر نمی کند.

☑ اگر نیروهای وارد بر جسم **متوازن** باشند، برآیند آن ها برابر صفر است و بردار سرعت جسم ثابت می ماند.

☑ اجسام تمایل دارند حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ کنند، این تمایل را **لختی (اینرسی)** می گوئیم. علت ادامه حرکت به جلوی ما در هنگام ترمز گرفتن اتوبوس لختی است.

**قانون دوم نیوتون:** اگر به جسمی نیرو یا نیروهایی وارد شود جسم شتابی پیدا می کند در جهت برآیند نیروها (نیروی خالص) که با اندازه برآیند نیروها رابطه مستقیم و با جرم جسم رابطه عکس دارد.

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

☑ جهت بردار شتاب (بردار تغییرات سرعت) در جهت برآیند نیروها است.

**قانون سوم نیوتون:** اگر جسم ۱ به جسم ۲ نیرویی وارد کند جسم ۲ نیز نیرویی با همان اندازه ولی در جهت مخالف به جسم ۱ وارد می کند.

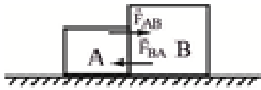
✓ ویژگی های نیروهای کنش و واکنش:

۱- این دو نیرو خلاف جهت هم و هم اندازه اند.

۲- این دو نیرو هم جنس اند.

۳- این دو نیرو به دو جسم مختلف وارد می شوند، بنابراین نمی توان گفت یکدیگر را خنثی می کنند.

✓ واکنش یک نیرو به عاملی که آن نیرو را وارد کرده است وارد می شود.



$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

تست های ۳۰ تا ۳۷ رو حل کنید.

### نیروهای خاص

(۱) **نیروی وزن:** زمین اجسام را به سمت خودش جذب می کند. برای جسمی که در نزدیک سطح زمین است، نیروی وزن برابر  $mg$  است و جهت آن به سمت پایین است.

(۲) **نیروی عمودی سطح ( $\vec{F}_N$ ):** از طرف هر سطحی بر جسمی که در تماس با آن قرار دارد نیرویی به صورت **عمود بر سطح** به جسم وارد می شود که آن را **نیروی عمودی سطح** می نامیم.

برای محاسبه  $F_N$  از قانون دوم نیوتون استفاده می کنیم. قانون دوم را برای راستای نیروی عمودی سطح به کار می بریم.

(۳) **نیروی اصطکاک:**

**الف) اصطکاک ایستایی:** هنگامی که جسم نسبت به سطح تماس ساکن است ظاهر می شود. مقدارش متغیر است و بستگی به نیرویی که جسم را می کشد دارد. مانند نیروی وارد بر یک جعبه که در کف یک کامیون در حال حرکت ثابت است. مانند راه رفتن روی سطح زمین.

نکات نیروی اصطکاک ایستایی:

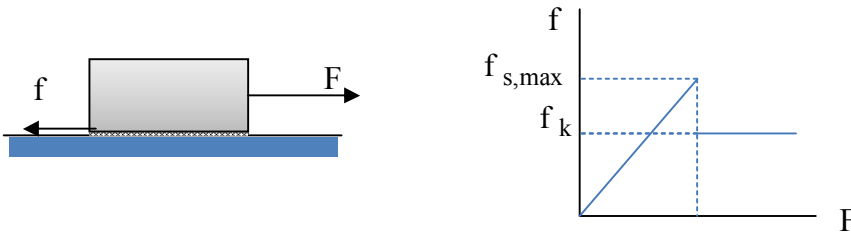
- ۱- تا زمانی که جسم نسبت به سطح حرکت نکرده است، نیروی اصطکاک ایستایی به جسم وارد می شود.
- ۲- نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه ای دارد که هنگامی که به این مقدار برسد، جسم در آستانه حرکت و یا شروع به لغزش می کند.
- ۳- در حالتی که جسم در آستانه حرکت است، علاوه بر اینکه همچنان نیروی اصطکاک با برابری نیروهایی که جسم را می خواهند حرکت دهند برابر می باشد از رابطه زیر نیز به دست می آید:

$$f_{s,max} = \mu_s \cdot F_N$$

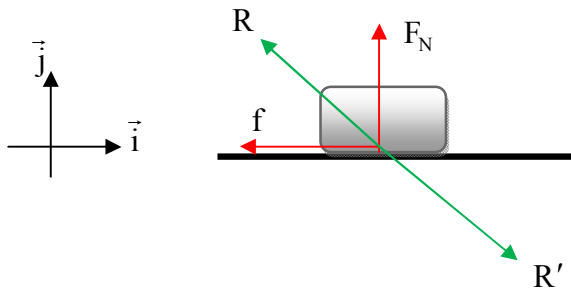
(ب) اصطکاک جنبشی: هنگامی که جسم نسبت به سطح تماس حرکت می کند ظاهر می شود. مقدارش ثابت است و به نیرویی که جسم را می کشد بستگی ندارد.

$$f_k = \mu_k \cdot F_N$$

نکته: اگر به جسم ساکنی که روی سطح افقی است، نیروی متغیر افقی  $F$  را وارد کنیم و اندازه آن را از صفر تا مقدار زیادی افزایش دهیم، نمودار  $f - F$  به صورت شکل زیر خواهد بود:



(۴) نیروی سطح (R): به برابری دو نیروی اصطکاک (ایستایی یا جنبشی) و نیروی عمودی سطح که هر دو از طرف سطح به جسم وارد می شوند، نیروی سطح می گوئیم.



$$\vec{R} = -f_k \vec{i} + F_N \vec{j} \quad , \quad \vec{R}' = +f_k \vec{i} - F_N \vec{j}$$

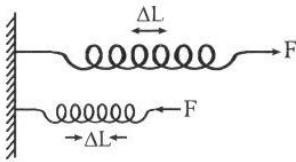
$$R = R' = \sqrt{N'^2 + f'^2}$$

☑ زاویه نیروی سطح با سطح برابر  $\tan \theta = \frac{F_N}{f}$  است.

☑ اگر جسمی در حال حرکت روی سطح باشد، زاویه نیروی سطح با سطح برابر است با:

$$\tan \theta = \frac{F_N}{f} = \frac{F_N}{\mu_k \cdot F_N} = \frac{1}{\mu_k}$$

☑ **نیروی فنر:** هنگامی که فنری را فشرده یا کشیده می‌کنیم، فنر به عامل این کار نیرویی وارد می‌کند. که این نیرو را نیروی فنر می‌نامیم.

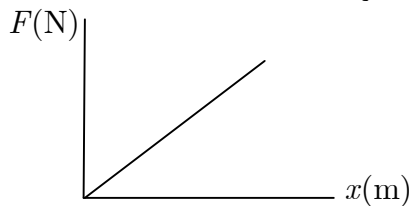


$$F_e = k|x|$$

$k$  ثابت فنر است که برای هر فنر مقداری مشخص است و یکای آن نیوتون بر متر است. جهت نیروی فنر به جسمی که آن را می‌کشد یا می‌فشارد همواره به سمتی است که می‌خواهد طول فنر را به طول عادی آن برساند.

☑ اگر دو انتهای فنر سبکی را با نیروی  $F$  بکشیم، همان نیروی  $F$  را در رابطه نیروی فنر قرار می‌دهیم.

☑ نمودار نیروی فنر بر حسب تغییرات طول فنر مطابق شکل است. شیب این نمودار برابر ثابت فنر است.



☑ طول فنر درون آسانسور هنگامی که یک جسم به آن متصل است از طول عادی آن (طول بدون وزنه) همواره بیشتر است. (مگر در حالتی که آسانسور با شتابی پایین سو و بیشتر از  $g$  که عملاً ممکن نیست حرکت کند).

☑ **نیروی مقاومت شاره:** هنگام حرکت جسمی درون شاره (مایع یا گاز) توسط شاره به جسم نیرویی در خلاف جهت حرکت آن وارد می‌شود که آن را نیروی مقاومت شاره می‌نامیم و با  $f_D$  نشان می‌دهیم. نیروی مقاومت شاره به جنس مایع، تندی حرکت جسم درون شاره (تندی نسبی) و مساحت تماس جسم با شاره بستگی دارد.

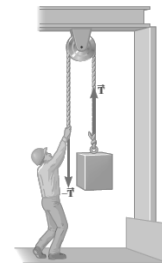
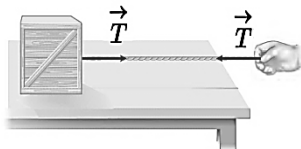
☑ نیروی مقاومت شاره به **ابعاد جسم** و **تندی جسم** و ... بستگی دارد. هرچه تندی جسم بیشتر باشد، اندازه نیروی مقاومت وارد بر آن نیز بیشتر است. هنگامی که جسمی در هوا سقوط می‌کند، تندی جسم ابتدا افزایش می‌یابد در نتیجه نیروی مقاومت افزایش می‌یابد و با نیروی وزن هم‌اندازه می‌شود. در این حالت تندی جسم به مقدار ثابتی می‌رسد که آن را **تندی حدی** می‌نامند.

☑ الف) اگر گلوله ای را در هوا به سمت بالا پرتاب کنیم اندازه شتاب هنگام بالا رفتن گلوله در هوا بیشتر از هنگام پایین آمدن آن است.

ب) اگر نیروی مقاومت هوا در حرکت دو گلوله برابر باشد، هرچه جرم گلوله بیشتر باشد، اندازه شتاب آن هنگام بالا رفتن کمتر و هنگام پایین آمدن بیشتر است.

پ) اگر دو گلوله مشابه که جرم متفاوت دارند، از یک ارتفاع رها شوند و نیروی مقاومت هوا وارد بر آن‌ها یکسان باشد، گلوله سنگین‌تر در زمان کمتر به زمین می‌رسد و تندی برخورد آن با زمین بیشتر است.

۷) **نیروی کشش طناب:** هنگامی که نخ متصل به یک جسم را می‌کشیم، مولکول‌های نخ به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. اگر جرم نخ ناچیز باشد، این نیرو بدون تغییر در اندازه به انتهای دیگر نخ می‌رسد. نخ و یا طناب بدون جرم به هر شکل (مستقیم یا با عبور از چند قرقره) تنها انتقال دهنده نیرو بدون تغییر در اندازه نیرو است.



☑ نیروی نخ یا طناب فقط کششی است.

تست های ۳۸ تا ۵۲ رو حل کنید.

تکانه (اندازه حرکت)

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

**تکانه:** کمیتی است برداری که واحد آن کیلوگرم در متر بر ثانیه است و برابر است با:

☑ جهت بردار تکانه همواره در جهت بردار سرعت است.

$$K = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow \begin{cases} K = \frac{p \cdot v}{2} \\ K = \frac{p^2}{2m} \end{cases}$$

☑ رابطه انرژی جنبشی و اندازه تکانه

### تغییرات تکانه:

$$\Delta \vec{p} = m \Delta \vec{v}$$

☑ تغییرات تکانه در یک بازه زمانی هم جهت با شتاب متوسط و هم جهت با نیروی خالص متوسط است. توجه کنید که تغییرات سرعت به صورت برداری محاسبه می شود نه عددی.

**نیروی متوسط:** در برخوردها می توان از تغییرات تکانه برای محاسبه نیروی خالص متوسط استفاده کرد.

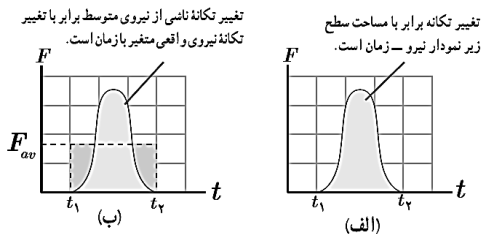
$$\vec{F}_{\text{net,av}} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

### نکات نمودارها:

۱- شیب خط بین دو لحظه از نمودار تکانه بر حسب زمان برابر نیروی متوسط وارد بر جسم در مدت زمان بین آن دو لحظه است.

۲- شیب خط مماس بر نمودار تکانه بر حسب زمان در هر لحظه برابر نیروی وارد بر جسم در آن لحظه است.

۳- سطح زیر نمودار نیرو- زمان برابر با تغییرات تکانه است.

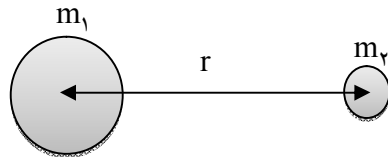


☑ اگر در تستی نیرو یا شتاب متغیر داشته باشیم از سطح زیر نمودار استفاده می کنیم.

تست های ۵۳ تا ۵۷ رو حل کنید.

گرایش

نیروی گرانش:



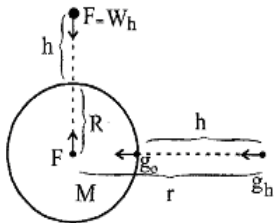
$$\vec{F}_{r1} = -\vec{F}_{r2}$$

$$F_{r1} = F_{r2} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$r$  فاصله‌ی مرکز دو جرم از یکدیگر است و نه فاصله‌ی سطح دو جسم از هم.

$G$  ثابت جهانی گرانش است که مقدار و یکای آن  $\frac{N \cdot m^2}{kg^2}$   $6.67 \times 10^{-11}$  است.

**شتاب گرانش:** اگر یکی از جسم‌ها زمین باشد داریم نیروی گرانش همان نیروی وزن می‌باشد. در این حالت شتاب گرانش زمین برابر است با:



$$W_o = G \frac{M_e}{R_e^2} m \rightarrow g_o = G \frac{M_e}{R_e^2}$$

جسم روی سطح زمین:

$$W_h = G \frac{M_e}{(R_e + h)^2} m \rightarrow g_h = G \frac{M_e}{(R_e + h)^2}$$

جسم در ارتفاع  $h$  از سطح زمین:

☑ رابطه بالا برای هر سیاره‌ای قابل استفاده است. توجه کنید که جرم یک جسم ثابت است ولی وزن آن می‌تواند تغییر کند.

☑ نسبت وزن یک جسم در سطح یک سیاره به وزن آن در ارتفاع  $h$  از سطح آن سیاره برابر است با:

$$\frac{W_o}{W_h} = \frac{g_o}{g_h} = \left( \frac{R+h}{R} \right)^2$$

$R$  شعاع سیاره

☑ اگر سیاره‌ای با چگالی  $\rho$  و شعاع  $r$  داشته باشیم، شتاب گرانش در سطح سیاره برابر است با:

$$g = \frac{GM}{r^2} \xrightarrow[m = \rho V]{V = \frac{4}{3} \pi r^3} g = \frac{4}{3} \pi G \rho r$$

تست های ۵۸ تا ۶۰ رو حل کنید.



## کار و انرژی

### انرژی

انرژی کمیته نرده‌ای (عددی) است. یکای انواع انرژی‌ها ژول  $(\frac{kg \cdot m^2}{s^2})$  می‌باشد.

**الف) انرژی جنبشی (K):** انرژی که اجسام به دلیل داشتن تندی دارند. این انرژی همواره مقداری مثبت یا صفر است.

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

در رابطه انرژی جنبشی  $v$  تندی (اندازه سرعت) جسم بر حسب  $\frac{m}{s}$  و  $m$  جرم جسم بر حسب  $kg$  است.

نکات انرژی جنبشی:

(۱) **جهت بردار سرعت** تاثیری در مقدار انرژی جنبشی ندارد و تنها تندی مهم است.

(۲) نسبت انرژی جنبشی دو جسم و یا یک جسم در دو شرایط مختلف برابر است با:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2$$

(۳) درصد تغییرات انرژی جنبشی برابر  $100 \times \frac{\Delta K}{K_1}$  است.

(۵) رابطه انرژی جنبشی و تکانه به صورت زیر است:

$$K = \frac{p^2}{2m}, \quad K = \frac{pv}{2}$$

**ب) انرژی پتانسیل گرانشی ( $U_g$ ):** انرژی پتانسیل گرانشی جسم در ارتفاع  $h$  از سطح مبدا پتانسیل گرانشی برابر است با:

$$U_g = mgh$$

نکات انرژی پتانسیل گرانشی:

(۱) انتخاب سطح مبدا پتانسیل گرانشی دلخواه است که در مقدار انرژی پتانسیل گرانشی اثر می‌گذارد اما در تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی تاثیری ندارد.

(۲) انرژی پتانسیل گرانشی می‌تواند مثبت یا منفی و یا صفر باشد.

(۳) برای اجسامی که دارای ابعاد هستند، تمام جرم جسم را در مرکز جرم (در شکل‌های هندسی متقارن مرکز جرم همان مرکز هندسی است) در نظر می‌گیریم و ارتفاع و تغییر ارتفاع مرکز جرم را برای محاسبه انرژی پتانسیل و انرژی پتانسیل گرانشی در نظر می‌گیریم.

(پ) انرژی پتانسیل کشسانی فنر ( $U_e$ ): انرژی که در مجموعه یک فنر فشرده یا کشیده و جسمی که آن را فشرده یا کشیده است ذخیره می‌شود. این انرژی همواره مقداری مثبت و یا صفر است. هر چه تغییرات طول فنر از طول عادی آن بیشتر شود انرژی پتانسیل ذخیره شده در آن نیز بیشتر می‌شود. (در کتاب درسی فرمولی برای انرژی پتانسیل کشسانی فنر وجود ندارد.)

☑ تغییرات انرژی پتانسیل کشسانی می‌تواند مثبت و یا منفی و یا صفر باشد. هنگامی که طول فنر به طول عادی فنر نزدیک شود، انرژی ذخیره شده در فنر کاهش می‌یابد.

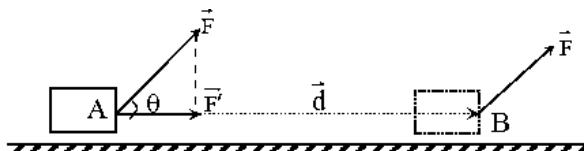
(ت) انرژی مکانیکی ( $E$ ): مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل یک سامانه را انرژی مکانیکی می‌نامیم.

$$E = U + K$$

(ث) انرژی درونی: مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ذرات یک جسم.



کمیتی است نرده‌ای که می‌تواند مثبت، صفر و منفی باشد. کار یک نیرو برابر حاصلضرب اندازه نیرو در اندازه جابه‌جایی نقطه اثر نیرو در کسینوس زاویه بین بردار نیرو و جابه‌جایی است.



$$W_F = |\vec{F}| |\vec{d}| \cos \theta$$

نکات کار:

(۱) یکای کار نیوتون در متر است که ژول نامیده می‌شود.  $1 N \times m = 1 J$

۲) زاویه بین نیرو و جابه‌جایی، زاویه بین این دو بردار هنگامی که از یک نقطه رسم شوند، می‌باشد.

۳) علامت کار به مقدار زاویه  $\theta$  بستگی دارد.

$$\begin{cases} 0^\circ \leq \theta < 90^\circ & \rightarrow W_F > 0 \\ \theta = 90^\circ & \rightarrow W_F = 0 \\ 90^\circ < \theta \leq 180^\circ & \rightarrow W_F < 0 \end{cases}$$

☑ به طور مفهومی اگر نیرویی سبب افزایش تندی جسم شود یا بخواهد تندی جسم را افزایش دهد، کار آن مثبت، اگر سبب کاهش تندی شود کار آن منفی است و اگر تندی را ثابت نگه دارد، کار آن صفر است.

۴) اگر نیرو به صورت  $\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j}$  و جابه‌جایی به صورت  $\vec{d} = d_x \vec{i} + d_y \vec{j}$  باشد، کار نیروی  $F$  در جابه‌جایی  $d$  برابر است با:

$$W_F = F_x \cdot d_x + F_y \cdot d_y$$

توجه کنید که علامت مولفه‌های نیرو و جابه‌جایی در رابطه بالا وارد می‌شوند.

۵) اگر نیرویی در یک مسیر همواره بر جابه‌جایی عمود باشد، کار نیرو در طی مسیر برابر صفر است.

☑ در تمام مثال‌های زیر کار نیرو برابر صفر است.

الف) کار نیروی گرانش روی ماهواره‌ای که دور زمین در حال چرخش است.

ب) کار نیروی کشش طناب آونگ در حرکت گلوله آونگ.

پ) کار نیروی عمودی سطح در حرکت یک جسم روی یک سطح (منحنی یا صاف)

ت) کار نیروی مغناطیسی روی ذره باردار متحرک

نیروهای پایستار و ناپایستار:

کار نیروهای الکتریکی، گرانشی به مسیر حرکت بستگی ندارند و تنها نقطه شروع و پایان مسیر مهم است. این نیروها را نیروهای پایستار می‌نامیم.

کار نیروی اصطکاک، مقاومت‌هوا و ... به مسیر حرکت بستگی دارد که این نیروها را نیروهای ناپایستار می‌نامیم.

کار نیروی وزن: کار نیروی وزن به مسیر بستگی ندارد و برابر قرینه تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی است.

$$W_{mg} = -\Delta U$$

$$W_{mg} = \pm mg |\Delta h|$$

☞ اگر ارتفاع جسم از سطح زمین افزایش یابد، تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی مثبت و کار نیروی وزن منفی است و اگر ارتفاع جسم از سطح زمین کاهش یابد، تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی منفی و کار نیروی وزن مثبت است.

کار نیروی فنر: کار نیروی فنر برابر قرینه تغییرات انرژی پتانسیل کشسانی درون فنر است.

$$W_e = -\Delta U_e$$

☑ اگر نیروی فنر سبب افزایش تندی جسم شود کار آن مثبت و بالعکس. بنابراین هنگامی که فنر به نقطه تعادل خود نزدیک می‌شود کار آن مثبت و هنگامی که از نقطه تعادل دور می‌شود، کار آن منفی است.

کار نیروی الکتریکی: کار نیروی الکتریکی برابر قرینه تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی است. در یک میدان یکنواخت الکتریکی داریم:

$$W_E = -\Delta U_E$$

$$W_E = F_E d \cos \theta = E |q| d \cos \theta$$

روش‌های محاسبه کار کل:

۱- محاسبه کار تک‌تک نیروها و جمع جبری کارها  
۲- محاسبه نیروی برآیند (نیروی خالص) و محاسبه کار نیروی برآیند

تست های ۶۱ تا ۶۵ رو حل کنید.

قضیه کار و انرژی جنبشی

$$W_t = W_f + W_v + \dots = K_f - K_i$$

☑ اگر کار نیرویی که برای آن فرمولی نداریم و یا محاسبه اندازه نیرویی که فرمول آن را نداریم، می‌توانیم از قضیه کار و انرژی جنبشی استفاده کنیم. همچنین می‌توان بزرگی نیرو و یا متوسط آن را به دست آورد.

☑ کار نیروهای ائتلافی منفی است.

☑ چون در فصل دینامیک فیزیک دوازدهم به بررسی حرکت یک جسم روی خط راست می‌پردازیم، تست‌های که مسیر غیر خط راست دارند یا چند جسم را داریم، با قضیه کار و انرژی جنبشی باید تست را حل کنیم.

قانون پایستگی انرژی: در یک سامانه منزوی انرژی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود و تنها از حالتی به حالت دیگر تبدیل می‌شود.

پایستگی انرژی مکانیکی: اگر نیروی ناپایستار نباشد و یا کاری انجام ندهد، انرژی مکانیکی پایسته می ماند.

تست های ۶۶ تا ۷۲ رو حل کنید.

### توان و بازده

نسبت کار به مدت زمان انجام کار و یا انرژی به مدت زمان دریافت یا مصرف انرژی را توان می نامیم.

نسبت توان مفید به توان کل را بازده یا راندمان دستگاه می نامیم.

☑ در دستگاه های الکتریکی توان مطرح شده برای وسیله توان الکتریکی آن است. بسته به اینکه توان الکتریکی ، توان ورودی یا خروجی وسیله باشد، توان بیان شده توان ورودی و خروجی خواهد شد. مثلا اگر برای ژنراتوری توان در صورت سوال مطرح شود منظور توان خروجی آن است زیرا ژنراتور تولیدکننده انرژی الکتریکی است. اگر برای بالابر یا آسانسور و یا پمپ آب توانی مطرح شود، منظور توان ورودی است زیرا این ها مصرف کننده انرژی الکتریکی هستند.

$$P = \frac{W}{t} \quad , \quad P_{in} = \frac{E_{in}}{t} \quad , \quad P_{out} = \frac{E_{out}}{t}$$

$$Ra\% = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

تست های ۷۲ تا ۷۵ رو حل کنید.

## نوسان

### مفاهیم نوسان

**حرکت نوسان دوره‌ای:** به حرکت دوره‌ای که پس از مدت معینی تکرار می‌شود، حرکت نوسانی می‌گوییم. مانند حرکت آونگ یک ساعت، ضربان قلب

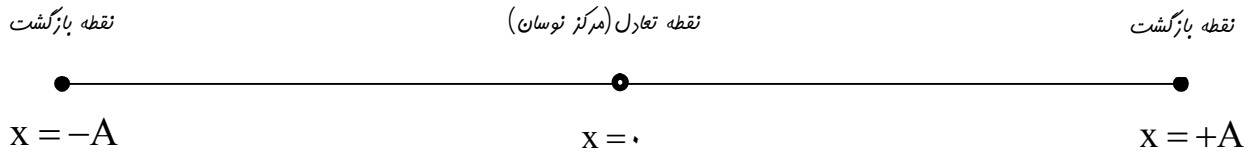
**حرکت هماهنگ ساده:** حرکت نوسانی که دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد را حرکت نوسانی ساده می‌نامیم.

۱- مسیر حرکت یک **خط راست** می‌باشد.

۲- نقطه تعادل (نقطه‌ای که برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر است) دقیقاً در **وسط مسیر** قرار دارد.

۳- حرکت نسبت به نقطه تعادل دارای **تقارن** باشد.

۴- همواره نیرویی نوسانگر را به سمت مرکز نوسان برمی‌گرداند که این نیرو با فاصله نوسانگر از مرکز نوسان تناسب دارد.



**دامنه:** بیشترین فاصله وزنه از نقطه تعادل که نصف طول پاره خط نوسان است.

**قانون هوک:** همواره نیرویی نوسانگر را به سمت مرکز تعادل باز می‌گرداند که این نیرو با فاصله نوسانگر تا مرکز تعادل متناسب است.

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

**نوسان کامل:** یک نوسان کامل یعنی نوسانگر به شرایط اولیه خود (مکان، تندی و جهت حرکت اولیه) برگردد.

**دوره نوسان (T):** مدت زمان یک نوسان کامل.

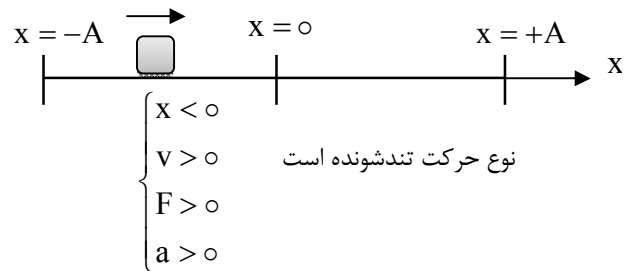
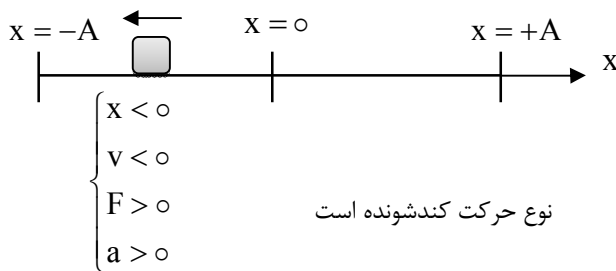
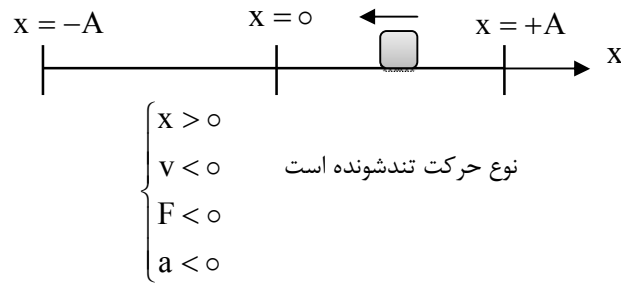
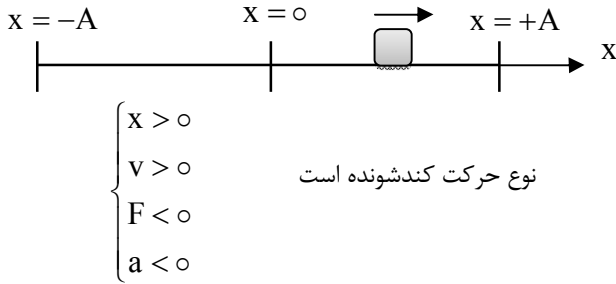
$$f(\text{Hz}) = \frac{1}{T(\text{s})} \quad \text{بسامد نوسان (f): تعداد نوسان های کامل در یک ثانیه}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \text{بسامد زاویه‌ای:}$$

در هر دوره نوسان: ۲ بار نیرو، شتاب و سرعت و مکان صفر متحرک می‌شوند و ۲ بار نیز به بیشینه مقدار خود می‌رسند.

حرکت هماهنگ ساده یک حرکت **شتابدار با شتاب متغیر** است.

نوع حرکت در هر قسمت مسیر حرکت نوسانی :

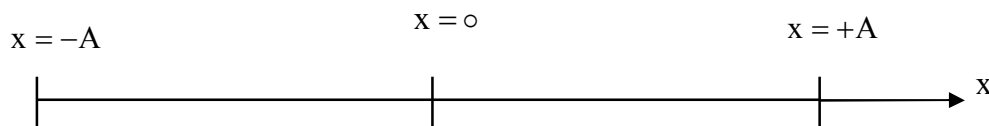


با توجه به حالات بالا:

۱- بردار مکان و بردار شتاب (نیرو) همواره **خلاف جهت** یکدیگر هستند.

۲- هر گاه نوسانگر در **حال نزدیک شدن** به نقطه تعادل است، نوع حرکت آن **تندشونده** و هر گاه در **حال دور شدن** از نقطه تعادل است نوع حرکت **کندشونده** است.

سه نقطه مهم در حرکت نوسانی :

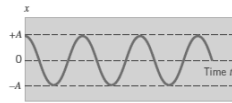
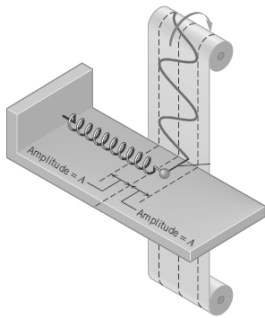


$x = -A$	$x = 0$	$x = +A$	مکان
$v = 0$	$v = \pm v_{\max} = \pm A\omega$	$v = 0$	سرعت
$F = + F_{\max}  = mA\omega^2$	$F = 0$	$F = - F_{\max}  = -mA\omega^2$	نیرو
$a = + a_{\max}  = A\omega^2$	$a = 0$	$a = - a_{\max}  = -A\omega^2$	شتاب
$U_{\max} = \frac{1}{2}kA^2$	$U = 0$	$U_{\max} = \frac{1}{2}kA^2$	انرژی پتانسیل
$K = 0$	$K_{\max} = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$	$K = 0$	انرژی جنبشی

تست های ۷۶ تا ۷۸ رو حل کنید.

معادله حرکت نوسانی

اگر مطابق شکل یک مداد را به یک جرم در حال حرکت نوسانی ساده متصل کنیم، و صفحه کاغذی را با تندی ثابت مقابل مداد حرکت دهیم، نمودار مکان- زمان حرکت هماهنگ ساده یک تابع کسینوسی رسم می شود.



$$x = A \cos(\omega t)$$

مماسه زمان در جابجایی نوسانگر

برای محاسبه زمان جابجایی باید زاویه طی شده در آن جابجایی محاسبه شود. برای یک جابجایی ابتدا زاویه مربوط به مکان ابتدا و انتها را به دست می آوریم. سپس تغییرات زاویه را تعیین می کنیم.

نکته: اگر نوسانگری با یک بار تغییر جهت از مکان  $x$  به  $-x$  برسد، مدت حرکتش نصف دوره نوسان است. در این مدت مسافت  $2A$  را طی می کند.

☑ پند کمترین و بیشترین مهم:

(۱) کمترین مدت زمان برای طی کردن مسافتی به اندازه  $l$ ، مدتی است که نوسانگر  $\frac{l}{4}$  مسیر را قبل از رسیدن به  $x = 0$  و  $\frac{l}{4}$  مسیر را پس از عبور از  $x = 0$  طی می کند.

(۲) بیشترین مدت زمان برای طی کردن مسافتی به اندازه  $l$ ، مدتی است که نوسانگر  $\frac{l}{4}$  مسیر را قبل از رسیدن به  $x = \pm A$  و  $\frac{l}{4}$  مسیر را پس از عبور از  $x = \pm A$  طی می کند.

(۳) بیشترین مسافتی طی شده در مدت  $\Delta t$ ، مسافتی است که نوسانگر  $\frac{\Delta t}{4}$  زمان را قبل از رسیدن به  $x = 0$  و  $\frac{\Delta t}{4}$  زمان را پس از عبور از  $x = 0$  طی می کند.

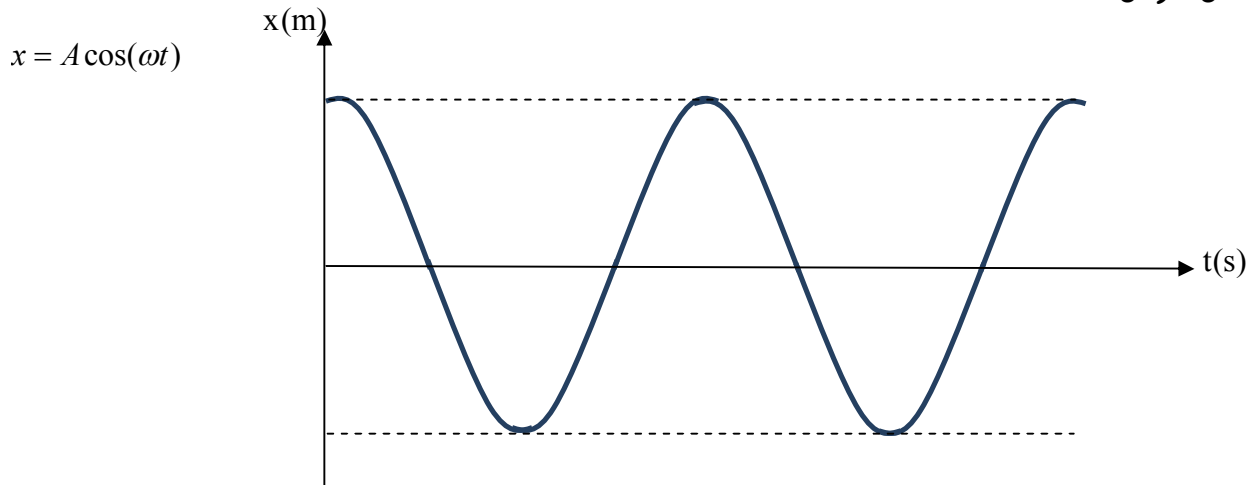


۴) کمترین مسافتی طی شده در مدت  $\Delta t$ ، مسافتی است که نوسانگر  $\frac{\Delta t}{\pi}$  زمان را قبل از رسیدن به  $x = \pm A$  و  $\frac{\Delta t}{\pi}$  زمان را پس از عبور از  $x = \pm A$  طی می کند.

☑ برای پیدا کردن مسافت طی شده، تعداد تغییرجهت ها، تندی متوسط، حرکت تند و کند و ... در یک بازه زمانی ابتدا باید مسیر طی شده در آن بازه زمانی را پیدا کنیم.

تست های ۷۹ تا ۸۴ رو حل کنید.

نمودار مکان - زمان :



تست های ۸۵ تا ۸۷ رو حل کنید.

دو نوسانگر مهم

۱- نوسانگر وزنه و فنر: اگر وزنه‌ای به جرم  $m$  به فنری با ثابت  $k$  وصل باشد و در حال نوسان باشد، داریم:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

☑ بسامد زاویه‌ای، دوره نوسان و بسامد به دامنه نوسان بستگی ندارند.

☑ اگر جرم نوسانگر در عبور از دامنه کم شود دامنه ثابت و بسامد افزایش می‌یابد.

اگر جرم نوسانگر در عبور از نقطه‌ای به جز دامنه کم شود دامنه کاهش و بسامد افزایش می‌یابد.

۲- نوسانگر آونگ: اگر زاویه انحراف یک آونگ از وضعیت قائم آن کم باشد ( $\theta \leq 6^\circ$ ) و جرم طناب آونگ ناچیز، حرکت گلوله آونگ را می‌توان روی خط راست و یک حرکت هماهنگ ساده در نظر گرفت. در این صورت اگر طول آونگ  $L$  و شتاب گرانش در محل  $g$  باشد، داریم:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

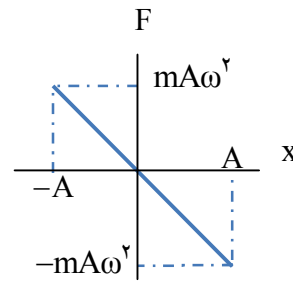
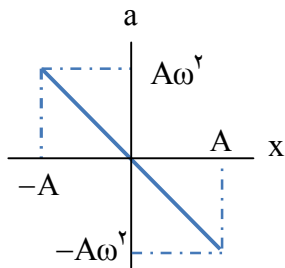
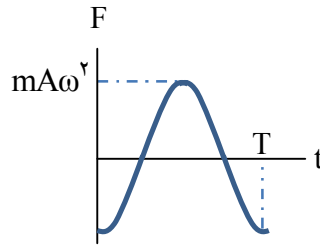
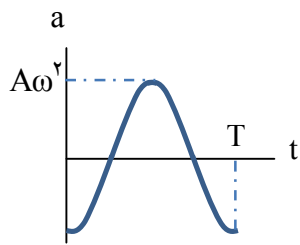
☑ بسامد زاویه‌ای، دوره نوسان و بسامد به جرم گلوله آونگ بستگی ندارند.

تست های ۸۸ تا ۹۲ رو حل کنید.

رابطه و نمودار شتاب (نیرو) و مکان در حرکت نوسانی مطابق زیر است:

$$\left. \begin{array}{l} \vec{F} = -k\vec{x} \\ \vec{F} = m\vec{a} \end{array} \right\} \Rightarrow \vec{a} = -\frac{k}{m}\vec{x} \xrightarrow{\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}} ۱) \vec{a} = -\omega^2\vec{x}$$

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow ۲) \vec{F} = -m\omega^2\vec{x}$$

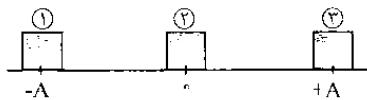


تست های ۹۳ تا ۹۶ رو حل کنید.

### انرژی نوسانگر

انرژی نوسانگر وزنه و فنر: در هر لحظه نوسانگر و فنر دارای انرژی های جنبشی و پتانسیل می باشند که مجموع آنها را انرژی مکانیکی می نامیم.

(نوسان روی سطح بدون اصطکاک انجام می شود).

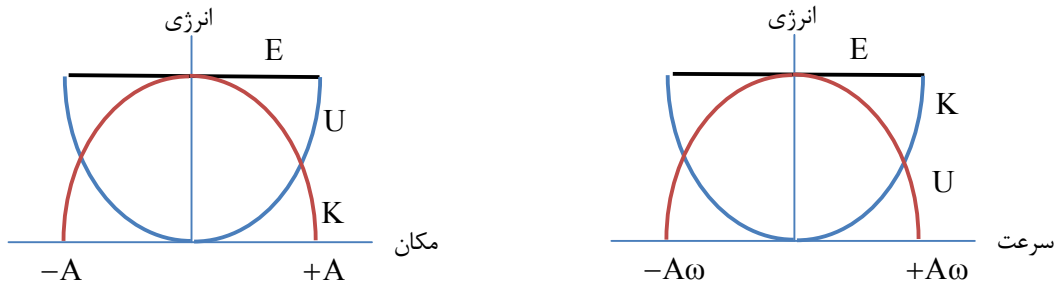


$$E_p = E_v = U_{\max} = \frac{1}{2}kA^2$$

$$E_v = K_{\max} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

$$E = 2\pi^2 mA^2 f^2$$

نمودارهای انرژی بر حسب مکان و سرعت :



هنگامی که تندی نوسانگر  $\frac{\sqrt{2}}{2}A$  برابر تندی بیشینه و مکان نوسانگر  $\frac{\sqrt{2}}{2}A$  است، انرژی جنبشی و پتانسیل نوسانگر با هم برابر و هر کدام نصف انرژی مکانیکی هستند. در نمودارهای بالا این لحظه در نقاطی است که نمودارها انرژی جنبشی و پتانسیل یکدیگر را قطع می کنند.

تشدید:

هنگامی که نیروی خارجی به صورت متناوب به یک نوسانگر وارد شود دامنه نوسان تغییر می کند. اگر بسامد نیروی خارجی با بسامد طبیعی نوسانگر برابر باشد، دامنه نوسان به بیشترین مقدار می رسد. در این حالت می گوئیم تشدید رخ داده است.

تست های ۹۷ تا ۱۰۳، رو حل کنید.

## موج

### مفاهیم موج

#### دسته بندی موج:

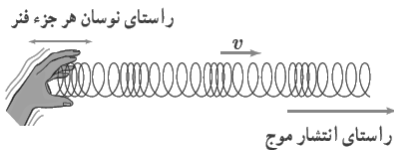
۱- از نظر ماهیت موج، امواج به دو دسته تقسیم می شوند:

**مکانیکی:** در این موجها یک منبع مکانیکی نوسان می کند و انرژی مکانیکی خود را به ذرات مجاور خود می دهد و این انتقال انرژی بین ذرات صورت می گیرد. این امواج برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند و در خلا منتشر نمی شوند. مانند: موجهای صوتی، موجهای روی سطح آب.

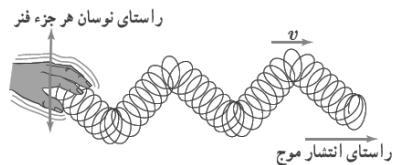
**الکترومغناطیسی:** نوسان بارهای الکتریکی عامل تولید این موجها هستند. این امواج برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند و علاوه بر محیطهای مادی در خلا هم منتشر می شوند. مانند: نور، امواج رادیویی.

منشا (عامل تولید) امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی متفاوت است، اما مشخصه های امواج یکسان است و رفتار آنها از قاعده کلی پیروی می کند.

۲- از نظر راستای نوسان نقاط محیط و جهت انتشار موج، امواج به دو دسته تقسیم می شوند:



**طولی:** راستای نوسان ذرات هم راستا با راستای انتشار موج



**عرضی:** راستای نوسان ذرات عمود بر راستای انتشار موج

به موجهای عرضی و طولی که در محیط پیشروی می کنند (از نقطه ای به نقطه دیگر حرکت می کنند) و انرژی را با خود منتقل می کنند، موجهای پیشرونده گفته می شود.

#### مشخصه های موج:

۱- دامنه موج ( $A$ ): بیشینه فاصله یک نقطه از مکان تعادل.

۲- دوره تناوب ( $T$ ): مدت زمانی که هر ذره محیط یک نوسان کامل انجام می دهد که برابر با دوره نوسان منبع موج برابر است.

۳- بسامد ( $f$ ): تعداد نوسانهای انجام شده هر ذره محیط در یک ثانیه که برابر با بسامد منبع موج است.

۴- تندی انتشار موج ( $v$ ): موج در یک محیط همگن با تندی ثابت حرکت می کند.  $(v = \frac{\ell}{\Delta t})$  این تندی تنها به جنس و ویژگی های محیط بستگی دارد.

۵- طول موج ( $\lambda$ ): مسافتی که موج در محیط در مدت یک دوره نوسان طی می کند.  $\lambda = v.T = \frac{v}{f}$

☑ بسامد (دوره) موج، تنها به منبع موج بستگی دارد و تنها هنگامی تغییر می کند که بسامد منبع تغییر کند. (به محیط بستگی ندارد).

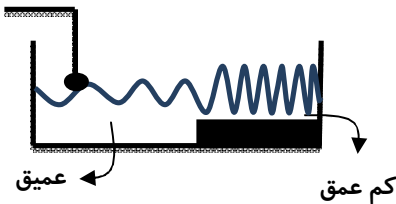
☑ تندی انتشار موج تنها به محیط انتشار (جنس محیط) و ویژگی های محیط انتشار بستگی دارد و هنگامی که محیط عوض شود، تندی انتشار تغییر می کند. (به منبع بستگی ندارد). به عنوان مثال تندی انتشار صوت در آب بیشتر از هوا است.

☑ در یک موج دو نوع حرکت داریم. حرکت خود موج در محیط که با تندی ثابت انجام می شود و حرکت ذرات محیط که حرکت نوسانی است.

☑ در آب های با عمق کم، تندی انتشار موج در سطح آب عمیق بیشتر از آب های کم عمق است. بنابراین با افزایش عمق آب تندی انتشار موج و در نتیجه طول موج نیز افزایش می یابد. اگر در یک تشت آب که عمق یک قسمت آن کمتر از عمق قسمت دیگر است، موج هایی ایجاد شود، داریم:

الف) تندی انتشار موج در قسمت عمیق بیشتر از قسمت کم عمق است.  $v_1 > v_2$ .

نوسانگر



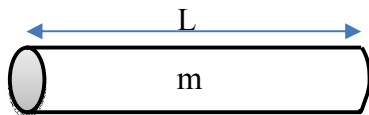
ب) بسامد با تغییر محیط و ویژگی های محیط تغییر نمی کند و به منبع موج بستگی دارد و با تغییر محیط و یا ویژگی های آن تغییر نمی کند و بسامد موج در قسمت کم عمق و عمیق با هم برابر است.  $f_1 = f_2$ .

پ) طول موج ایجاد شده در قسمت عمیق طبق رابطه  $\lambda = \frac{v}{f}$  و موارد الف و ب در

قسمت عمیق بیشتر از قسمت کم عمق است.  $\lambda_1 > \lambda_2$ .

محاسبه تندی انتشار موج عرضی در طناب، تار یا فنر :

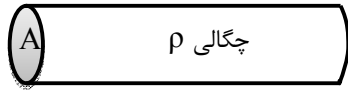
در طناب همگنی به جرم  $m$  و طول  $L$  یک موج سینوسی ایجاد می کنیم. تندی انتشار موج در یک فنر با قطر کم یا تار یا ریسمان کشیده شده برابر است با:



$$v = \sqrt{\frac{F}{m/L}} = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

در رابطه بالا  $\mu$  چگالی خطی جرم نامیده می شود که با بریدن طناب تغییر نمی کند.

برای طناب و یا سیم (تار) می توان از رابطه زیر نیز تندی انتشار موج عرضی را به دست آورد:

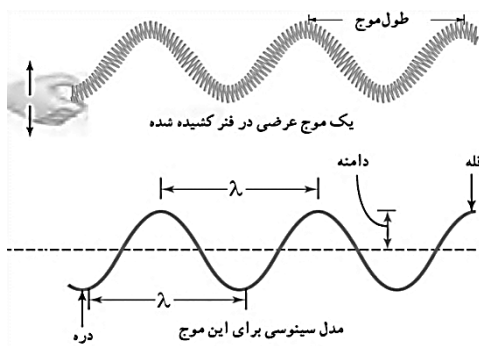


$$m = \rho V = \rho AL \Rightarrow v = \sqrt{\frac{F}{\rho AL/L}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

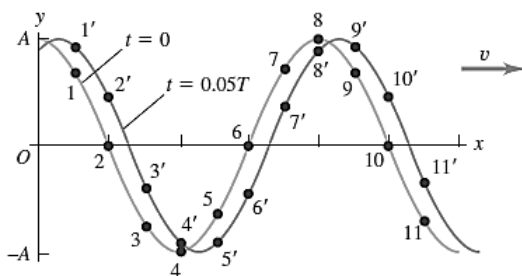
در رابطه بالا چگالی بر حسب  $\frac{kg}{m^3}$  و مساحت مقطع سیم بر حسب  $m^2$  جایگذاری می شود.

**نقش موج:** اگر موج عرضی در حال انتشار در یک محیط باشد و در یک لحظه از آن عکس بگیریم، عکس به دست آمده آن را نقش موج می نامیم. اطلاعات به دست آمده از نقش موج عبارتند از:

(۱) طول موج و دامنه نوسان نقاط



(۲) تعیین جهت حرکت نوسانی هر نقطه: برای تعیین جهت حرکت یک ذره از موج در یک لحظه، نقش موج را مدت کمی بعد از آن لحظه رسم می کنیم تا جهت حرکت هر نقطه در آن لحظه مشخص شود. به عنوان راه دیگر می توان گفت هر نقطه در جهتی نوسان می کند که به مکان نوسانی نقطه قبل خود البته روی محور نوسان خودش برسد.



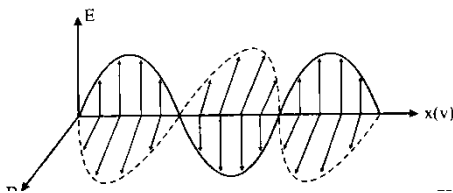
**انتقال انرژی در موج عرضی:**

هنگام انتشار موج مکانیکی عرضی در محیط، ابتدا نوسانگر انرژی را به نقطه مجاور خود می‌دهد و با انتشار موج این انرژی به صورت انرژی جنبشی و پتانسیل در محیط انتقال می‌یابد. در واقع هر ذره از محیط برای ذره بعدی به عنوان یک منبع برای نقطه بعدی عمل می‌کند. برای تمام امواج، مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) در یک موج سینوسی با مربع دامنه ( $A^2$ ) و نیز مربع بسامد ( $f^2$ ) موج متناسب است.

تست های ۱۰۴ تا ۱۱۵ رو حل کنید.

**امواج الکترومغناطیسی**

**تولید موج الکترومغناطیسی:**

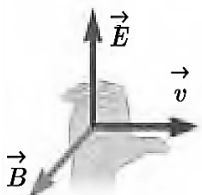


با نوسان بارهای الکتریکی در یک آنتن، میدان الکتریکی و مغناطیسی در فضای اطراف تغییر می‌کند. تغییرات میدان الکتریکی سبب تولید میدان مغناطیسی که متغیر می‌باشد، می‌کند و

این روند ادامه می‌یابد. بنابراین این رابطه متقابل میدان‌ها، سبب انتقال نوسان‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از یک نقطه فضا به نقاط دیگر و یا همان انتشار موج می‌شود.

**ویژگی‌های میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی موج الکترومغناطیسی:**

- ۱- میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی با بسامد یکسان و هم‌گام با یکدیگر نوسان می‌کنند. هر دو با هم صفر شده و با هم بیشینه می‌شوند.
- ۲- میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر هم عمودند. هر دو میدان بر راستای انتشار موج عمود می‌باشد. طبق قاعده دست راست ۴ انگشت جهت  $E$ ، کف دست جهت  $B$  و انگشت شست جهت انتشار را نشان می‌دهد.





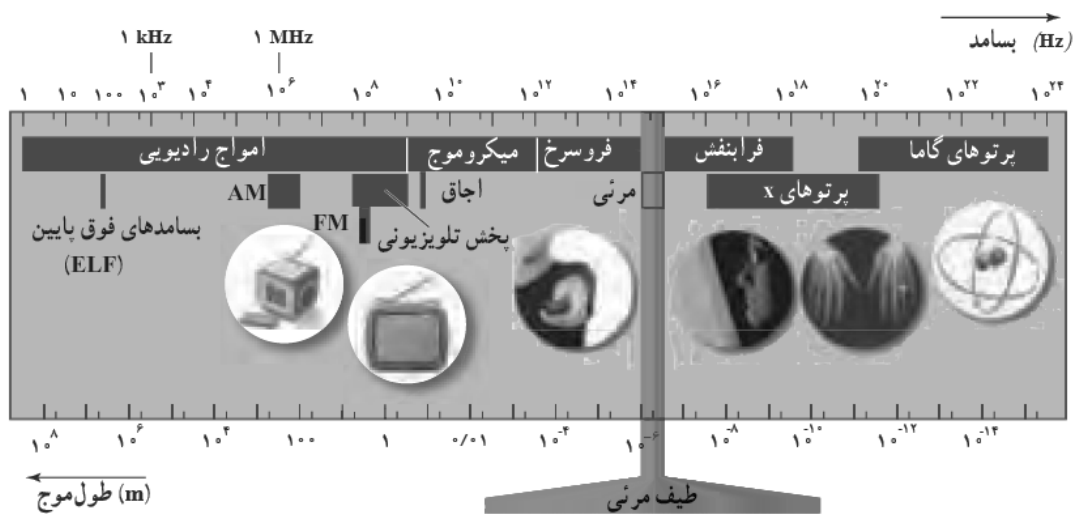
ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی:

- ۱- حامل انرژی هستند و برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند و در خلا نیز منتشر می‌شوند.
- ۲- در خلا دارای تندی یکسان و بیشترین تندی خود را دارند ولی در محیط‌های دیگر تندی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است.
- ۳- موج عرضی هستند و حامل بار الکتریکی نمی‌باشند و در میدان الکتریکی و مغناطیسی منحرف نمی‌شوند.
- ۴- عامل اصلی تولید امواج الکترومغناطیس بارهای الکتریکی شتابدار می‌باشد.
- ۵- امواج الکترومغناطیسی انرژی را به صورت انرژی میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی منتقل می‌کنند.

**تندی امواج الکترومغناطیسی:** در خلا تندی امواج الکترومغناطیسی با یکدیگر برابر است. امواج الکترومغناطیسی در خلأ بیشترین تندی را دارند که

این تندی برابر  $C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$  است در محیط‌های دیگر تندی امواج مغناطیسی کمتر شده و با یکدیگر متفاوت می‌باشد.

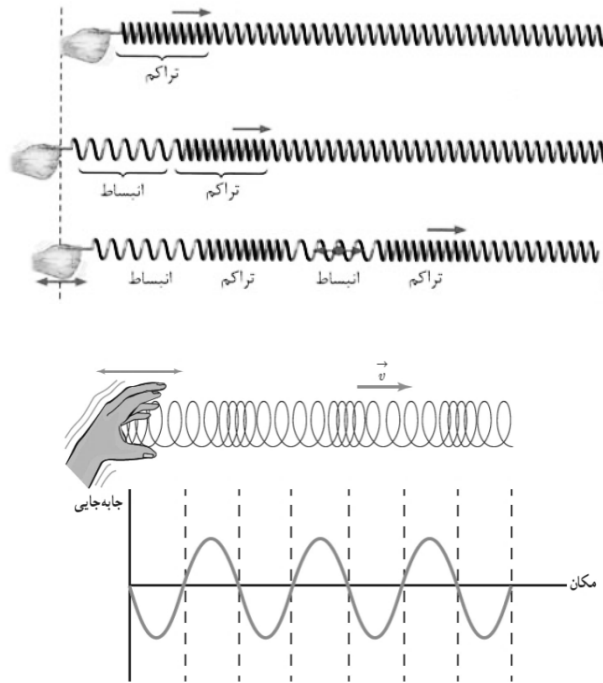
**طیف امواج الکترومغناطیسی:** طیف پیوسته امواج الکترومغناطیسی مطابق شکل زیر است: (مفط باشید)



تست های ۱۱۶ تا ۱۱۸ رو حل کنید

موج طولی

در موج طولی راستای نوسان ذرات محیط با راستای انتشار موج یکسان است. در موج طولی مجموعه‌ای از تراکم‌ها و انبساط‌ها در محیط منتشر می‌شوند. در یک لحظه از زمان، در مکان‌هایی که بیشترین جمع‌شدگی یا بیشترین بازشدگی را در محیط داریم، جابجایی هر جز از فتر برابر صفر است. در وسط فاصله بین یک جمع‌شدگی و یک بازشدگی بیشینه مجاور هم، اندازه جابجایی هر جز محیط از وضعیت تعادل بیشینه است.



✓ تندی انتشار موج مکانیکی طولی در یک محیط جامد بیشتر از تندی انتشار امواج عرضی در همان محیط است.

✓ دو نوع از امواج لرزه‌ای امواج P (امواج طولی) و امواج S (امواج عرضی) هستند. تندی موج‌های P بیشتر از تندی موج‌های S است.

تست های ۱۱۹ تا ۱۲۰ رو حل کنید.

## صوت

### ویژگی های صوت :

۱- صوت یک موج مکانیکی است (تمام موارد ذکر شده برای امواج مکانیکی برای صوت هم صادق است). بنابراین در خلا منتشر نمی‌شود.

۲- صوت یک موج طولی است.

۳- در یک محیط همگن با تندی ثابت حرکت می‌کند.

✓ همانند موج طولی ایجاد شده در فتر، در وسط یک تراکم یا انبساط جابه‌جایی ذرات از وضع تعادل صفر است.

### نکات صوت:

- ۱- معمولا هر چه نیروهای بین مولکولی قوی تر باشد، تندی انتشار صوت در آن محیط بیشتر است.
  - ۲- هنگامی که صوت از یک محیط به محیط دیگر می‌رود، بسامد ثابت، تندی و طول موج تغییر می‌کنند.
  - ۳- تندی انتشار موج در جامد بیشتر از مایع و در مایع بیشتر از گازها است.
  - ۴- با افزایش دما تندی صوت در جامد و مایع کاهش می‌یابد ولی در گازها افزایش می‌یابد.
- شدت صوت:** انرژی صوتی که در واحد زمان به واحد سطح به صورت عمود می‌رسد.

$$I = \frac{\frac{E}{t}}{s} = \frac{\bar{P}}{s}$$

در رابطه بالا  $\bar{P}$  آهنگ متوسط انتقال انرژی و  $s$  مساحت سطحی است که صوت به آن می‌رسد. یکای شدت صوت در SI برابر  $\frac{W}{m^2}$  است.

$$\checkmark \text{ کمترین شدت صوتی که می‌توان شنید را آستانه شنوایی می‌نامند و برای گوش معمولی در بسامد } 1000 \text{ Hz برابر } 10^{-6} \frac{\mu W}{m^2} = 10^{-12} \frac{W}{m^2} \text{ است.}$$

$\checkmark$  نسبت شدت صوت دریافتی شنونده ۱ و ۲ که به ترتیب فاصله  $d_1$  و  $d_2$  از دو منبع صوت با دامنه‌های  $A_1$  و  $A_2$  و بسامدهای  $f_1$  و  $f_2$  در حال نوسان و تولید صوت هستند برابر است با:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

**تراز شدت صوت:** درک انسان از بلندی صدا

$$\beta = \log \frac{I}{I_0} \quad (B) \quad \beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (dB)$$

$I_0$  شدت مرجع است که برابر  $10^{-6} \frac{\mu W}{m^2} = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$  است. اگر شدت صوتی با شدت صوت مرجع برابر باشد به زحمت می‌توان آن را شنید.

$\checkmark$  اگر شدت صوت تغییر کند (در اثر تغییر دامنه نوسان منبع، تغییر بسامد منبع، تغییر فاصله شنونده و یا هم‌زمان تغییر دو یا سه عامل) تراز شدت صوت نیز تغییر می‌کند. داریم:

$$\beta_2 - \beta_1 = \log \frac{I_2}{I_1} \quad (b) \quad \beta_2 - \beta_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \quad (db)$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

تست های ۱۲۱ تا ۱۲۶ رو حل کنید.

## ادراک شنوایی

تن صدا: صوت‌های حاصل از یک منبع که حرکت نوسانی ساده و یا حرکتی شبیه آن انجام می‌دهد «تن صدا» می‌گوییم. هر تن دارای دو ویژگی مهم ارتفاع و بلندی است. این دو ویژگی به ادراک شنوایی ما مربوط است.

ارتفاع: بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند. (بسامد صدا زبری و بمی صدا را تعیین می‌کند. هر چه بسامد صدا بیشتر باشد، آن زیرتر است.)  
بلندی: شدت صوتی است که گوش انسان درک می‌کند. (بلندی با شدت صوت متفاوت است. شدت توسط یک وسیله اندازه‌گیری می‌شود ولی بلندی درک انسان از شدت صوت است.)

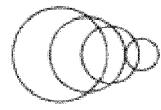
☑ گستره شنوایی گوش انسان در محدوده بسامدهای  $20\text{ Hz}$  تا  $20000\text{ Hz}$  است. حساسیت گوش انسان به بسامد بستگی دارد. بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گستره  $2000\text{ Hz}$  تا  $5000\text{ Hz}$  است.

## اثر دوپلر

تغییر بسامد شنیده شده توسط یک شنونده از یک منبع صوت هنگامی که منبع و شنونده نسبت به هم در حال حرکت هستند را اثر دوپلر می‌نامیم. به دقت به شکل‌های زیر توجه کنید.

هنگامی که فاصله منبع و شنونده در حال کم شدن باشد، بسامد شنیده شده بیشتر از بسامد منبع خواهد بود. هنگامی که فاصله منبع و شنونده در حال زیاد شدن باشد، بسامد شنیده شده کمتر از بسامد منبع خواهد بود.

☑ طول موج رسیده به شنونده تنها به سرعت منبع بستگی دارد و سرعت شنونده تاثیری در طول موج ندارد. به شکل‌های زیر دقت کنید:



تست های ۱۲۷ تا ۱۲۸ رو حل کنید.

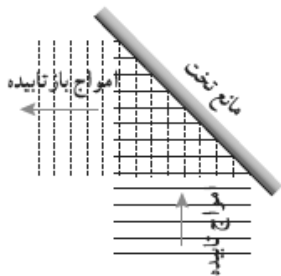
بازتاب امواج

هنگامی که یک موج به مانع می‌رسد، بازتاب می‌شود. اگر مطابق شکل زیر یک تپ در تار که به دیوار بسته شده است، منتشر شده و به سمت دیوار حرکت کند، هنگامی که تپ به دیوار می‌رسد، به دیوار نیرویی وارد می‌کند، طبق قانون سوم نیوتون دیوار نیز نیرویی به طناب در جهت مخالف وارد می‌کند و دیوار برای طناب مانند یک منبع عمل می‌کند و موجی وارونه نسبت به موج قبل را برمی‌گرداند. این بازتاب، بازتاب یک‌بعدی است زیرا موج در یک بعد منتشر و بازتاب شده است.

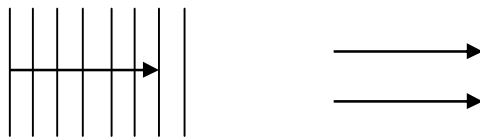


**پرتو:** پیکان مستقیمی است که عمود بر جبهه‌های موج است که جهت انتشار را نشان می‌دهد.

برای سادگی در رسم و درک بازتاب به جای جبهه‌های موج می‌توان پرتو موج را رسم کرد. و بازتاب موج را توسط پرتوهای موج نشان داد.

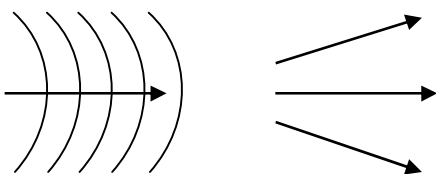


نمودار پرتویی امواج تخت و امواج کروی مطابق شکل‌های زیر است.



مدل پرتویی موج تخت (تعداد پرتوهای رسم شده دلخواه است ولی برای

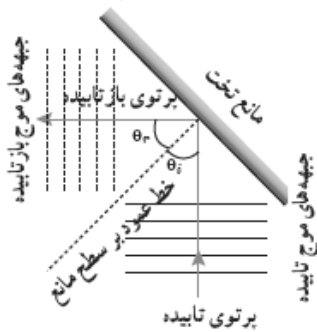
نشان دادن تخت یا کروی بودن حداقل دو پرتو باید رسم شود.)



مدل پرتویی موج کروی

**زاویه تابش ( $\theta_i$ ):** زاویه بین پرتوی تابش و نیم خط عمود بر سطح را زاویه تابش می نامیم. این زاویه با زاویه جبهه‌های موج تابیده با سطح برابر است.

**زاویه بازتاب ( $\theta_r$ ):** زاویه بین پرتوی بازتاب و نیم خط عمود بر سطح را زاویه بازتابش می نامیم. این زاویه با زاویه جبهه‌های موج بازتابیده با سطح برابر است.



☑ در بازتاب یک موج، تندی موج و بسامد و طول موج بازتابی و تابیده با هم برابر است.

### قوانین بازتاب امواج:

برای هر موجی (مکانیکی و الکترومغناطیسی) و برای هر سطح بازتاب‌دهنده (هموار، ناهموار، تخت، کروی و ...) دو قانون زیر همواره برقرار است:

۱- زاویه تابش با زاویه بازتابش برابر است. ( $\theta_i = \theta_r$ )

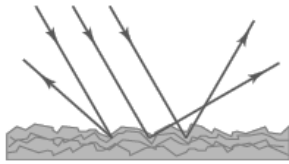
۲- پرتو تابش و بازتاب و نیم خط عمود بر سطح هر سه در یک صفحه قرار دارند.

☑ در سطوح کروی اگر یک دسته پرتو موازی به سطح بتابند، در نقطه‌ای به نام کانون بازتاب یا امتداد بازتاب آن‌ها به هم می‌رسد و می‌گویند پرتوها کانونی شده‌اند. به عنوان مثال در آنتن‌های بشقابی از مانع کروی، اجاق خورشیدی از مانع کروی، میکروفون سهموی از سطح سهموی، دستگاه لیتوتریپسی برای شکستن سنگ‌های کلیه از سطح بیضوی برای کانونی کردن پرتوها استفاده می‌شود.

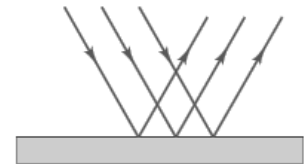
### بازتاب

**الف) سطح هموار** یعنی ابعاد ناهمواری‌های سطح در مقایسه با طول موج موجی که به سطح می‌تابد بسیار کوچک است و سطح برای آن موج هموار به حساب می‌آید. به عنوان مثال ناهمواری‌های سطح یک آینه بسیار کوچک‌تر از طول موج نور مرئی است و برای نور مرئی سطح هموار به حساب می‌آید. سطح ناهموار یعنی ابعاد ناهمواری‌های سطح در مقایسه با طول موج موجی که به سطح می‌تابد بسیار بزرگ است و سطح برای موج ناهموار به حساب می‌آید.

ب) اگر یک دسته پرتو موازی به یک سطح هموار بتابد، پرتوهای بازتاب نیز موازی خواهند بود و تنها در یک راستا می‌توان پرتوهای بازتاب را دید. بازتاب از سطوح هموار را بازتاب آینه‌ای یا منظم می‌نامیم. اگر یک دسته پرتو موازی به سطح ناهموار بتابد پرتوهای بازتاب نامنظم خارج می‌شوند و بازتاب از سطوح ناهموار را بازتاب پخشنده یا نامنظم می‌نامیم.



بازتاب نامنظم یا پخشنده



بازتاب منظم یا آینه‌ای

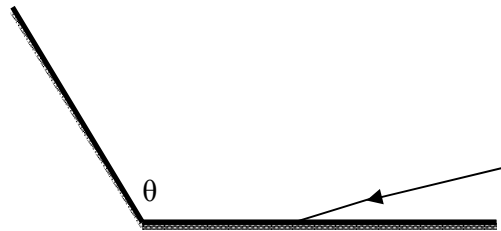
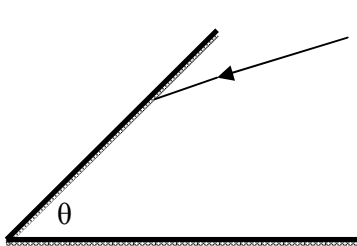
پ) در بازتاب آینه‌ای پرتوهای بازتابش یک دسته پرتو موازی را تنها در یک جهت می‌توان دید ولی در بازتاب پخشنده در تمام جهات می‌توان پرتوها را دید.

ث) بازتاب صوت از مانع را پژواک می‌نامیم.

ج) حداقل فاصله زمانی بین صدای اصلی و پژواک آن باید  $1/8$  باشد تا گوش انسان بتواند آن را تشخیص دهد.

چ) مکان‌یابی پژواکی روشی است که بر اساس امواج صوتی بازتابیده از یک جسم، مکان آن جسم را تعیین می‌کند. مکان‌یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر، در تعیین مکان اجسام متحرک و نیز تعیین تندی آن‌ها به کار می‌رود. همین‌طور در فناوری‌هایی نظیر اندازه‌گیری تندی شارش خون در رگ‌ها نیز از این روش استفاده می‌شود. همچنین در دستگاه سونار که در کشتی‌ها برای مکان‌یابی اجسام زیر آب به کار می‌رود، از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود. برای استفاده از مکان‌یابی پژواکی ابعاد مانع باید از طول موج بیشتر باشد.

☑ اگر یک پرتو دو بار توسط دو مانع تخت (یک بار توسط هر مانع) بازتاب شود، زاویه انحراف به زاویه تابش بستگی ندارد و برابر است با:



تست های ۱۲۹ تا ۱۳۵ رو حل کنید.

### شکست موج

هنگامی که موجی به مرز مشترک دو محیط می‌رسد، بخشی از آن بازتاب، بخش دیگری به صورت گرما تلف می‌شود و بخش دیگری عبور می‌کند. به عنوان مثال اگر تپی در یک طناب نازک ایجاد شود و به سمت یک طناب ضخیم حرکت کند، پس از رسیدن به مرز قسمتی از انرژی آن بازتاب و قسمت دیگری از انرژی وارد طناب ضخیم می‌شود.

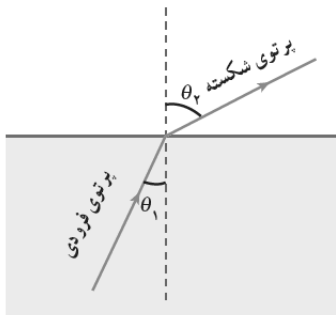


توانین شکست بر روی:

برای تمام امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی هنگامی که شکست رخ می‌دهد:

۱- پرتو تابش، پرتو شکست و خط عمود بر مرز دو محیط هر سه در یک صفحه واقع‌اند.

۲- رابطه زیر بین زاویه تابش، زاویه شکست و تندی موج در دو محیط برقرار است. (قانون شکست عمومی)



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

نکات شکست موج:

۱- اگر موج از محیطی وارد محیط جدید شود و تندی آن افزایش یابد، از خط عمود دور می‌شود. و اگر از محیطی وارد محیط دیگر شود که تندی آن کاهش یابد به خط عمود نزدیک می‌شود.

☑ برای موج‌های مکانیکی هر چه تراکم محیط بیشتر باشد، تندی انتشار موج مکانیکی در آن محیط بیشتر است و برای موج‌های الکترومغناطیسی هر چه محیط تراکم بیشتری داشته باشد، تندی کمتر است. به عنوان مثال هنگامی که صوت (موج مکانیکی) از هوا وارد آب می‌شود، تندی آن افزایش می‌یابد ولی هنگامی که نور (موج الکترومغناطیسی) از هوا وارد آب می‌شود، تندی آن کاهش می‌یابد.



۳- اگر جبهه‌های موج موازی مرز دو محیط باشند، زاویه تابش و شکست و انحراف برابر صفر خواهند شد.

۴- اگر موج از چندین محیط با مرزهای موازی عبور کند، می‌توان بین هر دو محیط دلخواهی قانون شکست را نوشت.

نکته

ضریب شکست محیط: اگر تندی نور در یک محیط شفاف  $v$  و تندی نور در خلا  $c$  باشد، ضریب شکست این محیط به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$n = \frac{c}{v}$$

هر چه ضریب شکست یک محیط بیشتر باشد، تندی نور در آن محیط کمتر و محیط غلیظ‌تر است. خلا (هوا) کمترین ضریب شکست را دارد که

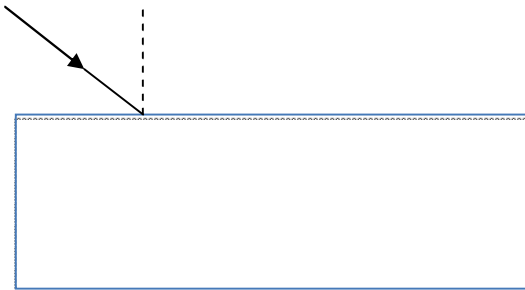
برابر یک است. ضریب شکست یک محیط علاوه بر جنس محیط به بسامد نوری که به آن تابیده می‌شود بستگی دارد.

معمولا ضریب شکست یک محیط برای نور با طول موج بیشتر، کمتر می‌باشد.

قانون شکست عمومی برای نور را می‌توان به صورت زیر نوشت:

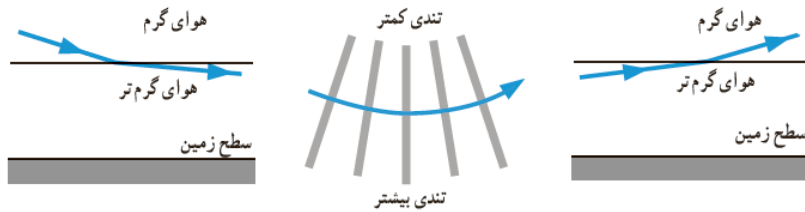
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

اگر پرتو نوری به یک تیغه شیشه‌ای متوازی‌السطوح بتابد، داریم:

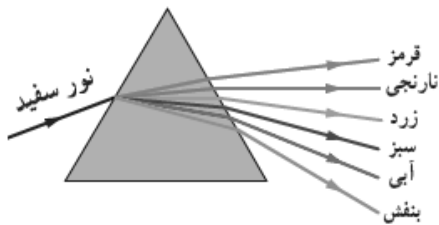


دیده که در آن بکثرت زورخ من دهد:

۱- سراب: در روزهای گرم ممکن است برکه آبی را در دور دست ببینید که بر سطح زمین قرار دارد، اما وقتی به آن محل می رسید، آن جا را خشک می یابید. به این پدیده سراب یا سراب آبیگر می گویند.



۲- پاشندگی نور: پخش شدن یک نور مرکب در یک محیط شفاف را پاشندگی نور می نامیم. علت پاشندگی متفاوت بودن تندی نور به رنگ های مختلف است. معمولاً ضریب شکست یک محیط برای طول موج های بیشتر کمتر است. به عنوان مثال اگر نور سفید به یک منشور تابیده شود، به رنگ های تشکیل دهنده پخش می شود. کمترین ضریب شکست، کمترین انحراف و بیشترین تندی (همه چیزای خوب) برای نور بسیار خوش رنگ قرمز است.



تست های ۱۳۶ تا ۱۴۳ رو حل کنید.

## فیزیک اتمی

### فیزیک کلاسیک و نوین

**فیزیک کلاسیک:** مجموعه پدیده‌هایی که تحت مکانیک نیوتونی، نظریه الکترومغناطیسی و ترمودینامیک قابل توجیه می‌باشند را

فیزیک کلاسیک می‌نامند. پدیده‌هایی که در این فصل مورد بررسی قرار خواهند گرفت با فیزیک کلاسیک قابل توجیه نمی‌باشند.

**نسبیت خاص:** پدیده‌ها در تندی‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با تندی نور

**نسبیت عام:** مربوط به مطالعه هندسه فضا-زمان و گرانش

**نظریه کوانتومی:** پدیده‌های مربوط به اتم‌ها و ذرات ریز مانند نظریه کوانتومی

نظریه نسبیت

فیزیک مدرن

فیزیک

چند مفه و م مهم

**کمیت کوانتومی:** به کمیت‌هایی که مقدار آن‌ها مضرب صحیحی از یک مقدار پایه است کمیت کوانتومی و مقدار پایه آن‌ها را کوانتوم کمیت

می‌نامیم. به عنوان مثال بار الکتریکی کمیتی کوانتومی است که کوانتوم آن  $e = 1/6 \times 10^{-19} C$  است.

**فوتون:** امواج الکترومغناطیسی دارای انرژی می‌باشند که مقدار پایه انرژی آن‌ها فوتون نامیده می‌شود. به عبارتی می‌توان گفت امواج الکترومغناطیسی

از بسته‌های انرژی به نام فوتون تشکیل شده است.

انرژی تعدادی فوتون با بسامد یکسان  $E = nhf$

انرژی یک فوتون  $E = hf$

$h$  در رابطه‌های بالا ثابت پلانک است که برابر  $h = 6/63 \times 10^{-34} J.s$  می‌باشد.

**الکترون ولت:** واحدی برای انرژی می‌باشد که طبق یک الکترون ولت تغییر انرژی یک الکترون تحت اختلاف پتانسیل یک ولت می‌باشد.

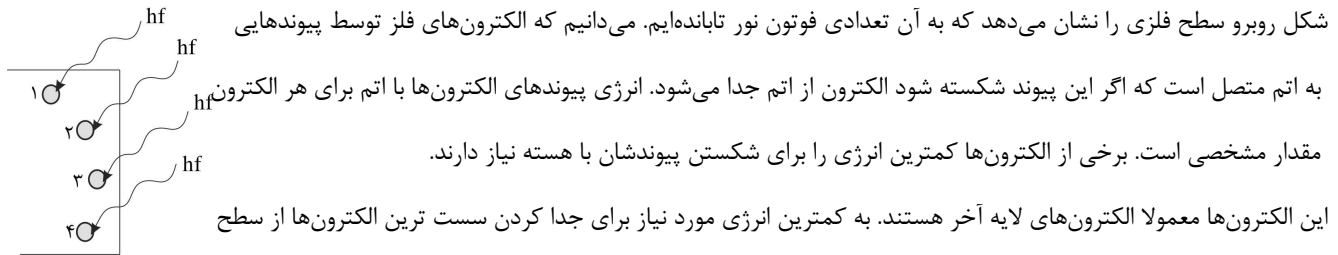
**ژول:** تغییر انرژی یک کولن بار تحت اختلاف پتانسیل یک ولت است.

$$U = qV \xrightarrow{V=1V, q=e=1/6 \times 10^{-19}} U = 1/6 \times 10^{-19} \times 1 = 1/6 \times 10^{-19} J \rightarrow 1eV = 1/6 \times 10^{-19} J$$

**شدت تابشی:** انرژی که در یکای زمان (یک ثانیه) از یکای سطح (یک متر مربع) عبور می‌کند و یا جذب آن می‌شود.

$$I = \frac{E}{t.s} = \frac{nhf}{t.s} = \frac{P}{s} \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

فوتوالکترونیک



شکل روبرو سطح فلزی را نشان می دهد که به آن تعدادی فوتون نور تابانده ایم. می دانیم که الکترون های فلز توسط پیوندهایی به اتم متصل است که اگر این پیوند شکسته شود الکترون از اتم جدا می شود. انرژی پیوندهای الکترون ها با اتم برای هر الکترون مقدار مشخصی است. برخی از الکترون ها کمترین انرژی را برای شکستن پیوندشان با هسته نیاز دارند.

این الکترون ها معمولا الکترون های لایه آخر هستند. به کمترین انرژی مورد نیاز برای جدا کردن سست ترین الکترون ها از سطح

یک فلز را تابع کار ( $W_0$ ) یک فلز می گوئیم.

اگر انرژی فوتون های تابیده شده به سطح فلز از تابع کار فلز بزرگتر یا مساوی باشد، تعدادی الکترون از سطح فلز جدا می شود. جدا شدن الکترون از سطح یک فلز توسط تاباندن نور را فوتوالکترونیک و الکترونهای جدا شده را فوتوالکترون می نامند.

$$\text{شرط رخ دادن پدیده فوتوالکترونیک: } hf = h \frac{c}{\lambda} \geq W_0$$

کمترین بسامدی که در آن پدیده فوتوالکترونیک رخ می دهد بسامد آستانه ( $f_0 = \frac{W_0}{h}$ ) می گوئیم. بسامد آستانه تنها به جنس فلز بستگی

دارد.

بلندترین طول موج فرودی که بر سطح فلز بتابد تا پدیده فوتوالکترونیک رخ دهد را طول موج آستانه ( $\lambda_0$ ) می نامیم. در واقع طول موج آستانه

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$$

طول موج بسامد آستانه است که تنها به جنس فلز بستگی دارد.

منظور از افزایش و کاهش شدت نور در یک بسامد ثابت، افزایش و کاهش تعداد فوتون های تابشی است.

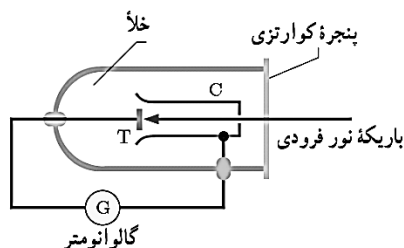
تابع کار یک فلز فقط به جنس فلز بستگی دارد.

انرژی جنبشی فوتوالکترون ها:

هنگامی که نور به سطح فلز می تابد، یک فوتون با انرژی  $hf$ ، به طور کامل توسط فقط یک الکترون جذب شده و انرژی خود را به الکترون می دهد،

بخشی از انرژی صرف کندن الکترون شده ( $W$ ) و باقی مانده صرف انرژی جنبشی فوتوالکترون گسیل شده از سطح فلز می شود. ( $K$ )

برای بررسی اثر فوتوالکترونیک از دستگاهی مطابق شکل روبرو استفاده می شود:



دراثر فوتوالکترونیک، نوری تکفام با بسامدی به قدر کافی بالا، الکترون ها را از سطح صفحه فلزی T

بیرون می آورد. این فوتوالکترون ها، به طرف جمع کننده C می روند و جریانی را در مدار به وجود

می آورند.

با افزایش شدت این نور، گالوانومتر عدد بزرگتری را نشان می‌دهد، حال آن که آزمایش نشان می‌دهد که اگر بسامد نور فرودی از مقدار معین یک متر باشد، هر چقدر هم که شدت نور فرودی افزایش یابد این پدیده رخ نمی‌دهد و گالوانومتر عبور جریانی را نشان نمی‌دهد.

**توجیه فیزیک کلاسیک درباره‌ی فوتوالکتریک:** هنگام برهم‌کنش موج الکترومغناطیس (نور فرودی) با سطح فلز، میدان الکتریکی این موج، نیروی  $F = -eE$  به الکترون‌های فلز وارد کند و آن‌ها را به نوسان وا دارد. به این ترتیب، وقتی دامنه نوسان برخی از الکترون‌ها به قدر کافی بزرگ شود انرژی جنبشی لازم را برای جدا شدن از سطح فلز پیدا می‌کنند.

### مشکل فیزیک کلاسیک در توجیه اثر فوتوالکتریک:

(۱) بنا به این دیدگاه کلاسیکی، این پدیده باید با هر بسامدی رخ دهد درحالی که این نتیجه با تجربه سازگار نیست.

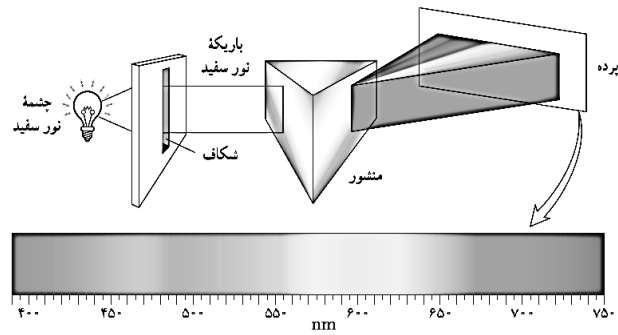
(۲) یکی دیگر از پیامدهای نظریه الکترومغناطیسی ماکسول این است که شدت نور با مربع دامنه میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی متناسب است ( $I \propto E^2$ ). به این ترتیب انتظار می‌رود به ازای یک بسامد معین، اگر شدت نور فرودی بر سطح فلز را افزایش دهیم باید الکترون‌ها با انرژی جنبشی بیشتری از فلز خارج شوند، نتیجه‌ای که تجربه آن را تأیید نمی‌کند.

با افزایش شدت نور تابشی به ازای بسامد ثابت، آهنگ تعداد فوتوالکترون خروجی زیاد می‌شود اما انرژی جنبشی آن‌ها ثابت می‌ماند.

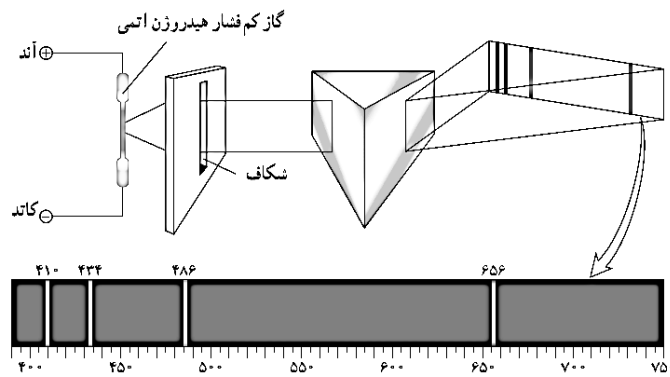
تعداد های ۱۳۶ تا ۱۳۸ رو هل کنید.

### پیشنهاد

همه اجسام در هر دمایی که باشند، از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل (نشر) می‌کنند که به آن تابش گرمایی گفته می‌شود. اجسام در دماهای بالا از سطح خود نور مرئی گسیل می‌کنند. در دماهای معمولی، بیشتر تابش گسیل شده از سطح اجسام در ناحیه فروسرخ طیف قرار دارد. برای یک جسم جامد، نظیر رشته داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره پیوسته‌ای از طول موج‌هاست که آن را طیف گسیلی پیوسته یا به اختصار طیف پیوسته می‌نامند. تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازنده آن است.



گازهای کم فشار و رقیق، که اتم های منفرد آنها از برهم کنش های قوی موجود در جسم جامد آزادند به جای طیف پیوسته، طیفی گسسته را گسیل می کنند که شامل طول موجهای معینی است. این طیف گسسته را، معمولاً طیف گسیلی خطی یا به اختصار طیف خطی می نامند و طول موجهای ایجاد شده در آن، برای اتمهای هر گاز منحصر به فرد هستند و سر نخ های مهمی را در باره نوع و ساختار اتم های آن گاز به دست می دهند.



طیف خطی ایجاد شده و همچنین رنگ نور گسیل شده، به نوع گاز درون لامپ بستگی دارد.

طیف خطی هر عنصر، مانند اثر انگشت انسان ها، از ویژگی های منحصر به فرد هر اتم است. لذا به کمک طیف نمایی میتوان عناصر را از هم تشخیص داد.

طیف گسیلی اجسام جامد ملتهب، پیوسته و مانند هم می باشند. لذا به کمک این طیف نمی توان عناصر را از یکدیگر تشخیص داد.

این که چرا هر عنصر طول موجهای خاص خود را تابش می کند و این که چرا هر عنصر تنها طول موجهای خاصی را جذب می کند و بقیه ی طول موجها را جذب نمی کند از دیدگاه فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیست.

رابطه‌ی ریذبرگ:

طول موج تمامی خطوط طیف اتم هیدروژن را با استفاده از رابطه‌ی زیر که به رابطه‌ی ریذبرگ مشهور است، به دست آورد:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad R_H = 0.011(\text{nm})^{-1}, \quad n' < n$$

که در آن  $R_H$  ثابت ریذبرگ برای اتم هیدروژن نامیده می‌شود.  $n$  شماره‌ی تراز بالاتر است که الکترون ابتدا روی آن قرار داشته و  $n'$  شماره‌ی تراز پایین‌تر است که الکترون روی آن فرود می‌آید. دقت کنید که طول موج در این رابطه، برحسب نانومتر است.

☑ به ازای هر مقدار معین  $n'$ ، مجموعه‌ی طول موج‌های به دست آمده از رابطه‌ی ریذبرگ- بالمر را یک رشته می‌نامند.

☑ به ازای کوچک‌ترین مقدار ممکن  $n$  (یعنی  $n'+1$ ) در هر رشته، بلندترین طول موج خطوط آن رشته یا حد بالایی رشته به دست می‌آید.

☑ هر چه  $n$  بزرگتر باشد، طول موج‌های کوتاهتری می‌شوند پس، به ازای  $n \rightarrow \infty$ ، کوتاهترین طول موج خطوط هر رشته یا حد پایینی رشته پیدا می‌شود.

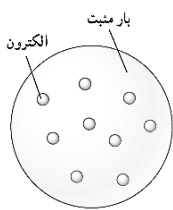
$$n = n' + 1 \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\max}} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{(n'+1)^2} \right) \quad n = \infty \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\min}} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{\infty} \right) \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{n'^2}{R_H}$$

نام رشته	مقدار $n'$	رابطه‌ی ریذبرگ	مقدارهای $n$	گستره‌ی طول موج
لیمان	$n' = 1$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 2, 3, 4 \dots$	فرابنفش
بالمر	$n' = 2$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 3, 4, 5 \dots$	فرابنفش و مرئی
پاشن	$n' = 3$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 4, 5, 6 \dots$	فرو سرخ
براکت	$n' = 4$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 5, 6, 7 \dots$	فرو سرخ
پفوند	$n' = 5$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 6, 7, 8 \dots$	فرو سرخ

تست های ۱۳۹ تا ۱۵۳ رو حل کنید.

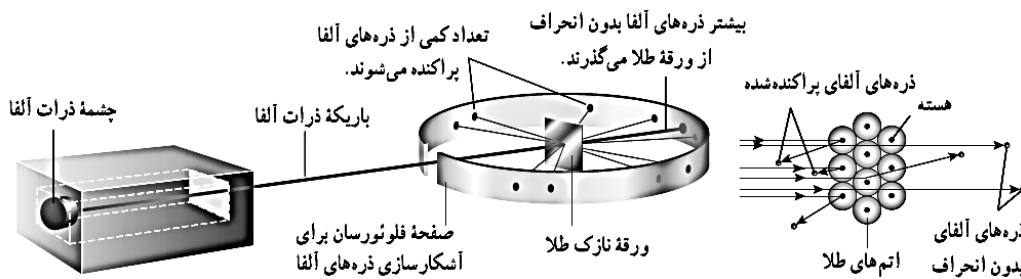
مدل اتم

**مدل اتمی تامسون (مدل کیک کشمشي):** جوزف تامسون موفق به کشف الکترون و اندازه گیری نسبت بار به جرم ( $e/m$ ) آن شد. در مدل تامسون،



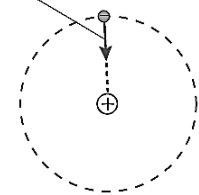
اتم همچون کره‌ای است که بار مثبت به طور همگن در سرتاسر آن گسترده شده است و الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند در جاهای مختلف آن پراکنده شده‌اند. این مدل را گاهی مدل کیک کشمشي هم می‌گویند. در مدل اتمی تامسون، وقتی الکترون‌ها با بسامدهای معینی حول وضع تعادلشان نوسان می‌کنند این نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شود. بسامدهای تابش گسیل شده از اتم، که مدل اتمی تامسون پیش بینی می‌کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.

**نتیجه آزمایش رادرفورد: ارنست رادرفورد** باریکه‌ای از ذره‌های دارای بار مثبت (هسته اتم هلیم یا ذره آلفا) بر سطح ورقه‌ای نازک از جنس طلا فرو تاباند و نتیجه گرفت باید هسته‌ای چگال و دارای بار مثبت در مرکز هر اتم باشد.



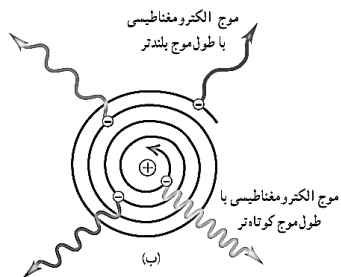
بنابر مدل رادرفورد (مدل هسته‌ای اتم)، اتم دارای یک هسته بسیار چگال و کوچک ( $10^{-15}$  شعاع هسته) و با بار مثبت است که با تعدادی الکترون در فاصله‌هایی به نسبت دور احاطه شده است.

نیروی ربایش الکتریکی که از طرف هسته به الکترون وارد می‌شود.



**مدل اتمی رادرفورد:** در این مدل، همه‌ی بار مثبت اتم، در یک ناحیه‌ی مرکزی با حجم بسیار کوچکی به نام هسته، متمرکز شده و اطراف آن را الکترون‌ها با بار منفی در فاصله‌های زیاد احاطه کرده‌اند، به گونه‌ای که می‌توان گفت: فضای بین الکترون‌ها خلأ، می‌باشد.

**اشکالات مدل اتمی رادرفورد:**



- (۱) اگر الکترون‌ها در اطراف هسته، ساکن باشند، نیروی جاذبه‌ی الکتریکی بین هسته و الکترون‌ها، باعث می‌شود الکترون روی هسته سقوط کند. یعنی ساختار داخلی اتم، فرو می‌ریزد، در صورتی که اتم پایدار است.
- (۲) اگر الکترون‌ها، مانند سیاره‌های منظومه‌ی خورشیدی، که به دور خورشید در حرکتند، به دور هسته در گردش باشند، طبق نظریه‌ی فیزیک کلاسیک که هر ذره‌ی باردار شتاب دار، نور گسیل می‌کند، چون الکترون



به طور پیوسته شتاب دارد و طبق مبانی کلاسیکی، بسامد موج گسیل شده با بسامد دوران الکترون برابر است، لذا بایستی به طور پیوسته نور گسیل کند و چون انرژی از دست می‌دهد، شعاع مداری آن به طور پیوسته کاهش یافته و در نتیجه بسامد آن به طور پیوسته زیاد شده و در نهایت، مارپیچ وار به داخل هسته سقوط می‌کند، یعنی طیف اتمی بایستی پیوسته بوده و اتم پایدار نباشد، در صورتی که طیف اتمی، گسسته است و اتم پایدار می‌باشد. نتیجه: الگوی اتمی رادرفورد از دو ایراد عمده رنج می‌برد:

(۱) نمی‌تواند پایداری حرکت الکترون‌ها در مدارهای اتمی و در نتیجه پایداری اتم‌ها را توضیح دهد.

(۲) قادر به توجیه طیف گسسته‌ی اتمی نیست.

### موفقیت‌های مدل اتمی بور :

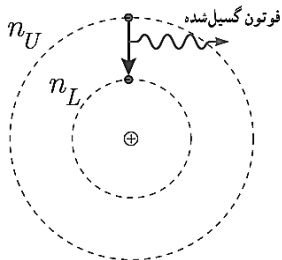
(۱) بور مدلی را برای اتم هیدروژن ارائه کرد که مسئله ناپایداری اتم را در مدل رادرفورد حل می‌کرد. (۲) معادله ریذبرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن را به دست می‌آورد.

### اصول مدل اتمی بور به صورت زیر است:

۱- مدارها و انرژی‌های الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژیهای گسسته معینی مجاز هستند.

۲- وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود. از این رو گفته می‌شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.

۳- الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر  $E_U$  به یک حالت مانا با انرژی کمتر  $E_L$  فوتون تابش می‌شود.



(شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن  $(r_n = a_0 n^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad a_0 = 0.5 \text{ \AA})$ )  
(ترازهای انرژی الکترون در اتم هیدروژن)

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{E_R}{n^2} \quad E_R = 2/17 \times 10^{-18} \text{ J} = 13/6 \text{ eV}$$

در این روابط  $n$  عدد کوانتومی نامیده می‌شود.  $a_0$  شعاع کوچکترین مدار در اتم هیدروژن که شعاع بور برای اتم هیدروژن نامیده می‌شود.

انرژی الکترون در  $n=1$  برابر  $E_1 = -13/6 \text{ eV}$  است که اندازه آن را یک ریذبرگ می‌نامند و بانماد  $E_R$  نشان می‌دهند. در این صورت انرژی فوتون تابش شده برابر اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است، یعنی:

$$E_U - E_L = hf = h \frac{c}{\lambda} \quad (\text{معادله گسیل فوتون از اتم})$$

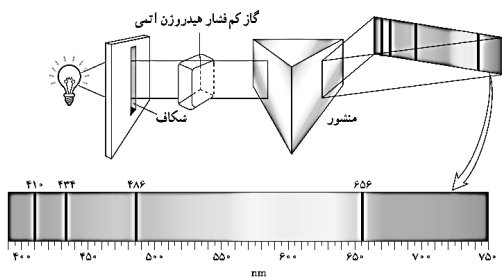
بنا به مدل بور ، وقتی الکترونی از مداری با انرژی بیشتر به مداری با انرژی کمتر جهش می کند یک فوتون گسیل می شود.

پایین ترین تراز انرژی ، **حالت پایه** نامیده می شود تا از ترازهای بالاتر که **حالت های برانگیخته** نامیده می شوند متمایز باشد. در اتم هیدروژن و در دمای اتاق، الکترون اغلب در حالت پایه قرار دارد.

☑ کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه ، **انرژی یونش الکترون** نامیده می شود. انرژی یونش اتم هیدروژن  $13.6\text{eV}$  است.

☑ فرانیهوفر، با مشاهده دقیق طیف خورشید، خط های تاریک نازکی را در آن کشف کرد. خط های تاریکی که فرانیهوفر در طیف خورشید کشف کرد، ناشی از جذب طول موج های مربوط به این خط ها توسط **گاز های جو خورشید و جو زمین** پدید می آیند.

**طیف جذبی خطی:** برای مشاهده طیف های جذبی، نور یک چشمه نور سفید را از ظرفی حاوی گاز کم فشار هیدروژن اتمی (یا گاز عنصر دیگری) عبور

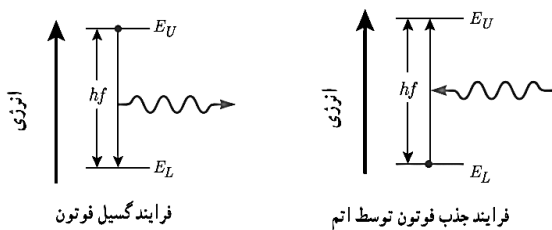


داده و توسط منشور پاشیده می شود و طیف آن روی پرده تشکیل می شود. خط های تاریک روی طیف، به طول موج هایی از نور سفید مربوط است که توسط اتم های گاز جذب شده اند.

مطالعه و مقایسه همچنین طیف های گسیلی و جذبی عنصر های مختلف نشان می دهد که:

(۱) در طیف گسیلی و در طیف جذبی اتم های گاز هر عنصر، طول موج های معینی وجود دارد که از مشخصه های آن عنصر است. یعنی طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گازی همانند یکدیگر نیست.

(۲) اتم های هر گاز دقیقاً همان طول موج هایی را از نور سفید جذب می کنند که اگر دمای آنها به اندازه کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آنها را تابش می کنند.



**موفقیت های مدل بور:** مدل بور تصویری از چگونگی حرکت الکترون ها به دور هسته ارائه می کند. این مدل در تبیین پایداری اتم، طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی و محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن با موفقیت همراه است.

**نارسایی های مدل بور:**

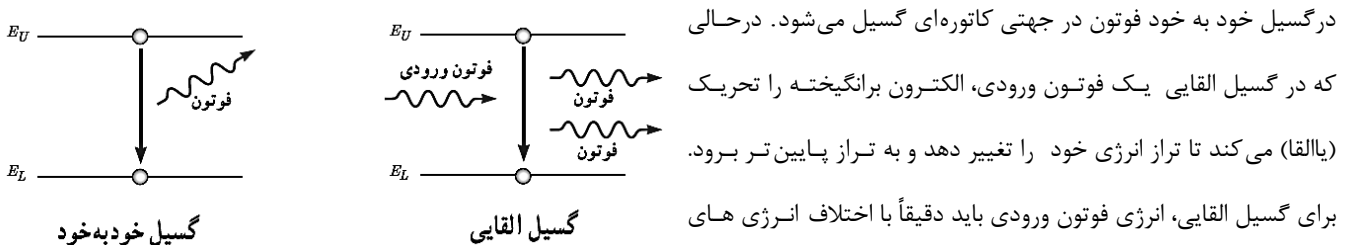
(۱) این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می گردد به کار نمی رود، زیرا در مدل بور، نیروی الکتریکی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می کند به حساب نیامده است. و تنها برای اتم های هیدروژن گونه به کار می روند. اتم هیدروژن گونه به اتم هایی گفته می شود که تنها یک الکترون دارند. مانند اتم لیتیم دوبار یونیده.

۲) این مدل نمی‌تواند متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را توضیح دهد. برای مثال مدل بور نمی‌تواند توضیح دهد که چرا شدت خط قرمز با شدت خط آبی در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی با یکدیگر متفاوت است.

تست های ۱۵۳ تا ۱۵۹ رو حل کنید

**لیزر**

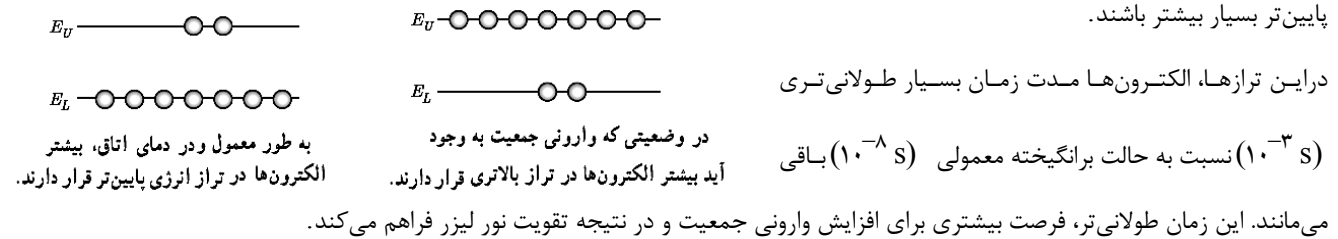
وقتی یک الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین تر جهش می‌کند یک فوتون گسیل می‌شود. فرایند گسیل می‌تواند به صورت گسیل خود به خود یا با گسیل القایی باشد.



در گسیل خود به خود فوتون در جهتی کاتوره‌ای گسیل می‌شود. در حالی که در گسیل القایی یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک (یا القا) می‌کند تا تراز انرژی خود را تغییر دهد و به تراز پایین تر برود. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی های دوتراز یعنی  $E_U - E_L$  یکسان باشد. گسیل القایی سه ویژگی عمده دارد. اول اینکه یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود. به این ترتیب این فرایند تعداد فوتون ها را افزایش می‌دهد و نور را تقویت می‌کند. دوم اینکه فوتون گسیل شده، در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند. سوم اینکه فوتون گسیل شده با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. به این ترتیب فوتونهای یک باریکه لیزری را ایجاد می‌کنند هم بسامد، هم جهت و هم فاز هستند.

در گسیل القایی یک چشمه انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا الکترون ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته کند. این انرژی می‌تواند به روش های متعددی از جمله درخشش های شدید نور معمولی و یا تخلیه های ولتاژ بالا فراهم شود. اگر انرژی کافی به اتم ها داده شود، الکترون های بیشتری به تراز انرژی بالاتر برانگیخته خواهند شد، شرطی که به وارونی جمعیت معروف است.

وارونی جمعیت الکترون ها در یک محیط لیزری، مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه پایدار نسبت به تراز پایین تر بسیار بیشتر باشند.



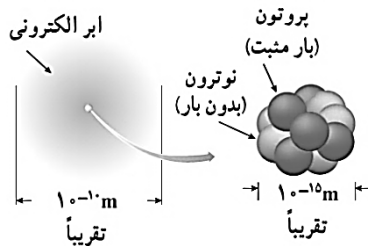
با توجه به مطرح شدن گسیل القایی توسط کتاب هنگامی که فوتونی به سمت یک الکترون حرکت می‌کند سه حالت رخ می‌دهد:

- ۱- اگر انرژی فوتون با اختلاف انرژی مدارهای بالاتر با تراز فعلی الکترون برابر باشد، الکترون فوتون را جذب می کند و به تراز بالاتر می رود.
- ۲- اگر انرژی فوتون با اختلاف انرژی مدارهای پایین تر با تراز فعلی الکترون برابر باشد، گسیل القایی رخ می دهد. یعنی فوتون الکترون را تحریک می کند و علاوه بر فوتون تابیده شده، فوتونی با انرژی فوتون اولیه نیز گسیل می شود.
- ۳- اگر انرژی فوتون با اختلاف انرژی هیچ کدام از مدارها با تراز فعلی برابر نباشد، فوتون برهم کنشی با الکترون ندارد و الکترون در همان مدار باقی می ماند.

تست های ۱۶۰ تا ۱۶۱ رو حل کنید.

## فیزیک هسته ای

### ساختار هسته



مقایسه ابعاد اتم و هسته به طور تقریبی

با کاوش درون اتم، در مرکز آن، هسته را می‌یابیم که شعاع آن تقریباً  $10^{-5}$  شعاع اتم است. هسته اتم از نوترون‌ها و پروتون‌ها تشکیل شده است که به طور کلی نوکلئون نامیده می‌شوند. نوترون بار الکتریکی ندارد، و جرمش اندکی بیشتر از پروتون است.

تعداد پروتون‌های هسته را عدد اتمی  $Z$  می‌نامند و در عنصرهای مختلف متفاوت است. در

یک اتم خنثی، تعداد پروتون‌های هسته با تعداد الکترون‌های دور هسته برابر است. تعداد نوترون‌های هسته، عددنوترونی  $N$  نامیده می‌شود. همچنین مجموع تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌ها را عدد جرمی  $A$  می‌نامند. بنابراین  $A = Z + N$  است.

برای یک عنصر با نماد شیمیایی  $X$  نماد هسته به صورت  ${}^A_Z X_N$  نشان داده می‌شود.

**ایزوتوپ‌ها:** ویژگی‌های هسته را تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن تعیین می‌کند. خواص شیمیایی هر اتم را تعداد پروتون‌های هسته (عدداً  $Z$ ) تعیین می‌کند. به همین سبب هسته‌هایی که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوترون متفاوت دارند خواص شیمیایی یکسانی دارند، در نتیجه این هسته‌ها در جدول تناوبی عناصر هم مکان هستند و بنابراین ایزوتوپ (هم مکان) نامیده می‌شوند.

### پایداری هسته

ابعاد هسته در مقایسه با ابعاد اتم بسیار کوچک‌تر است. با وجود این، بیشتر جرم اتم (بیش از ۹۹/۹ درصد آن) در هسته متمرکز شده است. با توجه به اینکه نیروی الکتروستاتیکی رانشی خیلی قوی بین پروتون‌های درون هسته، که بسیار به یکدیگر نزدیک‌اند، وارد می‌شود، تنها چیزی که مانع از هم پاشیدن هسته می‌شود نیروی هسته‌ای است. این نیرو نمی‌تواند گرانشی باشد، زیرا جاذبه حاصل از نیروی گرانشی بین نوکلئون‌ها، چنان ضعیف است که نمی‌تواند با نیروی الکتروستاتیکی رانشی مقابله کند.

### ویژگی‌های نیروی هسته‌ای:

(۱) نیروی هسته‌ای ربایشی است.

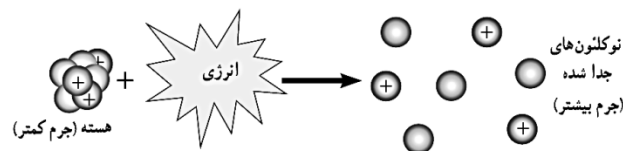
(۲) نیروی هسته‌ای قوی‌تر از گرانشی و الکترو استاتیکی است.

(۳) نیروی هسته‌ای، کوتاه‌برد است و تنها در فاصله‌ای کوچک‌تر از ابعاد هسته اثر می‌کند.

نیروی هسته‌ای مستقل از بار الکتریکی است، یعنی نیروی ربایشی هسته‌ای یکسانی بین دو پروتون، دوترون، یا یک پروتون و یک نوترون وجود دارد. به همین دلیل از منظر نیروی هسته‌ای، تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد و دلیل نام‌گذاری آن‌ها با نام عام نوکلئون نیز همین است.

### انرژی بستگی هسته‌ای و ترازهای انرژی هسته:

برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته، انرژی لازم است. انرژی لازم برای این منظور، انرژی بستگی هسته‌ای نامیده می‌شود. جرم هسته از مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل دهنده‌اش اندکی کمتر است. اگر این اختلاف جرم را که به آن کاستی جرم هسته گفته می‌شود، مطابق رابطه معروف اینشتین  $E = mc^2$ ، در مربع تندی نور  $c^2$  ضرب کنیم انرژی بستگی هسته‌ای به دست می‌آید.  $c$  بر حسب متر بر ثانیه و  $m$  بر حسب کیلوگرم باشد،  $E$  بر حسب  $J$  خواهد بود.



انرژی نوکلئون‌های وابسته به هسته نیز مانند انرژی الکترون‌های وابسته به اتم، کوانتیده‌اند و نوکلئون‌های درون هسته نمی‌توانند هر انرژی دلخواهی را اختیار کنند. همچنین، همانطور که الکترون‌های اتم می‌توانند با جذب انرژی از تراز پایه به تراز برانگیخته بروند، نوکلئون‌ها نیز می‌توانند با جذب انرژی به ترازهای انرژی بالاتر بروند و در نتیجه هسته برانگیخته شود. هسته برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه بر می‌گردد. انرژی فوتون گسیل شده، با اختلاف انرژی بین تراز برانگیخته و تراز پایه برابر است. اختلاف بین ترازهای انرژی و کلون‌ها در هسته از مرتبه  $keV$  تا مرتبه  $MeV$  است، درحالی‌که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبه  $eV$  است. از این رو، هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

تست‌های ۱۶۲ تا ۱۶۳ رو حل کنید

پرتوزایی طبیعی و نیمه عمر

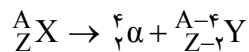
وقتی یک هسته ناپایدار یا پرتوزا خود به خود واپاشی می کند، نوع معینی از ذرات یا فوتون های پرنرژی آزاد می شوند. این فرایند واپاشی، پرتوزایی طبیعی نامیده می شود.

در پرتوزایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می شود: پرتوهای آلفا ( $\alpha$ ) پرتوهای بتا ( $\beta$ ) و پرتوهای گاما ( $\gamma$ )

پرتوهای  $\alpha$  کمترین نفوذ را دارند و با ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز ( $\approx 0.1 \text{ mm}$ ) متوقف می شوند، درحالیکه پرتوهای  $\beta$  مسافت خیلی بیشتری ( $\approx 1 \text{ mm}$ ) را در سرب نفوذ می کنند. پرتوهای  $\gamma$  بیشترین نفوذ را دارند و می توانند از ورقه ای سربی به ضخامت قابل ملاحظه ای ( $\approx 100 \text{ mm}$ ) می گذرند.

در تمام فرایندهای واپاشی پرتوزا مشاهده شده است که تعداد نوکلئون ها در طی فرایند واپاشی هسته ای پایسته است؛ یعنی تعداد نوکلئون ها، پیش از فرایند با تعداد نوکلئون ها پس از فرایند مساوی است.

**واپاشی  $\alpha$**  در این نوع واپاشی که در هسته های سنگین صورت می گیرد، ذرات باردار مثبت از جنس هسته اتم هلیم  ${}^4_2\text{He}$  از هسته ای اتم خارج می شود. معادله ی واکنش به صورت زیر است.



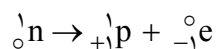
☑ در این واکنش، X و Y دو عنصر متفاوت هستند، چون عدد اتمی متفاوت دارند.

☑ هسته در این واپاشی ۲ پروتون و ۲ نوترون از دست می دهد.

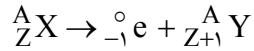
**واپاشی همراه با گسیل ذره ی بتا ( $\beta$ ):** این واپاشی، متداول ترین نوع واپاشی در هسته ها است. در این واپاشی هسته ی ناپایدار با گسیل الکترون یا پوزیترون (ذره ای دارای جرم برابر جرم الکترون و بار مخالف آن) به هسته ی جدیدی تبدیل می شود. ذره ی  $\beta$ ، از جنس

الکترون ( ${}_{-1}^0\text{e}$ ) یا پوزیترون ( ${}_{+1}^0\text{e}$ ) است. اما هسته، الکترون یا پوزیترون ندارد. پس ذره ی، از کجا می آید؟

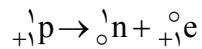
**الف) واپاشی  $\beta$  منفی (الکترون)** اگر در واپاشی، گسیل الکترون را داشته باشیم، یک نوترون در هسته، متلاشی شده و تبدیل به یک پروتون و یک الکترون می شود:



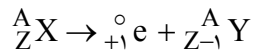
به این ترتیب یک نوترون از هسته کم می‌شود و یک پروتون به آن اضافه می‌شود. بنابراین جرم هسته، تغییر چندانی نمی‌کند، ولی عدد اتمی یک واحد زیاد می‌شود:



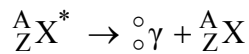
**الف) واپاشی  $\beta$  مثبت (پوزیترون)** اگر در واپاشی گسیل پوزیترون را داشته باشیم، یک پروتون هسته به نوترون و پوزیترون تبدیل می‌شود:



محصول این واپاشی، هسته‌ی عنصر جدیدی است که در جدول تناوبی قبل از  $X$  قرار دارد.



**واپاشی  $\gamma$ :** رفتن هسته از حالت برانگیخته به حالت پایه، همراه با گسیل ذره‌ی گاما همراه است. پرتوی  $\gamma$ ، از جنس امواج الکترومغناطیسی است. جرم و بار پرتو  $\gamma$ ، صفر است. بنابراین با گسیل پرتو  $\gamma$ ، نه عدد جرمی تغییر می‌کند و نه عدد اتمی. اما هسته مقداری انرژی از دست می‌دهد و به حالت پایدارتری می‌رسد:



اگر یک هسته پرتوزا چند نوع تابش انجام دهد برای موازنه‌ی آن و به دست آوردن مجهول ( $X$ ) باید نکات زیر را در نظر گرفت:

(۱) مجموع اعداد اتمی در دو سمت واکنش هسته‌ای باید یکسان باشد.

(۲) مجموع اعداد جرمی در دو سمت واکنش هسته‌ای باید یکسان باشد.

در تمام واکنش‌های فوق، به  $X$  هسته‌ی مادر و به  $Y$  هسته‌ی دختر گویند.

تست های ۱۶۳ تا ۱۶۸ رو حل کنید.



نیمه عمر

نیمه عمر، مدت زمانی است که طول می کشد تا تعداد هسته های ما در موجود در یک نمونه، به نصف برسند.

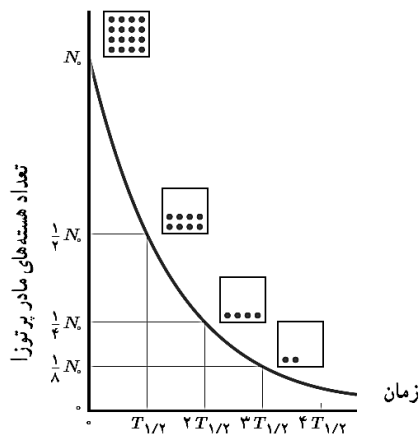
نیمه عمر ماده ی پرتوزا : نیمه عمر یک ماده ی پرتوزا، مدت زمانی است که طول می کشد تا طی آن نیمی از هسته های پرتوزای موجود در

آن واپاشیده شوند و آن را با  $T_{\frac{1}{2}}$  نشان می دهند. در واقع نیمه عمر، به نوعی سرعت واپاشی یک ایزوتوپ را نشان می دهد.

پس از گذشت هر نیمه عمر، تعداد هسته های ایزوتوپ پرتوزای اولیه، نصف می شود. بنابراین پس از گذشت  $n$  نیمه عمر، تعداد این هسته ها

برابر می شوند. بنابراین اگر پس از مدت زمان  $t$ ، تعداد هسته های ماده رادیواکتیو از  $N_0$  به  $N$  کاهش یابد، داریم:

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n$$



$$N = \frac{N_0}{2^n}, \quad n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$$

تست های ۱۶۹ تا ۱۷۳ رو حل کنید.

## اندازه گیری و چگالی

**مدل سازی در فیزیک:** فرایندی است که طی آن یک پدیده فیزیکی، آن قدر ساده و آرمانی می شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

☑ هنگام مدل سازی یک پدیده فیزیکی، باید اثرهای جزئی تر را نادیده بگیریم نه اثرهای مهم و تعیین کننده.

### اندازه گیری و کمیت های فیزیکی

در فیزیک به هر چیزی که بتوان آن را اندازه گرفت، مانند جرم، طول، زمان و... کمیت فیزیکی گفته می شود. برای اینکه یک کمیت فیزیکی تعریف و تعیین شود، باید روش اندازه گیری و یکا برای آن تعریف شود.

### ویژگی های یکا (واحد):

۱- قابلیت بازتولید داشته باشد. (در دسترس باشد).  
۲- در شرایط فیزیکی تعیین شده ثابت باشد.

### یکاهای و کمیت های اصلی و یکاهای و کمیت های فرعی

کمیت های فیزیکی بسیار زیاد می باشند و غیرمنطقی است که برای تمام آن ها یکا تعریف کنیم. اگر کمیت هایی که مستقل از یکدیگرند را پیدا کرده و برای آن ها یکا تعریف کنیم، می توانیم یکاهای دیگر کمیت ها را از روی یکاهای تعریف شده به دست بیاوریم. این کمیت ها را «کمیت اصلی» و یکاهای آن ها را «یکاهای اصلی» می نامیم.

کمیت های اصلی	یکاهای اصلی	نماد یکا
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	کلوین	k
جریان الکتریکی	آمپر	A
مقدار ماده	مول	mol
شدت روشنایی	کاندلا	cd

یکای دیگر کمیت ها را می توانیم از روی روابط و فرمول های فیزیکی به دست بیاوریم که آن دسته از کمیت ها را «کمیت های فرعی» می نامیم. به عنوان مثال، سرعت از تقسیم طول بر زمان به دست می آید، بنابراین یکای آن روی این دو کمیت به دست می آید.

☑ در یک تساوی فیزیکی، علاوه بر برابری مقدار باید واحدهای طرفین نیز یکسان باشد.

کمیت‌های نرده‌ای و برداری

برای بیان برخی کمیت‌ها تنها یک عدد کافی است. مانند: طول، تندی، فشار، جریان الکتریکی، نیروی محرکه الکتریکی، شار مغناطیسی. این دسته کمیت‌ها را کمیت‌های نرده‌ای می‌نامند.

اما برای بیان برخی کمیت‌ها علاوه بر بزرگی (اندازه) باید جهت نیز بیان شود. مانند: جابه‌جایی، سرعت، میدان الکتریکی.

پیشوندها:

نام پیشوند	نماد	اندازه	نام پیشوند	نماد	اندازه
دسی	d	$10^{-1}$	دکا	da	$10^{+1}$
سانتی	c	$10^{-2}$	هکتو	h	$10^{+2}$
میلی	m	$10^{-3}$	کیلو	k	$10^{+3}$
میکرو	$\mu$	$10^{-6}$	مگا	M	$10^{+6}$
نانو	n	$10^{-9}$	گیگا	G	$10^{+9}$
پیکو	p	$10^{-12}$	ترا	T	$10^{+12}$

آنگستروم و میکرون (میکرومتر) یکای طول می‌باشند که برابرند با:

$$1\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m} , 1\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

لیتر واحد حجم مایعات و گازها است. یک لیتر برابر  $1000 \text{ cm}^3$  و  $10^{-3} \text{ cm}^3$  است.

سال نوری یکای طول است و برابر مسافتی است که نور در یک سال در خلا طی می‌کند.

## اندازه‌گیری و دقت

در اندازه‌گیری، تمام کمیت‌های فیزیکی مانند طول، جرم، زمان و ... عدم قطعیت و خطا وجود دارد. به عبارت دیگر هیچ‌گاه نمی‌توان اندازه‌ی واقعی یک کمیت را به کمک اندازه‌گیری به دست آورد.

با انتخاب وسیله‌های دقیق و روش صحیح اندازه‌گیری، تنها می‌توان مقدار خطا را کاهش داد، ولی هیچ‌گاه نمی‌توان آن را به صفر رساند.

دقت اندازه‌گیری به حساسیت وسیله، مهارت شخصی که اندازه‌گیری می‌کند و تعداد دفعاتی که اندازه‌گیری تکرار می‌شود، بستگی دارد.

## دقت اندازه‌گیری وسیله:

نوع وسیله اندازه‌گیری	دقت اندازه‌گیری
درجه‌بندی شده	کمترین مقیاس درجه‌بندی شده
رقمی (دیجیتال)	مرتبه آخرین رقمی که خوانده می‌شود.

## تعداد دفعات اندازه‌گیری

برای کاهش خطا در اندازه‌گیری هر کمیت، معمولاً اندازه‌گیری آن را چندبار تکرار می‌کنند.

اگر عددهای به دست آمده متفاوت باشند، میانگین آن عددها به عنوان نتیجه‌ی اندازه‌گیری گزارش می‌شود.

اگر در میان عددهای متفاوت، یک یا دو عدد اختلاف زیادی با بقیه داشته باشند، در میانگین‌گیری به حساب نمی‌آیند.

تعداد های ۱۷۳ تا ۱۷۶، اهل کفیر

## چگالی :

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

جرم واحد حجم

یکای چگالی در SI کیلوگرم بر مترمکعب است. و یكاهای پر کاربرد دیگر چگالی عبارتند از:

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{g}}{\text{L}} \frac{\times 10^{-3}}{\times 10^{-3}} = \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

اگر چندین مایع روی هم ریخته شود، مایع با چگالی بیشتر پایین قرار می‌گیرد.

برای اندازه‌گیری حجم جسم‌هایی که شکل هندسی منظمی ندارند، می‌توان آن‌ها را به طور کامل درون آب یا مایعات دیگر قرار داد.

تغییر حجم ظاهری مایع برابر است با حجم جسم.

اگر دو یا چند جسم با هم مخلوط شوند با فرض ترکیب نشدن آن‌ها با هم داریم:

$$\rho_T = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots}$$

تست های ۱۷۷ تا ۱۸۱، رو حل کنید.

## فشار و ویژگی های ماده

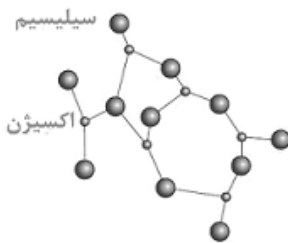
حالت های ماده

مواد از اتم ها یا مولکول ها ساخته شده اند. اندازه اتم ها حدود یک تا چند آنگستروم ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ) است و اندازه مولکول ها بستگی به این دارد که از چند مولکول ساخته شده است. اندازه برخی از مولکول ها مانند بسپارها (پلیمرها) می تواند تا  $1000 \text{ \AA}$  باشد. ذره های سازنده مواد همواره در حرکتند و به یکدیگر نیرو وارد می کنند. حالت ماده به چگونگی حرکت این ذره ها و اندازه نیروی بین آن ها بستگی دارد.

حالت (فاز) ماده	فاصله مولکول ها	نیروی بین مولکولی	حرکت مولکول ها	شکل ماده
جامد	کم	جاذبه قوی	حرکت نوسانی حول نقطه ثابت	ثابت
مایع	کم (برابر جامد)	جاذبه قوی (در حالت عادی که تحت فشار نباشد)	روی هم سر می خورند	شکل ظرف را به خود می گیرند
گاز	زیاد	ضعیف	کاتوره ای (نامنظم)	در کل فضا پخش می شوند
پلازما	در دماهای خیلی بالا به وجود می آید. مانند ماده درون ستارگان، آتش، ماده داخل لوله تابان لامپ های مهتابی			

☑ ذرات جسم جامد به سبب نیروهای الکتریکی که به یکدیگر وارد می کنند در کنار یکدیگر می مانند.

☑ جامدات به دو دسته بلورین و بی شکل (آمورف) تقسیم می شوند. جامدات بی شکل معمولاً از سرد کردن ناگهانی مایع به دست می آیند و مولکول هایشان به طور نامنظم کنار هم قرار گرفته اند مانند شیشه. جامدهای بی شکل نقطه ذوب مشخصی ندارند. (چرا؟)



سافتار مولکولی شیشه

جامدات بلورین از سرد کردن آهسته مایع به دست می آید و مولکول هایشان در طرح منظمی کنار هم هستند مانند فلزات، نمک طعام و الماس، یخ و بیشتر مواد معدنی.



سافتار مولکولی نمک

☑ هنگامی که فاصله مولکول‌های مایع از حالت عادی خود کمتر می‌شود، بین مولکول‌ها نیروی دافعه به وجود می‌آید که علت تراکم‌ناپذیری مایعات است.

☑ به علت حرکت کاتوره‌ای ذرات مایع یا گاز هنگامی که ذرات یک جسم در یک گاز و یا مایع قرار می‌گیرد با برخورد مولکول‌های گاز یا مایع به آن‌ها در کل فضا پخش می‌شود. این پدیده را پخش می‌نامند. مانند پخش جوهر در آب و پخش بوی عطر در فضا.

☑ حرکت نامنظم در مسیر زیگزاکی ذرات درون یک گاز را حرکت براونی می‌نامیم که نشان‌دهنده حرکت نامنظم و کاتوره‌ای گاز است.

### زیرروهای بین مولکولی

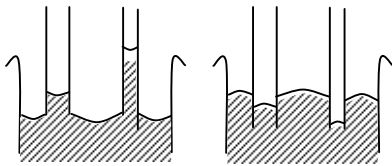
نیروهای بین مولکولی کوتاه‌برد هستند، یعنی وقتی فاصله ی بین مولکول‌ها چند برابر فاصله ی بین مولکولی شود، نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر خواهند شد .

۱- نیروی هم‌چسبی : نیروی بین مولکول‌های یک نوع ماده.

۲- نیروی دگرچسبی : نیروی بین مولکول‌های دو نوع ماده.

☑ نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی ماهیت الکتریکی دارد.

### جیوه و آب در لوله موئین:



آب در لوله موئین

جیوه در لوله موئین

آب درون لوله بالاتر از سطح آب درون ظرف قرار می‌گیرد و سطح آن درون لوله فرورفته است زیرا نیروی دگرچسبی بین آب و شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است.

جیوه درون لوله پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد و سطح آن درون لوله برآمده است زیرا نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های جیوه بیشتر از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و شیشه است.

☑ هرچه قطر لوله موئین کمتر باشد تغییر ارتفاع درون آن بیشتر است.

☑ وزن آب بالا آمده در لوله موئین برابر با نیروی چسبندگی سطحی است.

جیوه و آب روی سطح شیشه

☑ اگر سطح شیشه چرب شود و یا گرد و غبار روی شیشه باشد نیروی دگرچسبی بین آب و چربی کمتر از نیروی هم‌چسبی می‌شود و باعث قطره شدن آب روی سطح شیشه و یا پایین آمدن سطح آب درون لوله موئین می‌شود.

☑ افزایش دما سبب کاهش نیروی هم‌چسبی مولکول‌های یک مایع می‌شود. هم‌چنین افزودن مایع ظرفشویی به آب نیروی هم‌چسبی و دگرچسبی مولکول‌های آب را کاهش می‌دهد.

۳- کشش سطحی: نیروی هم‌چسبی در سطح مایعات را کشش سطحی می‌نامیم.

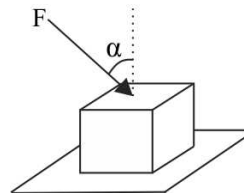
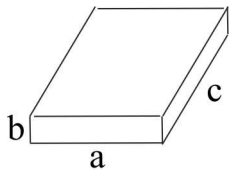
☑ علت شناور ماندن تیغ از پهنا، ماندن حشرات روی سطح آب، کروی بودن قطره‌های آب در حال سقوط و تشکیل حباب صابون کشش سطحی است.

فشار

نسبت اندازه نیروی عمود بر سطح به مساحتی که نیرو به آن وارد شده است را فشار می‌نامیم. فشار کمیتی عددی است و یکای آن در SI پاسکال است.

$$P = \frac{F_{\perp}}{A} \left( \frac{N}{m^2} = pa \right)$$

**فشار جامد:** فشاری که جسم جامد به سطحی که با آن تماس دارد وارد می‌کند ناشی از نیروی عمودی است که به سطح وارد می‌کند. بنابراین برای محاسبه فشار جامدات، اندازه نیروی عمودی سطح ( $F_N$ ) را باید به مساحت تماس جسم با سطح تقسیم کنیم.

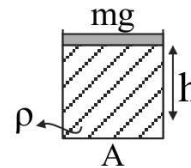
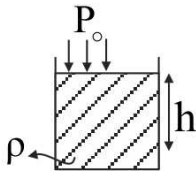




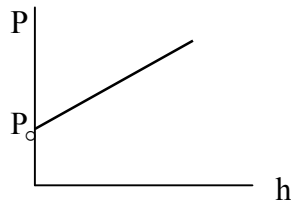
بیشترین فشاری که یک جسم جامد می‌تواند ایجاد کند هنگامی است که از روی کوچکترین وجه روی سطح قرار بگیرد و کمترین فشار هنگامی است که از بزرگترین وجه روی سطح قرار بگیرد.

برای جسم‌هایی که به شکل مکعب، مکعب مستطیل و استوانه که روی سطح افقی قرار دارند، می‌توان علاوه بر رابطه اصلی فشار را از رابطه  $P = \rho gh$  که در آن  $h$  ارتفاع جسم است به دست آورد. (چگالی بر حسب  $\frac{kg}{m^3}$  است).

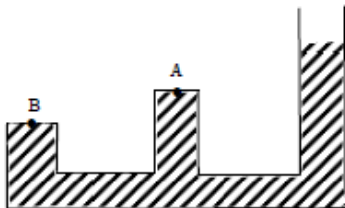
**فشار مایعات و اصل پاسکال:** وقتی شاره‌ای (مایع یا گاز) ساکن است، به هر سطحی که با آن در تماس باشد، مانند جداره‌ی یک ظرف یا سطح جسمی که در شاره غوطه‌ور است، نیروی عمودی وارد می‌کند. در مایعات اگر فشاری به یک نقطه از مایع وارد شود، این فشار به تمام نقاط مایع منتقل می‌شود. (اصل پاسکال).



نمودار فشار در عمق یک مایع به صورت زیر است:



نقاط هم‌تراز در ظروف به هم پیوسته حاوی یک مایع ساکن دارای فشار یکسان هستند.



☑️ یکاهای فشار (که باید حفظ باشیم) عبارتند از:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pa} \quad , \quad 1 \text{ mmHg} = 1 \text{ torr} \quad , \quad 1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ pa}$$

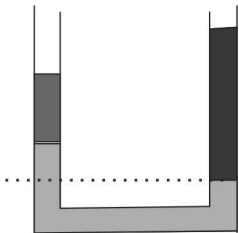
☑️ تبدیل پاسکال به سانتی متر جیوه به صورت رابطه زیر صورت می‌گیرد.

$$\rho_{(\text{Hg})} g \frac{h}{100} (\text{cmHg}) = P(\text{pa})$$

☑️ اگر بخواهیم فشار یک مایع را بر حسب سانتی متر جیوه به دست بیاوریم، یعنی به جای آن مایع چند سانتی متر جیوه قرار دهیم، که همان فشار را ایجاد کند.

☑️ اگر نیرویی که مایع یا گاز به یک سطح وارد می‌کند را بخواهیم باید ابتدا فشار مایع یا گاز بر حسب پاسکال را در محل سطح حساب کنیم سپس آن را در مساحت سطح بر حسب متر مربع ضرب کنیم.

### اول مثال



☑️ برای مقایسه فشار بین دو نقطه و یا محاسبه فشار یک نقطه در شکل‌های پیچیده از یک نقطه به سمت نقطه دیگر حرکت می‌کنیم. در مسیر اگر درون یک مایع به اندازه  $h$  بالا رویم فشار به اندازه  $\rho g h$  کاهش می‌یابد. اگر درون یک مایع به اندازه  $h$  پایین رویم فشار به اندازه  $\rho g h$  افزایش می‌یابد و اگر از گاز عبور کنیم فشار تغییر نمی‌کند زیرا فشار گاز در تمام نقاط آن برابر است.

☑️ اگر تغییراتی در لوله U شکل ایجاد شود (مانند اضافه شدن مایع) شکل دو حالت لوله را کنار هم رسم می‌کنیم و خط تراز شکل اول را امتداد می‌دهیم تا از شکل دوم نیز عبور کند و برای هر یک روابط برابری فشار را می‌نویسیم.

👉 روش یکسان سازی مایع‌ها را هم می‌توان برای سرعت بخشیدن به حل به کار برد. (سرکلاس فوب کوش کنید.)

ظرف های حاوی مایع

**فشار مایع در ته ظرف:** فشار مایع به شکل ظرف بستگی ندارد و ارتفاع و چگالی مایع درون ظرف در آن تاثیرگذار است. فشار ناشی از مایع بر ته ظرف از رابطه  $P = \rho gh$  به دست می آید.

**نیروی وارد بر کف ظرف از طرف مایع:** این نیرو برابر است با  $F = P \times A = \rho gh \times A$

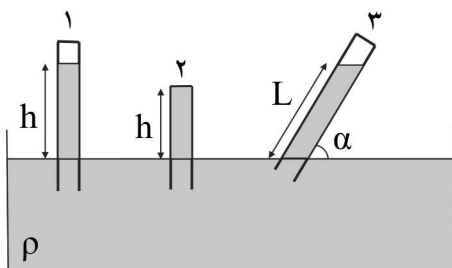
**نیروی وارد بر سطح افقی زیر ظرف:** نیرویی که ظرف به سطح زیرین خود وارد می کند به نیروی مایع به کف ظرف ربطی ندارد. مجموعه ظرف و مایع مانند یک جسم هستند و نیرویی که به سطح افقی وارد می کنند برابر  $F = (m_{ظرف} + m)g$  است.

**نیروی وارد بر تمام بدنه ظرف:** چون مایع درون ظرف در حالت تعادل است بنابراین برآیند نیروهای وارد از طرف دیواره ها و بدنه ظرف با وزن مایع درون ظرف برابر است.

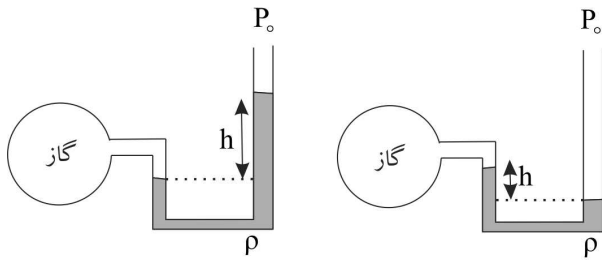
$$F_{net} = m_{مایع} g$$

برآیند نیروهای وارد بر یک سطح صاف که در تماس با مایع است، همواره به صورت عمود بر آن سطح است.

فشار هوا:



فشار گاز:



✓ فشارسنج‌ها همواره فشار پیمانه‌ای را نشان می‌دهند.

تست های ۵۱۸۲ تا ۱۹۲ رو حل کنید.

**نیروی شناوری:** اگر جسمی به طور کامل یا قسمتی از آن درون یک شاره (مایع یا گاز) باشد، به دلیل اختلاف فشار در بالا و پایین جسم نیروی بالاسوی خالصی (شکل جسم به هر صورت باشد، نیرو به سمت بالا است) وارد می‌شود که این نیرو را نیروی شناوری می‌نامیم.

✓ هنگامی که جسمی درون یک مایع قرار دهیم ۴ حالت برای آن رخ می‌دهد:

**بالاروی:** اگر چگالی جسم کمتر از چگالی شاره باشد جسم می‌تواند درون شاره بالا می‌رود. در این حالت نیروی وزن کمتر از نیروی چگالی است.

**شناوری:** اگر چگالی جسم کمتر از چگالی شاره باشد، جسم می‌تواند شناور روی سطح شاره بماند. در این حالت نیروی وزن برابر با نیروی شناوری است.

✓ هر چه درصد بیشتری از یک جسم در مایع فرو رود، چگالی آن جسم بیشتر و به چگالی مایع نزدیک‌تر می‌شود.

**غوطه‌وری:** اگر چگالی جسم برابر چگالی شاره باشد، جسم درون شاره غوطه‌ور می‌ماند. جسم را در هر نقطه درون مایع قرار دهیم در همان نقطه باقی می‌ماند. در این حالت نیروی وزن برابر با نیروی شناوری است.

**فروروی:** اگر چگالی جسم بیشتر از چگالی شاره باشد، جسم را درون شاره قرار دهیم، در شاره فرو می‌رود. در این حالت نیروی وزن بزرگتر از نیروی شناوری است.

✓ برای یک مجموعه ساکن مایع و ظرف و محتویات درون آن ترازو همواره مجموع وزن آن‌ها را نشان می‌دهد. چه جسم شناور باشد، چه غوطه‌ور و چه در حال فرو رفتن.

**آهنگ شارش شاره:** نسبت حجم شاره عبوری از یک سطح مقطع به مدت زمان عبور را آهنگ شارش شاره می‌نامند.

$$\text{آهنگ شارش} = \frac{A \times L}{t} = A \times v$$

$v$  تندی شاره و  $A$  سطح مقطع عبور شاره است.

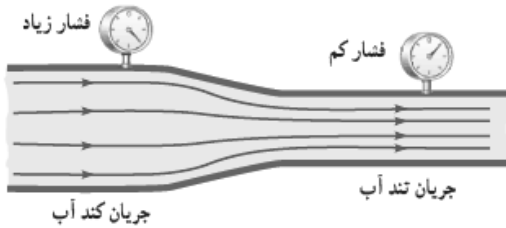
**معادله پیوستگی:**



$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

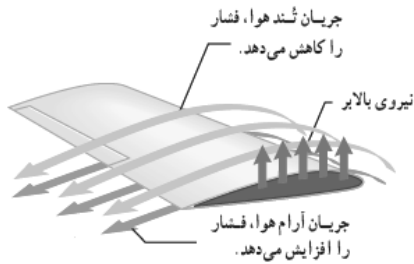
**اصل برنولی:**

با افزایش تندی شاره در یک مسیر فشار آن کاهش می‌یابد.



**رخدادها و کاربردهای اصل برنولی:**

۱- بال هواپیما



۲- سم‌پاش‌ها و افشانه‌ها



۳- پف کردن پوشش برزنتی کامیون در حال حرکت

پوشش برزنتی صاف و تخت است.

کامیون در حال توقف



پوشش برزنتی نف کرده است.

کامیون در حال حرکت



تست های ۱۹۳ تا ۱۹۶ رو حل کنید.

## دما و گرما

دما

تعریف عملیاتی دما: معیاری است برای سنجش گرمی و سردی اجسام

تعریف مولکولی دما: دمای جسم متناسب با متوسط انرژی جنبشی مولکول‌های یک ماده است.

واحدهای معروف دما:

$$T(k) = \theta(^{\circ}C) + 273, \quad \Delta T = \Delta \theta$$

$$F = 1/8\theta + 32, \quad \Delta F = 1/8\Delta\theta$$

☑ اگر دماسنج مجهولی دمای  $\theta_1$  را  $x_1$ ، دمای  $\theta_2$  را با  $x_2$  نشان دهد، رابطه این دماسنج بر حسب دماسنج سلسیوس به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{\theta - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1} \Rightarrow x = \frac{x_2 - x_1}{\theta_2 - \theta_1} (\theta - \theta_1) + x_1$$

**کمیت دماسنجی:** هر مشخصه قابل اندازه‌گیری که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند اصطلاحاً «کمیت دماسنجی» می‌گویند.

☑ تغییر کمیت دماسنجی اساس کار دماسنج‌ها است

**دماسنج‌ها:**

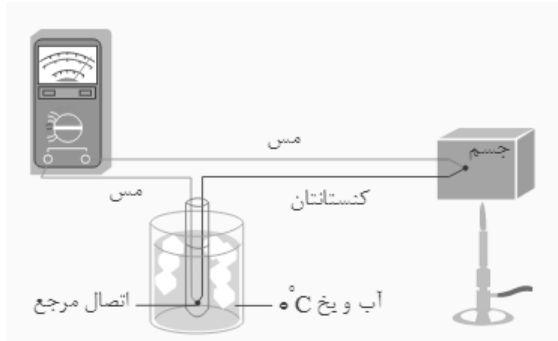
**۱- جیوه ای و الکلی:** اساس کار این دماسنج‌ها انبساط و انقباض مایعات است. در این دماسنج‌ها دماهای بین نقطه انجماد و نقطه جوش

مایع درون دماسنج را می‌توان اندازه‌گیری کرد. هر چه مخزن این دماسنج بزرگتر و لوله آن باریکتر باشد، دقت و حساسیت دماسنج بیشتر خواهد بود. درون لوله دماسنج باید خلأ باشد تا دماسنج دما را به درستی نشان دهد.

☑ دماسنج پزشکی دماهای بین ۳۵ تا ۴۲ درجه سانتی‌گراد را اندازه‌گیری می‌کند و در پایین آن انحنایی وجود دارد تا سطح مایع سریع

پایین نیاید و زمان کافی برای خواندن عدد باشد. شیشه آن ذره بینی است که اعداد بزرگتر دیده شوند.

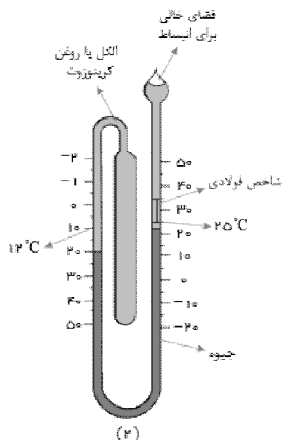
**۲- ترموکوپل:** از دو فلز غیرهم جنس رسانا تشکیل شده است که هر دو سر فلزها به یکدیگر جوش داده شده است و یک ولت سنج در دو سر یکی از سیمها قرار داده شده است. اگر یک سر مشترک فلزها را در دمای مشخصی قرار داده و سر دیگر مشترک فلزها را درون دمای مجهول قرار دهیم، اختلاف دما سبب ایجاد اختلاف پتانسیل می شود. هر چه دما بیشتر باشد اختلاف پتانسیل بیشتر می شود.



برخی از ویژگی های دماسنج ترموکوپل عبارتند از:

- ۱- گستره‌ی دماسنجی یک ترموکوپل بستگی به جنس سیمهای آن دارد. (کمتر از دمای ذوب فلزسیمها. ۲- به خاطر جرم کوچک محل اتصال، خیلی سریع با دستگاہی که دمای آن اندازه گیری می شود، هم دما می شود.
- ۳- چون خروجی این دستگاه یک علامت الکتریکی است می تواند در مدارهای الکترونیکی بسیاری از وسایل صنعتی، گرمایشی و سرمایشی استفاده شود. ۴- دماسنج ترموکوپل به دلیل دقت کمتر نسبت به دماسنجهای معیار از مجموعه دماسنجهای معیار کنار گذاشته شد.

### ۳- دماسنج بیشینه - کمینه :



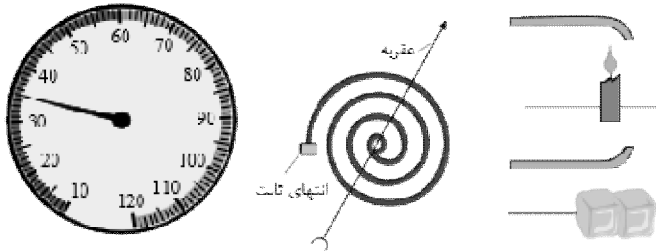
این دماسنج بیشینه و کمینه دما را در یک مدت زمان معین نشان می دهد. از این دماسنجها

معمولا در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری، هواشناسی و ... استفاده می شود.



## ۴- دماسنج نواری دوفلزه:

نوار دوفلزه از دو تیغه فلزی با جنس متفاوت، مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده شده و یا پرچ شده‌اند. هر گاه این نوار، گرم یا سرد شود، نوار خم می‌شود و سبب چرخش عقربه می‌شود. اساس کار این دماسنج تغییر طول بر اثر تغییر دما است.



## دماسنج‌های معیار

دانشمندان برای کارهای علمی سه دماسنج را به‌عنوان دماسنج معیار پذیرفته‌اند.

**الف) دماسنج مقاومت پلاتینی:** از این دماسنج می‌توان برای اندازه‌گیری دقیق دما در گستره دمایی  $14\text{K}$  تا  $1235\text{K}$  استفاده کرد. اساس کار دماسنج مقاومت پلاتینی مبتنی بر تغییر مقاومت الکتریکی با تغییر دما است. در این دماسنج‌ها از پلاتین استفاده می‌کنند که تقریباً دچار خوردگی نمی‌شود و نقطه ذوب بالایی دارد.

**ب) دماسنج گازی:** اساس کار دماسنج گازی مبتنی بر قانون گازهای کامل است.

**پ) تفسنج (پیرومتر):** اساس کار تفسنج مبتنی بر تابش گرمایی است. به روش‌های اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی

تفسنجی و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش تفسنج می‌گویند

☑ ویژگی‌ها و انواع تفسنج:

۱- برخلاف سایر دماسنج‌ها، بدون تماس با جسم دمای آن جسم را اندازه می‌گیرند.

۲- در اندازه‌گیری دماهای بالا کاربرد و اهمیت ویژه‌ای دارند.

۳- انواع تفسنج: تفسنج نوری، تفسنج تابشی

۴- تفسنج نوری به‌عنوان دماسنج معیار برای اندازه‌گیری دماهایی بالا انتخاب شده است.

تست های ۵۱۹۷ تا ۱۹۸ رو حل کنید.

## اثرات گرما:

۱- **تغییر دما:** اگر به جسمی گرما بدهیم در صورتی که حالت آن تغییر نکند دمایش بالا می‌رود.

$$Q = mc \Delta\theta = C \Delta\theta$$

☑ گرمای ویژه (c) فقط به جنس و ظرفیت گرمایی (C) به جنس و جرم بستگی دارد.

۲- **تغییر فاز:** اگر در دمای ذوب یا تبخیر یک جسم به آن گرما بدهیم یا از آن گرما بگیریم، گرمای مبادله شده صرف تشکیل یا شکستن پیوند می‌شود. در حقیقت انرژی پتانسیل ذرات تغییر می‌کند ولی انرژی جنبشی (در نتیجه دما) تغییری نمی‌کند.

**ذوب:** اگر به جسم جامدی گرما بدهیم دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای جسم به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می‌شود (دما ثابت می‌ماند)، جسم شروع به ذوب شدن می‌کند. این دمای ثابت را نقطه ذوب یا دمای ذوب می‌نامیم.

☑ افزایش فشار وارد بر جسم به جز در چند مورد، سبب بالا رفتن نقطه ذوب آن می‌شود. در بعضی از جسم‌ها مانند یخ، افزایش فشار سبب کاهش نقطه ذوب می‌شود.

☑ افزایش فشار محیط نقطه ذوب آن دسته از مواد جامد را که هنگام ذوب افزایش حجم می‌دهند زیاد می‌کند.

**گرمای نهان ذوب:** گرمایی که جسم جامد می‌گیرد تا در نقطه ذوب خود بدون تغییر دما از جامد به مایع تبدیل شود را گرمای نهان ذوب می‌نامیم.

**گرمای نهان ویژه ذوب:** گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از جسم جامد بدهیم تا در نقطه ذوب خود و بدون تغییر دما از جامد به مایع تبدیل شود. و آن را با  $L_F$  نشان می‌دهیم و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم است.

**انجماد:** فرآیند انجماد وارون فرایند ذوب یعنی تبدیل مایع به جامد است. اگر مایعی را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم هنگامی که به دمای انجماد خود می‌رسد، شروع به جامد شدن می‌کند دمای نقطه ذوب یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطه انجماد آن برابر است.

هر جسم به هنگام انجماد همان قدر گرما از دست می دهد که به هنگام ذوب می گیرد بنابراین گرمای نهان انجماد منفی گرمای نهان ذوب است.

**جوشیدن و تبخیر:** وقتی به مایعی گرما می دهیم دمای آن افزایش می یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم هنگامی که دمای مایع به مقدار مشخصی رسید افزایش دما متوقف شده و دما ثابت می ماند. مایع در این موقع به جوش می آید و تبدیل به بخار می شود. این دمای ثابت را دمای جوش یا نقطه‌ی جوش می نامند.

نقطه‌ی جوش هر مایع به جنس آن و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطه‌ی جوش آن می شود. **گرمای نهان تبخیر:** گرمایی که یک مایع در نقطه‌ی جوش خود می گیرد تا به بخار در همان دما تبدیل شود، گرمای نهان تبخیر نامیده می شود.

**گرمای نهان ویژه ی تبخیر:** گرمایی که به یک کیلوگرم از مایع می دهیم تا در نقطه ی جوش خود و بدون تغییر دما از مایع به بخار تبدیل شود. آن را با  $L_V$  نمایش داده و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم است.

**میعان:** فرآیند میعان وارون فرآیند تبخیر است یعنی تبدیل گاز به مایع است. اگر بخار مایع را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم) هنگامی که به دمای میعان یا نقطه ی میعان می رسد شروع به مایع شدن می کند. دمای نقطه ی میعان یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطه ی جوش آن برابر است. هر بخار هنگام میعان همان مقدار گرما از دست می دهد که به هنگام تبخیر می گیرد، بنابراین گرمای نهان میعان منفی گرمای نهان تبخیر است

$$Q = \pm m L_F$$

$$Q = \pm m L_V$$

تبدیل مستقیم جامد به گاز را تصعید و تبدیل مستقیم گاز به جامد را چگالش می نامیم.

**تبخیر سطحی:** مولکول‌های مایع با انرژی‌های جنبشی مختلف در حال برخورد به یکدیگر هستند. هنگامی که انرژی جنبشی مولکول‌های سطح مایع از حدی بیشتر می شود، این مولکول‌ها می توانند از سطح مایع فرار کنند. این پدیده که در هر دمایی رخ می دهد را تبخیر سطحی می نامند. با رخ دادن تبخیر سطحی دمای مایع باقی مانده کاهش می یابد و می توان نوشت:

گرمای مورد نیاز جرم تبخیر شده = گرمای گرفته شده از مایع باقی مانده

**عوامل موثر در افزایش آهنگ تبخیر سطحی:**

۱- افزایش دما      ۲- افزایش سطح مایع در تماس با هوا      ۳- کاهش فشار      ۴- کاهش رطوبت      ۵- وزش باد (برنولی)

☑ عوامل موثر در تغییر نقاط جوش و انجماد آب: افزودن ناخالصی باعث افزایش نقطه جوش و کاهش نقطه انجماد آب می‌شود.

افزایش فشار هوا باعث افزایش نقطه جوش و کاهش نقطه انجماد آب می‌شود.

تست های ۱۹۹ تا ۲۰۲ رو حل کنید.

### تبادل گرمایی

وقتی دو جسم سرد و گرم در تماس با یکدیگر در تماس بایکدیگر قرار می‌گیرند، از دیدگاه میکروسکوپی، می‌توان گفت انرژی‌های جنبشی و پتانسیل مربوط به حرکت‌های کاتوره‌ای اتم‌ها، مولکول‌ها و سایر اجزای میکروسکوپی داخل جسم گرم کاهش و همین انرژی‌ها در جسم سرد تا رسیدن به تعادل افزایش می‌یابند.

برای حل تست های تعادل گرمایی:

۱- ابتدا جسم های شرکت کننده در تعادل گرمایی را تعیین می‌کنیم.

۲- تمام جسم ها را به دمای تعادل می‌رسانیم و گرمای مورد نیاز برای این کار را می‌نویسیم.

۳- مجموع گرماهای مبادله شده را برابر صفر قرار می‌دهیم.

☑ اگر مقداری گرما تلف شود، مجموع گرماهای مبادله شده برابر منفی اندازه گرمای تلف شده است.

$$Q_1 + Q_2 + \dots = -Q_f$$

☑ در اکثر تست هایی که تعادل بین آب و یخ رخ می‌دهد برای سادگی داریم:

$$L_F = 336000 \frac{J}{kg} = 160X \quad , \quad C_{\text{آب}} = 4200 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} = 2X \quad , \quad C_{\text{یخ}} = 2100 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} = X$$

☑ اگر مخلوط آب و یخ باقی بماند یعنی دمای تعادل صفر درجه و اگر آب و بخار آب باقی بماند، دمای تعادل ۱۰۰ درجه سلسیوس است.

در برخی تست ها غیر مستقیم می‌گویند مقداری یخ ذوب نشده باقی مانده است یعنی دمای تعادل صفر است. یا مقداری آب بخار نشده است یعنی دمای تعادل ۱۰۰ درجه سلسیوس است.

☑ حداکثر جرم آب  $\theta_1^\circ\text{C}$  که به مقدار  $m$  گرم یخ  $\theta_2$ -اضافه شود تا دمای تعادل صفر درجه شود، یعنی تمام یخ ذوب شود.

حداقل جرم آب  $\theta_1^\circ\text{C}$  که به مقدار  $m$  گرم یخ  $\theta_2$ -اضافه شود تا دمای تعادل صفر درجه شود، یعنی تمام آب یخ ببندد.

حداکثر جرم یخ  $\theta_1^\circ\text{C}$  که به مقدار  $m$  گرم آب  $\theta_2$  اضافه شود تا دمای تعادل صفر درجه شود، یعنی تمام آب یخ ببندد.

حداقل جرم یخ  $\theta_1^\circ\text{C}$  که به مقدار  $m$  گرم آب  $\theta_2$  اضافه شود تا دمای تعادل صفر درجه شود، یعنی تمام یخ ذوب شود.

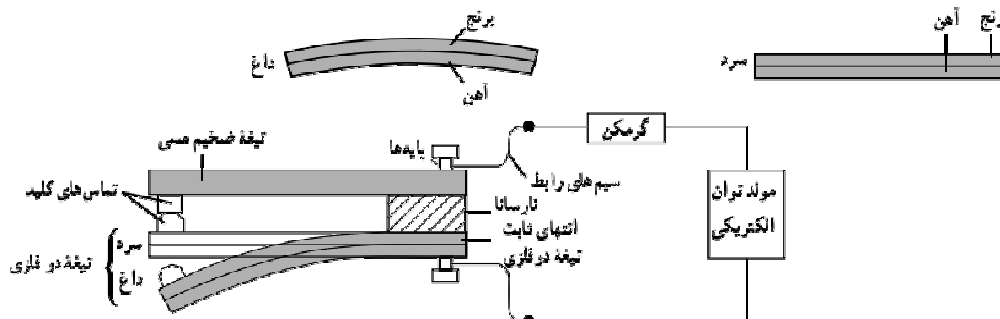
تست های ۲۰۳ تا ۲۰۶ رو حل کنید.

۳- تغییر ابعاد

الف) تغییر طول میله:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_2 = L_1 (1 + \alpha \Delta\theta) \quad \text{طول ثانویه} \\ \Delta L = L_1 \alpha \Delta\theta \quad \text{تغییر طول} \\ \frac{\Delta L}{L_1} \times 100 = \alpha \Delta\theta \times 100 \quad \text{درصد تغییرات طول} \end{array} \right.$$

**اساس کار دمپا (ترموسات):** اگر دو میله با ضرایب خطی  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  به یکدیگر متصل شوند. برای مثال آهن و برنج ( $\alpha_{\text{آهن}} < \alpha_{\text{برنج}}$ ) با گرم کردن میله ها و یا سرد کردن آنها هر دو میله خم می شوند به گونه ای که میله ای که ضریب انبساط خطی بیشتر دارد هنگام انبساط قوس بیرونی و هنگام انقباض قوس داخلی را تشکیل می دهد. از خم شدن میله ها می توان جهت قطع مدار الکتریکی به هنگام افزایش دما بیش از حد معین استفاده کرد.



ب) تغییر مساحت ورقه:

$$\left\{ \begin{array}{ll} S_2 = S_1 (1 + 2\alpha \Delta\theta) & \text{مساحت ثانویه} \\ \Delta S = S_1 2\alpha \Delta\theta & \text{تغییر مساحت} \\ \frac{\Delta S}{S_1} \times 100 = 2\alpha \Delta\theta \times 100 & \text{درصد تغییرات مساحت} \end{array} \right.$$

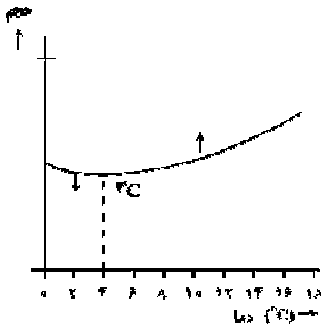
ج) تغییر حجم:

$$\left\{ \begin{array}{ll} V_2 = V_1 (1 + 3\alpha \Delta\theta) & \text{حجم ثانویه} \\ \Delta V = V_1 3\alpha \Delta\theta & \text{تغییر حجم} \\ \frac{\Delta V}{V_1} \times 100 = 3\alpha \Delta\theta \times 100 & \text{درصد تغییرات حجم} \end{array} \right.$$

☑ با افزایش دما در اکثر موارد حجم جسم افزایش می‌یابد و در نتیجه چگالی جسم کاهش می‌یابد. چگالی یک جسم پس از تغییر دمای  $\Delta\theta$  برابر است با:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1 + \beta\Delta\theta} \approx \rho_1(1 - \beta\Delta\theta)$$

☑ **انبساط غیر عادی آب:** از صفر تا  $4^\circ\text{C}$  حجم آب به جای اینکه افزایش یابد کاهش می‌یابد و از دمای  $4^\circ\text{C}$  به بالا انبساط عادی خود را باز می‌یابد. بنابراین وقتی آب دمایش  $4^\circ\text{C}$  است کمترین حجم و بیشترین چگالی خود را دارد.



☑ اگر دو صفحه هم جنس یا دو کره یکسان با ابعاد مساوی که یکی دارای سوراخی و یا حفره ای به شعاع R است

۱- گرمای مساوی بدهیم، در هر دو حجم حفره یا سوراخ افزایش می‌یابد. کره یا صفحه‌ای که دارای سوراخ یا حفره است افزایش شعاع بیشتری پیدا می‌کند زیرا جرم کمتری دارد و تغییر دمای آن بیشتر است.

۲- افزایش دمای یکسان دهیم، در هر دو حجم حفره یا سوراخ افزایش می‌یابد و تغییر حجم یا مساحت از همان روابط اصلی به دست می‌آید. هر دو کره یا صفحه حجم شعاعشان به یک اندازه افزایش می‌یابد.

☑ برای محاسبه تغییر ابعاد یک حفره یا فضای خالی درون یک جسم، فرض می‌کنیم که فضای خالی توسط فلز یا جسم اطراف آن پر شده است.

دو نکته که در کتاب استدلالی پرسیده شده است. در اینجا فرمول آن‌ها را نیز داریم:

☑ اگر طول یک میله مسی توسط خط‌کشی آهنی در دمای  $\theta_1$  برابر  $L$  باشد، نتیجه اندازه‌گیری طول هنگامی میله و خط‌کش در دمای  $\theta_2$  برابر است با:

$$L' = L \left( \frac{1 + \alpha_{cu} \Delta\theta}{1 + \alpha_{Fe} \Delta\theta} \right) \simeq L (1 + (\alpha_{cu} - \alpha_{Fe}) \Delta\theta)$$

☑ انبساط ظاهری مایع:

انبساط ظاهری مایع  $\Delta V_a$  برابر است با اختلاف انبساط واقعی مایع  $\Delta V_L$  و انبساط واقعی ظرف  $\Delta V_c$ . اگر تغییر ارتفاع ظاهری مایع درون یک ظرف با دیواره‌های قائم را بخواهیم به دست بیاوریم، داریم:

$$\Delta h = \frac{\Delta V_a}{A_r}$$

تست های ۲۰۷ تا ۲۱۳ رو حل کنید.

روش‌های انتقال گرما

اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. این شارش گرما به صورت‌های مختلف انجام می‌شود که عبارتند از:

۱- تابش: در این روش برای انتقال گرما نیازی به محیط مادی نیست. سرعت انتقال گرما در این روش زیاد است. انتقال گرمای خورشید به زمین توسط روش تابش رخ می‌دهد. خورشید، لامپ داغ، رادیاتور، شعله‌ی آتش و ... از خود پرتوهایی گسیل می‌کنند که پوست بدن ما با جذب آن‌ها گرم می‌شود.

در این روش برای انتقال گرما نیازی به محیط مادی نیست و انرژی به صورت موج الکترومغناطیس از منبع منتشر می‌شود و با سرعت بسیار زیاد حتی از خلأ نیز عبور می‌کند. در واقع هر جسم در هر دمایی تابش الکترومغناطیس گسیل می‌کند و به همین دلیل به این نوع تابش، تابش گرمایی می‌گویند.

☑ تابش گرمایی در دماهای پایین عمدتاً به صورت تابش فروسرخ است که نامرئی است. برای آشکارسازی تابش‌های فروسرخ از ابزاری به نام دمانگار استفاده می‌کنیم و به تصویر به دست آمده از آن دما نگاشت می‌گویند.

☑ تابش گرمایی از سطح هر جسم علاوه بر دما، به مساحت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح آن بستگی دارد. سطح صاف و درخشان با رنگ‌های روشن، تابش گرمایی کم‌تری دارند، در حالی که تابش گرمایی سطوح ناصاف و مات با رنگ‌های تیره، تابش گرمایی بیش‌تری دارند. تابش گرمایی از سطح اجسام باعث کاهش دمای جسم تابش‌کننده و افزایش دمای جسم جذب‌کننده می‌شود و جسم‌هایی که سطوح روشن و صاف و صیقلی دارند بازتابش بیش‌تری انجام داده و بخش کم‌تری از انرژی تابشی را جذب می‌کنند.

۲- همرفتی: انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند عمدتاً به روش همرفت، یعنی همراه با جابه‌جایی بخشی از خود ماده انجام می‌گیرد. این پدیده بر اثر کاهش چگالی شاره با افزایش دما صورت می‌گیرد.

ساز و کار انتقال گرما به روش همرفت:

مرحله ۱: وقتی شاره در تماس با جسم گرم است، دمای آن افزایش می‌یابد و بدین ترتیب حجم آن زیاد می‌شود، در نتیجه چگالی این قسمت از شاره کاهش می‌یابد.

مرحله ۲: چگالی این شاره انبساط یافته کم‌تر از شاره سردتر اطراف خود است و نیروی شناوری (بنا به اصل ارشمیدس) موجب بالارفتن آن می‌شود.

مرحله ۳: سپس مقداری از شاره سردتر اطراف آن جایگزین شاره گرم‌تر می‌شود که بالا رفته است و این فرایند به همین ترتیب ادامه می‌یابد.

☑ همرفت واداشته:

نوع دیگری از همرفت، همرفت واداشته است که در آن شاره به کمک یک تلمبه (طبیعی یا مصنوعی) به حرکت واداشته می‌شود تا با این



حرکت انتقال گرما صورت پذیرد. سیستم گرم کننده‌ی مرکزی ساختمان‌ها، دستگاه گردش خون در بدن جانوران خون گرم و ... مثال‌هایی از انتقال گرما به روش همرفت واداشته هستند.

۳- رسانش: این روش مخصوص جامدات است. هنگامی که قسمتی از یک جسم جامد گرم می‌شود، جنبش مولکول‌های آن قسمت زیاد شده و در برخورد با مولکول‌های مجاور قسمتی از انرژی خود را به آن‌ها می‌دهند و کل جسم دمایش افزایش می‌یابد.

رسانش گرمایی نافلزات: رسانش گرمایی به دلیل ارتعاش اتم‌ها و گسترش این ارتعاش‌ها در طول آن‌هاست. به دلیل نبود الکترون‌های آزاد، این اجسام رساناهای گرمایی خوبی نیستند. این اجسام (مانند: شیشه، چوب و ...) در دیوارها و سقف بناها به عنوان عایق‌گر مامور استفاده قرار می‌گیرند.

رسانش گرمایی در فلزات: علاوه بر ارتعاش‌های اتمی، الکترون‌های آزاد نیز در انتقال گرما نقش دارند و به همین دلیل نسبت به سایر اجسام، رساناهای گرمایی بسیار بهتری هستند، زیرا الکترون‌ها بسیار کوچک‌اند و به سرعت حرکت می‌کنند و با برخورد با سایر الکترون‌ها و اتم‌ها سبب رسانش گرما می‌شوند.

در رساناهای فلزی، سهم الکترون‌های آزاد در رسانش گرما بیش‌تر از اتم‌هاست.

## الکتروسیسته ساکن

بار الکتریکی

بار یک جسم خنثی پس از مبادله  $n$  الکترون با آن برابر است با:

$$q = \pm ne \quad (C) \quad e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

اگر الکترون از جسم بگیریم بار جسم مثبت و اگر به جسم الکترون بدهیم بار آن منفی می‌شود. طبق رابطه بالا بار یک جسم همواره مضرب صحیحی از بار الکترون است. بنابراین بار جسم یک **کمیت کوانتومی** و مقدار پایه آن یعنی کوانتوم آن بار الکترون است.

اصل پایستگی بار الکتریکی: بار الکتریکی در یک سامانه منزوی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود و فقط از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود.

**اجسام رسانا:** اجسامی که دارای الکترون آزاد می‌باشند. الکترون آزاد، الکترونی است که به هسته اتم خود مقید نمی‌باشد (معمولاً الکترون‌های لایه آخر ظرفیت) بنابراین این الکترون‌ها می‌توانند درون جسم حرکت کنند و بار الکتریکی را عبور دهند.

**اجسام نارسانا:** این اجسام الکترون آزاد ندارند. برای باردار کردن این اجسام باید به نحوی انرژی لازم برای مبادله الکترون با جسم تأمین شود.

**روش‌های باردار کردن اجسام:** به سه روش می‌توان اجسام را باردار کرد (با آن‌ها الکترون مبادله کرد):

۱- **روش مالش:** این روش مخصوص اجسام نارسانا است. اگر دو جسم نارسانا به یکدیگر مالش داده شوند، در اثر اصطکاک و در نتیجه تولید گرما، انرژی مورد نیاز برای انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسم دیگر تأمین می‌شود. در نتیجه یکی از جسم‌ها دارای بار مثبت و دیگری دارای بار منفی می‌شود ولی اندازه بار دو جسم یکسان است.

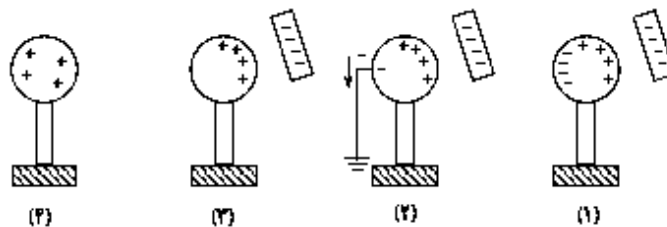
در هنگام مالش، با انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسمی دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی برهم می‌خورد و جسمی که الکترون از دست می‌دهد، تعداد الکترون‌های کمتری از تعداد پروتون‌های آن می‌شود و بار الکتریکی خالص آن مثبت می‌گردد و همچنین، جسمی که

الکترون اضافی دریافت می کند، الکترون هایش از پروتون های آن فزونی می یابد و بار الکتریکی خالص آن منفی می شود. به دست آوردن یا ازدست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را می توان بر اساس جدولی موسوم به سری الکتریسیته مالشی (تریبو الکتریک) معلوم کرد در این جدول مواد پایینتر، الکترون خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این جدول در تماس با یکدیگر قرار گیرند، الکترون ها از ماده ی بالاتر جدول به ماده های که پایین تر قرار دارد منتقل می شود. مثلا اگر تفلون با نایلون مالش یابد، الکترون ها از نایلون به تفلون منتقل می شوند.

**نکته:** میله شیشه ای در اثر مالش با پارچه ابریشمی دارای بار مثبت و میله پلاستیکی در اثر مالش با پارچه پشمی دارای بار منفی می گردد.

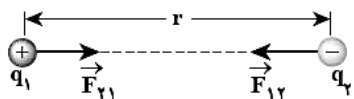
**۲- تماس:** اگر یک جسم باردار را به یک رسانای بدون بار تماس دهیم، تعدادی از بارهای جسم باردار به جسم رسانا منتقل می شود. این روش مختص باردار کردن اجسام رسانا است. در این روش پس از تماس، دو جسم دارای بار الکتریکی هم نام می شوند. اندازه بار دو جسم پس از تماس می تواند برابر یا نابرابر شود.

**۳- القا:** در این روش بدون تماس یا مالش یک جسم رسانا باردار می شود. شکل زیر باردار کردن یک کره رسانا به روش القا را نشان می دهد.

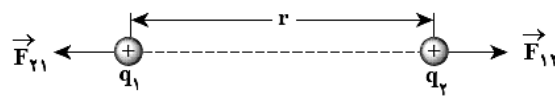


الکتروسکوپ: وسیله ای است که می توان از آن برای تعیین نوع بار جسم، رسانا یا نارسانا بودن جسم و مقایسه بار دو جسم استفاده کرد.

## قانون کولن



نیروی ربایشی بین دو بار ناهم نام



نیروی رانشی بین دو بار هم نام

اندازه نیروی بین دو جسم باردار توسط « قانون کولن » به دست می آید. طبق قانون کولن داریم:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

در رابطه قانون کولن بارها بر حسب کولن، فاصله بر حسب متر است.  $k$  ثابت کولن است که مقدار آن برابر است با:

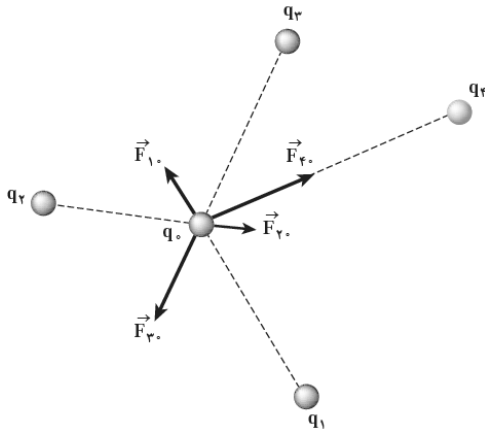
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{N.m^2}{C^2} \simeq 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$$

**نکته:** ثابت کولن را بر حسب ثابت دیگری به نام ضریب گذردهی الکتریکی خلا (  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} \frac{C^2}{N.m^2} = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$  ) می توان نوشت:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

اصل برهم نهی نیروهای الکترواستاتیکی: اگر تعدادی ذره باردار در یک ناحیه از فضا قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره برآیند نیروهایی است که هر یک از ذره‌ها در غیاب سایر ذرات به آن ذره وارد می‌کند.

به عنوان مثال در شکل روبرو برآیند نیروهای وارد بر بار  $q_0$  برابر است با:



$$\vec{F}_{T0} = \vec{F}_{T1} + \vec{F}_{T2} + \vec{F}_{T3} + \vec{F}_{T4}$$

تست های ۲۱۳ تا ۲۱۸، رو حل کنید.

## میدان الکتریکی

خاصیتی که هر بار الکتریکی اطراف خود دارد که به بارهای دیگر نیرو وارد می‌کند، میدان الکتریکی می‌گویند. میدان الکتریکی اطراف یک جسم و در یک نقطه مشخص به این صورت تعیین می‌شود که نخست بار کوچک و مثبت  $q_0$  به نام بار آزمون را در آن نقطه قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی وارد بر آن را اندازه‌گیری می‌کنیم. میدان الکتریکی ناشی از جسم باردار در آن نقطه به صورت زیر

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \text{تعریف می‌شود:}$$

با توجه به رابطه بالا یکای میدان الکتریکی نیوتون بر کولن  $\left(\frac{N}{C}\right)$  است.

### میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار

اندازه میدان الکتریکی اطراف یک ذره باردار از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\left. \begin{aligned} F &= k \frac{|q|q_0}{r^2} \\ E &= \frac{F}{q_0} \end{aligned} \right\} \rightarrow E = \frac{k|q|q_0}{r^2 q_0} = k \frac{|q|}{r^2}$$

جهت میدان اطراف یک ذره باردار به این صورت تعیین می‌شود که بار مثبت فرضی را در آن نقطه قرار می‌دهیم، جهت نیروی وارد بر بار فرضی مثبت در آن نقطه همان جهت میدان الکتریکی است.

### اصل برهم‌نهی میدان الکتریکی

میدان الکتریکی ناشی از چند بار الکتریکی در نقطه‌ای از فضا برابر مجموع میدان‌هایی است که هر بار در نبود سایر بارها در آن نقطه از فضا ایجاد می‌کند. برای اصل برهم‌نهی می‌توان نوشت:

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_{T_0} &= \vec{F}_{T_0} + \vec{F}_{T_0} + \dots \\ \frac{\vec{F}_{T_0}}{q_0} &= \frac{\vec{F}_{T_0}}{q_0} + \frac{\vec{F}_{T_0}}{q_0} + \dots \end{aligned} \right\} \rightarrow \vec{E}_T = \vec{E}_1 + \vec{E}_r + \dots$$

☑ اگر دو ذره هم نام باشند میدان برآیند روی خط واصل بین دوبرو و در نزدیکی بار با اندازه کوچکتر صفر خواهد شد.

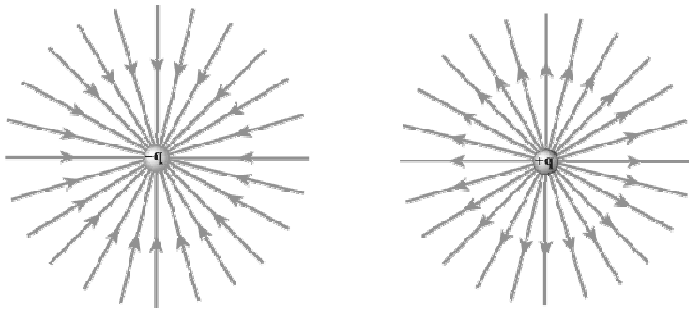
اگر دو ذره نامنما باشند میدان برآیند در امتداد خط واصل بارها و بازهم در نزدیکی بار با اندازه کوچکتر صفر خواهد شد.

**خطوط میدان الکتریکی:** برای تجسم میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خطهای جهت داری به نام خطوط میدان الکتریکی

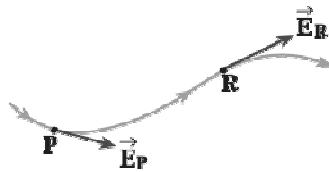
استفاده می شود. ویژگی های خطوط میدان الکتریکی عبارتند از:

۱- خطوط میدان در هر نقطه هم جهت با نیروی وارد بر بار آزمون در آن نقطه اند. بنابراین جهت خطوط برای بار مثبت رو به خارج و برای

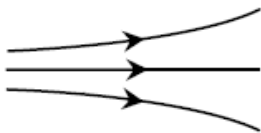
بار منفی رو به داخل است.



۲- بردار مماس بر خطوط میدان در هر نقطه میدان الکتریکی کل را نشان می دهد.



۳- در هر ناحیه که میدان قوی تر باشد خطوط میدان متراکم ترند.

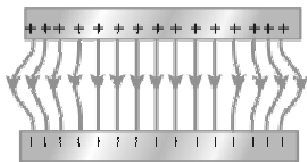


۴- خطوط میدان یکدیگر را قطع نمی کنند. به بیان دیگر در هر نقطه ای فضا یک میدان الکتریکی وجود دارد که همان میدان الکتریکی

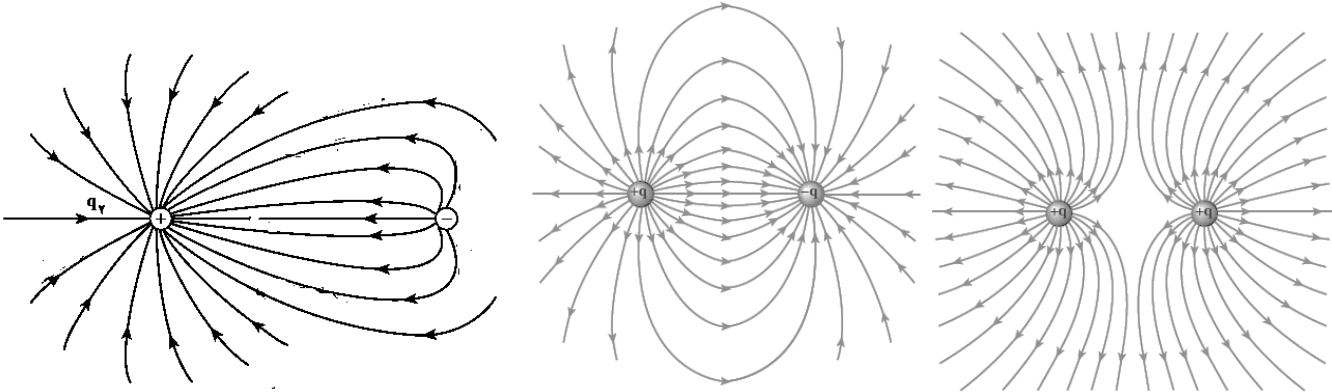
برآیند است.

☑ اگر در یک ناحیه از فضا، خطوط میدان الکتریکی موازی و هم فاصله باشند میدان الکتریکی را «میدان الکتریکی یکنواخت» می نامند.

مانند میدان الکتریکی بین دو صفحه باردار ناهم نام با اندازه بار یکسان.



توجه کنید که در میدان الکتریکی یکنواخت اندازه میدان در تمام نقاط یکسان است بنابراین بار الکتریکی را در هر نقطه‌ای قرار دهیم اندازه و جهت نیروی وارد بر آن یکسان خواهد بود.



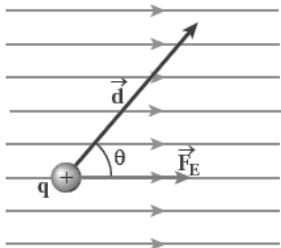
پ) دو بار ناهم‌نام با اندازه‌های متفاوت

ب) دو بار ناهم‌نام هم‌اندازه

الف) دو بار هم‌نام هم‌اندازه

تست های ۲۱۹ تا ۲۲۴ رو حل کنید.

### انرژی پتانسیل الکتریکی



$$\Delta U_E = -W_E$$

$$|\Delta U_E| = E|q|d'$$

☑ در تغییر انرژی جابجایی در راستای میدان مهم است.

☑ با حرکت بار الکتریکی مثبت در جهت میدان الکتریکی، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد و با حرکت آن در خلاف جهت میدان انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد.

☑ با حرکت بار الکتریکی منفی در جهت میدان الکتریکی، انرژی پتانسیل الکتریکی آن افزایش می‌یابد و با حرکت آن در خلاف جهت میدان انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد.

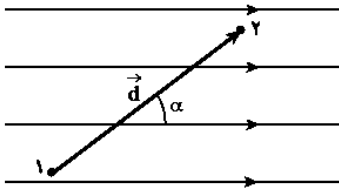
### اختلاف پتانسیل الکتریکی

تغییر انرژی پتانسیل یکای بار مثبت ( $q = 1C$ ) در جابجایی بین دو نقطه برابر اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آن دو نقطه است.

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$$

در رابطه بالا بار با علامت جایگذاری می‌شود. یکای پتانسیل الکتریکی  $\frac{J}{C}$  است که آن را ولت (V) می‌نامیم.

اختلاف پتانسیل بین دو نقطه را می‌توان از رابطه زیر نیز به دست آورد:



$$|\Delta V| = E d'$$

با حرکت در جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد.

مرجع پتانسیل نقطه‌ای است که پتانسیل آن صفر در نظر گرفته می‌شود.

تست های ۲۲۵ تا ۲۳۰ رو حل کنید.

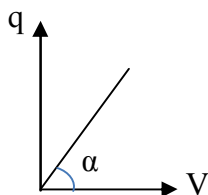
### خازن

$$C = \frac{q}{V}$$

ظرفیت خازن:

واحد ظرفیت خازن کولن بر ولت  $\left(\frac{C}{V}\right)$  است که آن را فاراد (F) می‌نامند. فاراد واحد بزرگی است و معمولاً از میکروفاراد ( $\mu F$ ) استفاده می‌شود.

نمودار بار بر حسب اختلاف پتانسیل یک خازن مطابق شکل زیر به صورت خط راست است که شیب آن بیانگر ظرفیت خازن است.





**عوامل مؤثر در ظرفیت خازن:** ظرفیت خازن تخت تنها به ساختمان داخلی خازن بستگی دارد. ظرفیت خازن تختی که مساحت مشترک صفحات خازن  $A$  بر حسب مترمربع، فاصله‌ی بین دو صفحه خازن  $d$  بر حسب مترو ضریب دی الکتریک عایق بین دو صفحه  $K$  باشد، ظرفیت خازن برابر است با:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}$  ضریب گذردهی الکتریکی خلأ است.  $K$  به جنس عایقی که بین دو صفحه قرار دارد، بستگی دارد و بدون واحد است. مقدار  $K$  برای هوا و خلأ برابر یک است و برای دیگر عایق‌ها از یک بزرگتر است.

### مشخصات خازن

**میدان بین صفحات خازن:** بین صفحات خازن تخت یک میدان الکتریکی یکنواخت برقرار می‌باشد که جهت آن از صفحه مثبت به سمت صفحه منفی است و اندازه آن برابر است با:

$$E = \frac{V}{d}$$

**انرژی ذخیره شده در خازن:** انرژی ذخیره شده درون خازن را می‌توان از روابط زیر به دست آورد:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV = \frac{q^2}{2C}$$

### تغییرات در ساختمان خازن

می‌توان با تغییر در یک یا چند عامل ساختمانی یک خازن، ظرفیت آن را تغییر داد. این تغییرات را می‌توان در دو حالت به خازن اعمال کرد. اگر خازنی به باتری متصل باشد و در ساختمان آن تغییراتی اعمال شود، چون همچنان به باتری متصل است، اختلاف پتانسیل صفحات خازن ثابت خواهد بود. اگر خازن از باتری جدا باشد و در ساختمان آن تغییراتی اعمال شود، بار خازن همواره ثابت خواهد بود.

**فروریزش:** هنگامی که اختلاف پتانسیل خازن افزایش می‌یابد، میدان الکتریکی درون خازن نیز افزایش می‌یابد. با افزایش میدان از یک حد معین، الکترون‌های اتم‌های دی‌الکتریک توسط میدان الکتریکی از اتم جدا می‌شوند و درون دی‌الکتریک مسیر رسانایی بین دو صفحه

خازن ایجاد می کنند. با عبور ناگهانی بار بین دو صفحه گرمای زیادی تولید می شود که معمولاً با یک جرقه همراه است و در اکثر موارد خازن می سوزد و دی الکتریک ماهیت خود را از دست می دهد.

**پتانسیل فروریزش:** بیشترین اختلاف پتانسیلی که هر خازن می تواند تحمل کند.

**قدرت (استقامت) دی الکتریک:** مقدار بیشینه ی میدان الکتریکی که دی الکتریک می تواند بدون فروریزش تحمل کند.

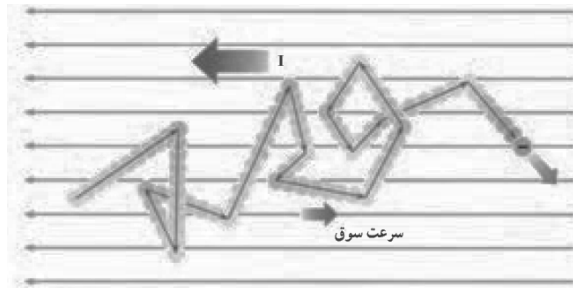
تست های ۲۳۱ تا ۲۳۷ رو حل کنید.

## الکتريسيته چاري

جریان الکتریکی متوسط: نسبت بار عبوری ( $\Delta q$ ) به مدت زمان عبور بار ( $\Delta t$ ) را جریان الکتریکی متوسط ( $\bar{I}$ ) می‌نامیم.

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

✓ حرکت الکترون‌ها درون یک رسانا در خلاف جهت میدان الکتریکی تولید شده و از پتانسیل کم به پتانسیل زیاد است. طبق قرارداد، جهت جریان خلاف جهت الکترون‌ها در نظر گرفته می‌شود.



✓ بار باتری‌ها را بر حسب واحدی به نام «آمپر ساعت» بیان می‌کنند. اگر جریان باتری مشخص باشد مدت زمانی که می‌توان از باتری جریان مشخص را گرفت تعیین می‌شود.

$$1 \text{ A.h} = 1 \frac{\text{C}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ C}$$

✓ سطح زیر نمودار ( $I-t$ ) نشان‌دهنده بار عبوری است.

✓ در نمودار ( $q-t$ ) شیب خط بین دو نقطه از نمودار برابر جریان متوسط بین دو لحظه و شیب خط مماس در یک لحظه برابر جریان در آن لحظه است.

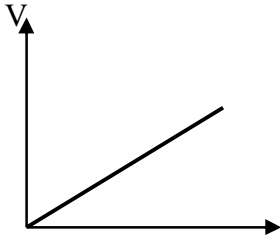
تست های ۲۳۸ تا ۲۳۹، رو حل کنید.

## مقاومت الکتریکی

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

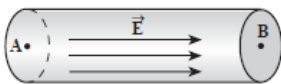
یکای مقاومت ولت بر آمپر  $\left(\frac{V}{A}\right)$  است که آن را اهم ( $\Omega$ ) می‌نامیم. در صنعت و آزمایشگاه مقدار مقاومت را با وسیله‌ای به نام اهم‌سنج می‌سنجند.

**قانون اهم:** برای برخی از اجسام (مانند فلزات) در دمای ثابت نسبت اختلاف پتانسیل دو سر آن‌ها به جریان عبوری از آن همواره مقداری است ثابت که این مقدار ثابت همان مقاومت جسم است. مقاومت‌هایی که از قانون اهم پیروی می‌کنند را مقاومت اهمی می‌نامیم. در مقاومت‌های اهمی نمودار اختلاف پتانسیل و جریان الکتریکی مقاومت به صورت یک خط راست است که شیب آن برابر مقاومت رسانا است.



## ساختار مقاومت

## ۱- افت پتانسیل در مقاومت

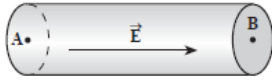


$$V_A - V_B = R \cdot I$$

بنابراین هنگامی که در جهت جریان الکتریکی از یک مقاومت عبور می‌کنیم، پتانسیل به اندازه  $RI$  کاهش و اگر در خلاف جهت جریان از آن عبور کنیم پتانسیل به اندازه  $RI$  افزایش می‌یابد.

## ۲- انرژی الکتریکی و توان مصرفی در مقاومت

مطابق شکل زیر فرض کنید بار مثبت  $q$  به صورت فرضی از نقطه  $A$  به نقطه  $B$  جابجا می‌شود، در این صورت تغییر انرژی الکتریکی بار برابر است با:



$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} \rightarrow \Delta U = q\Delta V \xrightarrow{q=It} \begin{cases} \Delta U = It\Delta V \\ \Delta U = RI^2 t \\ \Delta U = \frac{(\Delta V)^2}{R} t \end{cases}$$

✓ برای مصارف زیاد انرژی الکتریکی از واحد کیلووات ساعت استفاده می‌شود.

$$1 \text{ kW.h} = 1000 \cdot \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

✓ طبق رابطه  $P = \frac{\Delta U}{t}$ ، روابط توان یک مقاومت به صورت زیر است:

$$P = RI^2 = \frac{(\Delta V)^2}{R} = (\Delta V)I$$

✓ بر روی هر دستگاه الکتریکی دو عدد نوشته می‌شود. یکی از اعداد بر حسب ولت می‌باشد که اختلاف پتانسیل نامی یا اسمی (ولتاژ اسمی) نامیده می‌شود. اختلاف پتانسیل نامی مناسب‌ترین اختلاف پتانسیلی است که دستگاه می‌تواند با آن کار کند. عدد دیگر که بر حسب وات یا کیلووات است، توان نامی یا توان اسمی است. توان اسمی توان مصرفی دستگاه هنگامی که به ولتاژ نامی وصل می‌شود توان نامی را تحویل می‌دهد.

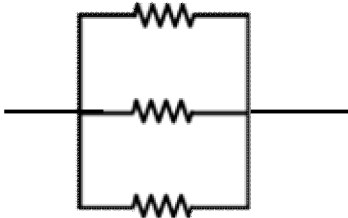
اگر مقاومت الکتریکی دستگاه ثابت باشد، می‌توان نوشت:

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow \begin{cases} P_n = \frac{V_n^2}{R} \\ P = \frac{V^2}{R} \end{cases} \rightarrow \frac{P_n}{P} = \left( \frac{V_n}{V} \right)^2$$

تست های ۲۳۰ تا ۲۴۳، رو حل کنید.

## به هم بستن مقاومت ها

۱- اتصال موازی: اگر دو دست یک مقاومت با دو دست مقاومت دیگر مشترک باشد دو مقاومت را موازی می نامیم. برای مقاومت های موازی مقاومت معادل (مقاومتی که اگر به جای چند مقاومت قرار دهیم به اندازه مجموع مقاومت ها انرژی مصرف می کند) از رابطه زیر به دست می آید:



✓ در اتصال موازی مقاومت معادل از مقدار تک تک مقاومت ها کمتر است.

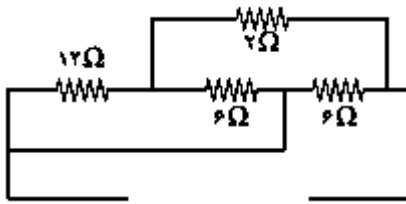
۲- اتصال سری (متوالی): اگر یک دست دو مقاومت مشترک باشد و از دست مشترک آن ها اتصالی (سیم) خارج نشده باشد، دو مقاومت را سری یا متوالی می نامیم. در اتصال سری مقاومت ها داریم:



اتصال کوتاه: اگر دو سر یک مقاومت یا مجموعه ای از مقاومت ها که بتوان مقاومت معادل را برای آن ها تعیین کرد، توسط یک سیم به یکدیگر وصل شود، پتانسیل دو سر مجموعه یکسان شده و هیچ جریانی از آن عبور نمی کند در نتیجه می توان آن مقاومت یا مجموعه آن ها را از مدار حذف کرد.

## روش نامگذاری گره ها

در برخی از مدارها تشخیص سری یا موازی بودن مقاومت ها مشکل است. برای سادگی کار ابتدا گره ها را نامگذاری می کنیم و سپس شکل مدار را یک بار دیگر رسم می کنیم. اگر دو گره توسط یک سیم بدون مقاومت به هم متصل شوند، پتانسیل آن دو گره یکسان است و نام آن دو یکسان خواهد بود. در مثال زیر مقاومت معادل را به دست بیاورید:



باتری و پیل‌های آن

### ۱- نیروی محرکه الکتریکی

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta q}$$

یکای کمیت نیروی محرکه‌ی الکتریکی همان یکای اختلاف پتانسیل الکتریکی یعنی ولت است. طبق رابطه بالا  $1V = \frac{1J}{1C}$  است. به عنوان

مثال اگر نیروی محرکه‌ی الکتریکی یک باتری برابر  $3V$  باشد، یعنی باتری روی هر کولن بار  $3J$  کار انجام می‌دهد.

### ۲- مقاومت درونی مولد

باتری در برابر جریان الکتریکی از خود مقاومت نشان می‌دهد که آن را مقاومت درونی باتری می‌نامیم. مقاومت درونی یک باتری را با  $r$  نشان می‌دهیم.

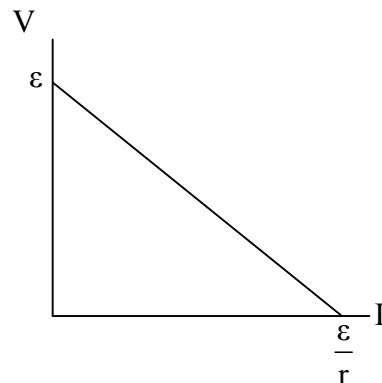
### ۳- اختلاف پتانسیل دو سر منبع نیروی محرکه

اگر مطابق شکل زیر جهت جریان الکتریکی از قطب منفی یک باتری به قطب مثبت آن باشد، باتری در حال تحویل انرژی به مدار است و

داریم:



$$V = \varepsilon - rI$$



۴- توان منبع نیروی محرکه الکتریکی

برای هر باتری یا منبع نیروی محرکه الکتریکی می توان سه توان را تعریف کرد:

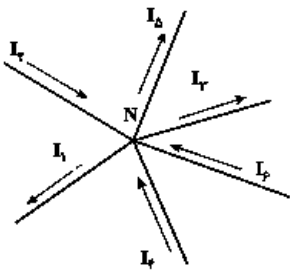
$$\left\{ \begin{array}{ll} P = \varepsilon I & \text{توان کل (تولیدی)} \\ P = rI^2 & \text{توان مصرفی (تلف شده)} \\ P = \varepsilon I - rI^2 & \text{توان مفید (تحویلی به مدار)} \end{array} \right.$$

**قاعده حلقه (قانون حلقه):** در هر دور زدن کامل حلقه‌ای از یک مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های اجزای مدار باید صفر باشد.

با عبور از یک مقاومت در جهت جریان پتانسیل به اندازه  $RI$  کاهش می‌یابد و اگر خلاف جهت جریان از مقاومت عبور کنیم پتانسیل به اندازه  $RI$  افزایش می‌یابد.

اگر از قطب منفی یک باتری به قطب مثبت آن برویم پتانسیل به اندازه‌ی نیروی محرکه الکتریکی باتری افزایش می‌یابد و اگر از قطب مثبت به قطب منفی برویم پتانسیل به اندازه‌ی نیروی محرکه الکتریکی باتری کاهش می‌یابد.

**قاعده انشعاب (قانون گره):** مجموع جریان‌های ورودی به یک گره برابر مجموع جریان‌های خروجی از آن است.



مدار تک حلقه و تک باتری

مداری که پس از ساده شدن مقاومت‌های آن فقط دارای یک حلقه باشد را «مدار تک حلقه» می‌نامیم. جریان مدار تک حلقه را

$$I = \frac{\varepsilon}{R_T + \sum r}$$

می‌توان از رابطه‌ی زیر نیز به دست آورد:



**ولتسنج آرمانی:** به صورت موازی در مدار قرار می‌گیرد و دارای مقاومت خیلی زیاد است به طوری که جریانی از آن عبور نمی‌کند. همواره اختلاف پتانسیل بین دو نقطه‌ای که به آن متصل شده را نشان می‌دهد.

**آمپرسنج آرمانی:** به صورت متوالی در مدار قرار می‌گیرد و دارای مقاومت خیلی کم است به طوری که اختلاف پتانسیل دو سر آن صفر است.

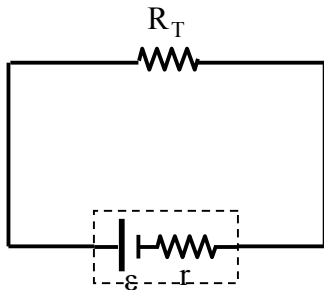
اگر اندازه یکی از مقاومت‌های مدار را افزایش دهیم (چه این مقاومت سری باشد و چه موازی):

۱- مقاومت کل مدار افزایش می‌یابد. ۲- جریان عبوری از باتری کم می‌شود.

۳- ولتاژ دو سر آن مقاومت افزایش می‌یابد. ۴- جریان عبوری از آن مقاومت کم می‌شود.

بیشترین توان مصرفی یک مقاومت با مقدار متغیر در یک مدار هنگامی رخ می‌دهد که اندازه مقاومت با مقاومت معادلی که از دو سر خود آن مقاومت دیده می‌شود برابر باشد.

در مدار شکل زیر نمودار توان مفید مولد و نمودار آن برابر است با:



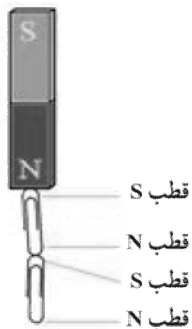
## مغناطیس

### آهنربا

ماده کانی مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) که می تواند قطعات آهن را جذب کند آهنربا می نامیم. اگر مقداری براده آهن را روی یک آهنربا (آهنربا هر شکلی می تواند داشته باشد) بریزیم، در دو ناحیه از آهنربا براده های بیشتری جذب آهنربا می شود، که این دو ناحیه را «قطب های آهنربا» می نامند.

☑ اگر آهنربایی را نصف کنیم، هر کدام از قسمت های حاصل خود نیز یک آهنربا خواهند بود، به طوریکه یکدیگر را جذب می کنند. اگر این کار را آنقدر انجام دهیم تا به یک اتم برسیم باز هم آن اتم دارای دو قطب خواهد بود. به عبارتی می توان گفت که: «تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد.»

### القای مغناطیسی:



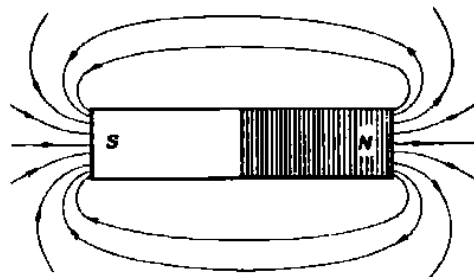
### میدان مغناطیسی

هر آهنربا در فضای اطراف خود خاصیتی به وجود می آورد که به علت وجود این خاصیت بر مواد مغناطیسی و آهنرباهای دیگر که اطراف آن قرار دارند، نیروی مغناطیسی وارد می کند، این خاصیت را «میدان مغناطیسی» می نامیم. میدان مغناطیسی یک کمیت برداری می باشد و دارای اندازه (بزرگی) و جهت است و آن را با  $\vec{B}$  نشان می دهیم. جهت میدان مغناطیسی در هر نقطه توسط عقربه ی مغناطیسی که خود یک آهنربای کوچک است، تعیین می شود. قطب N عقربه مغناطیسی در هر نقطه جهت میدان مغناطیسی در آن نقطه را نشان می دهد.

با تعیین جهت میدان مغناطیسی در هر نقطه اطراف آهنربا می‌توان خطوط میدان مغناطیسی اطراف آهنربا را رسم کرد. این خطوط دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند.

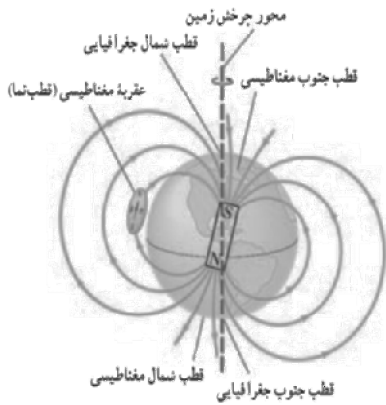
### ویژگی‌های خطوط میدان مغناطیسی:

- ۱- خطوط بسته‌ای هستند که درون آهنربا نیز ادامه دارند. جهت آن‌ها در بیرون از آهنربا از N به S و در درون آهنربا از S به N است.
- ۲- میدان در هر نقطه برداری است مماس بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد و با آن هم جهت است.
- ۳- خطوط میدان یکدیگر را قطع نمی‌کنند، یعنی در هر نقطه از فضا فقط یک میدان مغناطیسی وجود دارد.
- ۴- تراکم خطوط میدان در یک منطقه به معنای قوی بودن میدان مغناطیسی در آن منطقه است. بنابراین خطوط میدان در نزدیکی قطب‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند.
- ۵- اگر یک عقربه‌ی مغناطیسی در میدان مغناطیسی قرار دهیم، عقربه در راستای میدان (مماس بر خط میدان) به گونه‌ای می‌ایستد که خط میدان از قطب S عقربه وارد شده و از قطب N عقربه خارج می‌شود.



**میدان مغناطیسی یکنواخت:** اگر در یک ناحیه از فضا خطوط میدان مغناطیسی هم‌جهت، موازی و هم‌فاصله باشند، میدان مغناطیسی در آن ناحیه را میدان مغناطیسی یکنواخت می‌نامیم.

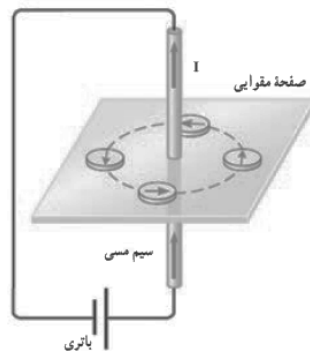
**میدان مغناطیسی زمین:** زمین یک آهنربای عظیم است. خط‌های مغناطیسی آن مانند آهنربای میله‌ای بزرگی است که در نزدیکی مرکز رأس زمین قرار دارد. قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند. قطب جنوب مغناطیسی در نزدیکی قطب شمال جغرافیایی و قطب شمال مغناطیسی در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی است. خطوط میدان مغناطیسی زمین در نقاط مختلف با سطح زمین زاویه‌ای می‌سازند که به آن **شیب مغناطیسی** می‌گوییم.



✓ هر چه به سمت قطب‌ها برویم شیب مغناطیسی افزایش پیدا می‌کند.

میدان مغناطیسی سیم در جریان

**تعیین جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم حامل جریان:** اگر سیم را طوری در دست راست بگیریم که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت جهت خطوط مغناطیسی را نشان می‌دهد.



اندازه میدان مغناطیسی سیم راست حامل جریان: میدان مغناطیسی در فاصله R از یک سیم راست طویل که جریان I از آن عبور می کند، با جریان سیم رابطه مستقیم و با فاصله از سیم رابطه وارون دارد.

تسلا واحد بزرگی برای میدان مغناطیسی است، بنابراین واحد دیگری به نام «گوس (G)» نیز برای میدان مغناطیسی مورد استفاده قرار می گیرد.

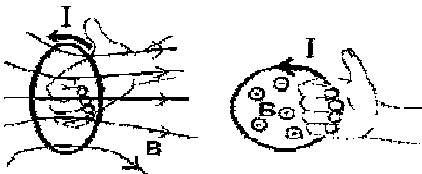
$$1T = 10^4 G, 1G = 10^{-4} T$$

☑ اگر دو سیم بلند موازی حامل جریان کنار یکدیگر باشند، بر روی خطی که موازی این دو سیم است میدان برابر صفر می شود. اگر جریان سیم ها هم جهت باشد، آن خط بین دو سیم و اگر جریان دو سیم مخالف جهت هم باشند، آن خط خارج فاصله دو سیم و در هر دو حالت به سیم با جریان کمتر نزدیک می باشد.

☑ اگر سیم ها عمود بر صفحه کاغذ بودند، جهت میدان در یک نقطه عمود بر خطی است که سیم را به آن نقطه وصل می کند.

### میدان مغناطیسی پیچ

تعیین جهت میدان مغناطیسی در پیچه: اگر پیچه را طوری در دست راست بگیریم که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت جهت خطوط مغناطیسی را در داخل پیچه و خارج آن نشان می دهد.



اندازه میدان مغناطیسی سیم راست حامل جریان: خطوط میدان مغناطیسی درون یک پیچه تقریباً موازی و هم فاصله هستند و می توان آن را یک میدان یکنواخت در نظر گرفت. اندازه میدان درون یک پیچه بزرگتر از اندازه میدان در بیرون آن است.

☑ اگر سیم راست بلندی به طول L را به صورت پیچه ای به شعاع R در بیاوریم، تعداد دور حاصل  $N = \frac{L}{2\pi R}$  است.

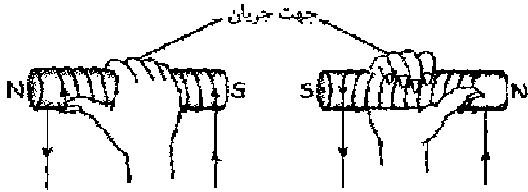
☑ ممکن است تعداد دور یک پیچه عددی کسری باشد.



$$N = \frac{\alpha}{360}$$

میدان مغناطیسی سیملوله

تعیین جهت میدان مغناطیسی در مرکز سیملوله: چهار انگشت دست راست را روی سیم‌های سیملوله در جهت جریان قرار می‌دهیم، در این صورت انگشت شست جهت خطوط میدان را درون سیملوله نشان می‌دهد.



اندازه میدان مغناطیسی در مرکز سیملوله: اگر تعداد دور سیملوله در واحد طول (یک متر) برابر  $n$  باشد، میدان در مرکز سیملوله برابر است با:

$$B = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$$

☑ اگر سیمی به طول  $L$  را به صورت سیم لوله ای به شعاع  $R$  در بیاوریم، تعداد دور سیملوله برابر است با:

$$N = \frac{L}{\sqrt{\pi} R}$$

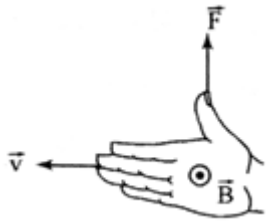
☑ اگر از سیم هایی به هم چسبیده با قطر  $D$  ، سیم لوله ای را بسازیم میدان درون سیملوله برابر است با:

$$B = \frac{\mu_0 I}{D}$$

تست های ۲۶۱ تا ۲۶۳ رو حل کنید.

## نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی

تعیین جهت نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی: برای تعیین جهت نیروی وارد بر یک ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی از قاعده‌ی دست راست استفاده می‌کنیم. طبق قاعده دست راست اگر چهار انگشت دست را در جهت حرکت ذره طوری قرار دهیم که کف دست جهت میدان را نشان دهد، در این صورت انگشت شست جهت نیروی وارد بر ذره را نشان می‌دهد. برای بار مثبت از دست راست و برای بار منفی از دست چپ استفاده می‌کنیم.



قاعده دست راست برای تعیین جهت نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی

✓ طبق قاعده‌ی دست راست، بردار نیرو بر دو میدان مغناطیسی و سرعت عمود است. اما سرعت و میدان می‌توانند هر زاویه‌ای با هم بسازند.

✓ برای نشان دادن جهت‌های جغرافیایی از فضای سه بعدی استفاده می‌کنیم.

✓ مسیر حرکت یک ذره به سرعت آن و نیرویی که بر آن وارد می‌شود بستگی دارد. همواره مماس بر مسیر حرکت جهت بردار سرعت را نشان می‌دهد و جهت نیرو به سمت مرکز مسیر دایره‌ای است.

اندازه نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی: اگر ذره بارداری با اندازه‌ی بار  $q$  و با اندازه سرعت  $v$  در یک میدان مغناطیسی یکنواخت به اندازه  $B$  طوری حرکت کند که سرعت آن با میدان زاویه‌ی  $\theta$  بسازد، اندازه‌ی نیروی وارد بر آن برابر است با:

$$F = qvB \sin \theta$$

$q$  بر حسب کولن،  $v$  بر حسب متر بر ثانیه،  $B$  بر حسب تسلا

✓ تفاوت‌های نیروی الکتریکی و نیروی مغناطیسی وارد بر یک ذره:

۱- نیروی الکتریکی بر ذره باردار ساکن و متحرک وارد می‌شود ولی نیروی مغناطیسی تنها به ذره باردار متحرک وارد می‌شود.

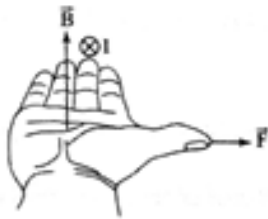
۲- جهت نیروی الکتریکی هم راستا با میدان الکتریکی است ولی نیروی مغناطیسی بر میدان مغناطیسی عمود می‌باشد.

۳- ممکن است در یک میدان مغناطیسی به یک ذره باردار نیرو وارد نشود ولی در میدان الکتریکی در هر صورتی به ذره باردار نیرو وارد می‌شود.

تست های ۲۶۵ تا ۲۷۰ رو حل کنید.

### نیروی وارد بر سیم حامل جریان

تعیین جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی: برای تعیین جهت نیروی وارد بر یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی از قاعده‌ی دست راست استفاده می‌کنیم. طبق قاعده دست راست اگر چهار انگشت دست را در جهت جریان طوری قرار دهیم که کف دست جهت میدان را نشان دهد، در این صورت انگشت شست جهت نیروی وارد بر سیم را نشان می‌دهد.



قاعده دست راست برای تعیین جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی

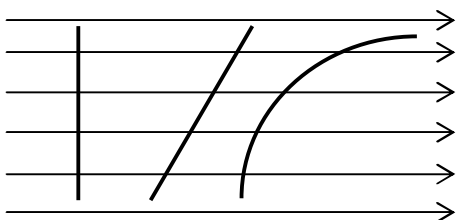
$$F = BIL \sin \alpha$$

تعیین اندازه نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی:

**تسلا:** یک تسلا بزرگی میدان مغناطیسی است که در آن، بر یک متر از سیمی که حامل جریان یک آمپر است و در راستای عمود بر بردار میدان قرار دارد نیرویی برابر یک نیوتون وارد کند. می‌توان نوشت:

$$1T = \frac{1N}{1A \cdot 1m}$$

☑ در رابطه نیروی وارد بر سیم حامل جریان  $L \sin \alpha$  در حقیقت تصویر سیم بر راستای عمود بر خطوط میدان است. در شکل زیر اگر جریان مساوی از هر یک از سیم‌ها عبور کند نیروی وارد بر آن‌ها با هم برابر است.





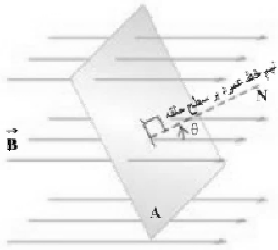
نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان

اگر دو سیم موازی حامل جریان در کنار یکدیگر باشند، به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. اگر جریان‌های دو سیم هم‌جهت باشد، نیروی بین آن‌ها جاذبه و اگر جریانه‌های دو سیم جهت‌های مختلف داشته باشد نیروی بین آن‌ها دافعه خواهد بود.

تست های ۲۷۱ تا ۲۷۳ رو حل کنید.

## انتهای الکترومغناطیسی

شار مغناطیسی



$$\Phi = A B \cos \theta$$

یکای شار مغناطیسی تسلا در متر مربع است که آن را وِبر ( $1 \text{ T} \cdot \text{m}^2 = 1 \text{ Wb}$ ) می‌نامند.

✓ زاویه‌ی خطوط میدان با نیم‌خط عمود بر سطح و زاویه‌ی خطوط میدان با سطح حلقه متعمد یکدیگرند.

✓ هنگامی که سطح حلقه بر خطوط میدان مغناطیسی عمود باشد بیشترین شار از آن عبور می‌کند و اگر سطح حلقه موازی میدان مغناطیسی موازی خطوط میدان باشد، شار عبوری از حلقه برابر صفر است.

قانون القای مغناطیسی فارادی

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

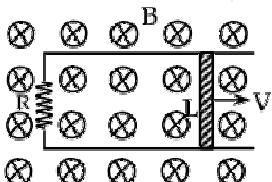
نیروی محرکه‌ی القایی متوسط

$$\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} = -N \frac{\Delta \Phi}{R \cdot \Delta t}$$

جریان القایی متوسط

✓ اگر یک ضلع قابی مطابق شکل زیر درون یک میدان مغناطیسی یکنواخت با سرعت ثابت حرکت کند، در آن نیروی محرکه‌ی القایی به

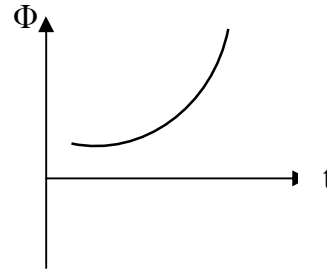
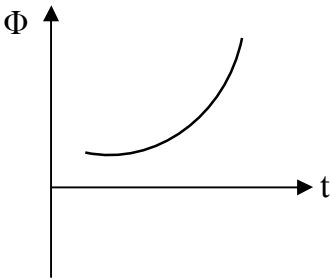
وجود می‌آید (زیرا مساحت حلقه در حال تغییر است). اندازه‌ی این نیروی محرکه‌ی القایی برابر است با:



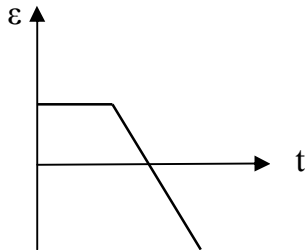
$$\varepsilon = -B v L$$

نکات نمودارهای القای الکترومغناطیسی

۱- در نمودار شار مغناطیسی بر حسب زمان، شیب خط بین دو لحظه از نمودار برابر نیروی محرکه‌ی القایی متوسط بین آن دو لحظه در یک حلقه است. شیب خط مماس بر نمودار در یک لحظه برابر نیروی محرکه‌ی القایی در آن لحظه در یک حلقه است.



۲- سطح زیر نمودار  $(\varepsilon-t)$  برابر قرینه حاصلضرب تعداد دور در تغییرات شار است. (سطوح بالای محور زمان با علامت مثبت و سطوح پایین محور با علامت مثبت در نظر گرفته می‌شود).



قانون لندر

- ۱- ابتدا جهت میدان اصلی را تعیین می‌کنیم.
- ۲- تعیین می‌کنیم که شار کم شده است یا زیاد یا ثابت است.
- ۳- اگر شار کم شده میدان القایی هم جهت میدان اصلی، اگر شار زیاد شده میدان القایی خلاف جهت میدان اصلی و اگر شار ثابت است اصلا جریانی القا نمی‌شود.
- ۴- با قاعده دست راست از روی جهت میدان القایی، جهت میدان اصلی را تعیین می‌کنیم.

تست های ۲۷۵ تا ۲۸۲ رو حل کنید.

جریان متناوب

**دوره (زمان متناوب):** زمان چرخش یک دور کامل را دوره یا زمان متناوب می نامند و با نماد  $T$  نشان می دهند.

(۱) شار متناوب:

$$\Phi = BA \cos\left(\frac{\gamma\pi}{T} t\right)$$

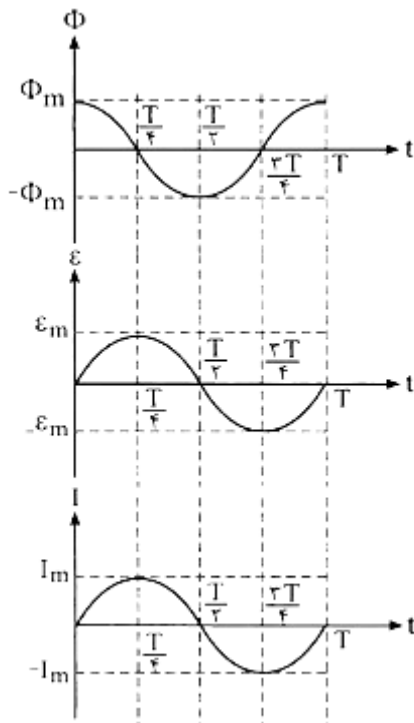
(۲) نیروی محرکه متناوب:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin\left(\frac{\gamma\pi}{T} t\right)$$

(۳) جریان متناوب:

$$I = \frac{\varepsilon_{\max}}{R} \sin\left(\frac{\gamma\pi}{T} t\right) = I_{\max} \sin\left(\frac{\gamma\pi}{T} t\right)$$

نمودارهای جریان متناوب:



## مبدل‌ها (ترانسفورماتور)

به منظور کاهش اتلاف انرژی الکتریکی در حین انتقال آن بهتر است تا حد امکان از ولتاژ بالا و جریان کم استفاده کنیم و همچنین می‌توانیم از سیم‌های نازک‌تری نیز به کار ببریم. به این منظور، برای تبدیل ولتاژ از مبدل‌ها استفاده می‌کنیم.

☑ اگر  $N_1 < N_2$  باشد مبدل را افزایش می‌نامند. در این حالت از خروجی مبدل ولتاژی بزرگتر از ولتاژ اولیه گرفته می‌شود. اگر  $N_1 > N_2$  باشد مبدل کاهشده خواهد بود.

☑ اساس کار مبدل‌ها القای متقابل است.

☑ در مبدل‌ها شار گذرنده از هر دو پیچ با هم برابر است.



تست‌های ۲۸۳ تا ۲۸۵، رو حل کنید.