به نام خدا

جزوه درس فیزیک

مدرس:

دکتر ماریا احمدی

پاییز ۱۳۹۶

فهرست

فصل اول:اندازگیری

فصل دوم:حرکت شناسی

فصل سوم:دینامیک

فصل چهارم:کار و انرژی

فصل پنجم:گرما

فصل ششم:ویژگی مواد

فصل اول

اندازه گیری

- انواع کمیت ها
- روش رسم بردار
- نمایش یک بردار در دستگاه مختصات دو بعدی
- تجزیه ی بردار

انواع کمیت ها:

۱. **کمیت های اصلی :** کمیتهایی هستند که دانشمندان برای آنها تعریف مستقلی آورده اند . (طول ، جرم، زمان، شدت جریان و.

۲. **کمیت های فرعی :** کمیتهایی هستند که نیازی به آوردن تعـریف مستقل برای آنها نیسـت و می توانیم آنها را به کمک روابط ساده ریاضی از ترکیب کمیتهای اصلی بدست آوریم مثلا کمیت سرعت از تقسیم دو کمیت اصلی طول به زمان.

دقت اندازه گیری: کمترین مقداری که یک وسیله اندازه گیری قادر به اندازه گیری آن باشد ؛ دقت اندازه گیری آن وسیله نامیده می شود ؛ مثلا دقت خط کش های معمولی در حد میلی متر است و یا دقت اندازه گیری ساعتی که ثانیه شمار آن افتاده باشد در حد دقیقه است

- **انواع کمیت ها از نظر جهت :**

- **کمیت های نرده ای:**

کمیت هایی که فقط دارای مقدار هستند،(کمیت های نرده ای)نامیده می شوند.مانند:جرم، ..

- **کمیت های برداری:**

کمیت هایی که علاوه بر مقدار ،دارای راستا و جهت نیز هستند،(کمیت های برداری)نامیده می شوند.مانند:وزن،سرعت و .....

نکته:یک کمیت برداری وقتی ثابت است که هر سه عامل مشخص کننده ی آن (مقدار،راستاو جهت)ثابت باشندو اگر حتی یکی از این عوامل تغییر کند،آن کمیت برداری دیگر ثابت نمی باشد.

نکته: دو بردارراا زمانی (هم سنگ)می گویندکه دارای مقدار مساوی و نیز موازی و هم جهت باشند.

➢ رسم برآیند دو بردار:

۱-روش مثلث:

برای رسم برآیند دو بردار به روش مثلث،ابتدااز انتهای یکی از بردارها هم سنگ دیگری را رسم می کنیم،سپس از ابتدای بردار اول به انتهای بردار دوم وصل می کنیم.

۲-روش متوازی الاضلاع:

برای رسم برآیند دو بردار به روش متوازی الاضلاع ،از ابتدای یکی از بردارها هم سنگ دیگری را رسم کرده بر روی آن ها متوازی الاضلاعی می سازیم.قطر این متوازی الاضلاع برآیند دو بردار می باشد.

- **اندازه ی برآیند دو بردار:**

اگردو بردار $\overrightarrow{V_1}$ و$\overrightarrow{V_2}$ با یکدیگرزاویه یαبسازند،اندازه ی برآیند آن ها ازرابطه ی زیربه دست می آید:

$$R = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + 2V_1V_2\cos\alpha}$$

نکته: اگر دو بردار $\overrightarrow{V_1}$و$\overrightarrow{V_2}$با یکدیگر زاویهαبسازندو نیز داشته باشیم:

$V = V_1 = V_2$

در این صورت اندازه ی برآیند دو بردار از رابطه ی زیر به دست میآید:

$$R = 2V\cos\frac{\alpha}{2}$$

مثال ۱: اندازه ی برآیند دو بردار عمود بر هم برابر با ۱۰می باشد.اگر بردار کوچک تر با برآینددو بردار زاویه ی۶۰درجه بسازد،اندازه ی بردار بزرگتر چه قدر می باشد؟

مثال ۲: دو بردار مساوی با هم زاویه ی 90می سازند.اگر اندازه ی برآیند این دو بردار ۵ اندازه ی هر یک از آن ها چند درجه است؟

رسم تفاضل دو بردار:

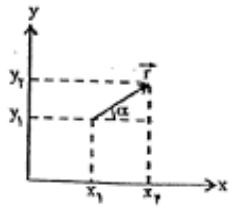
اگر ابتدای دو بردار بر هم منطبق باشند،برداری که انتهای بردار اول را به انتهای بردار دوم وصل می کند،(بردار تفاضل) می باشد.

اندازه تفاضل دو بردار:

اگر دو بردار $\overrightarrow{V_1}$و$\overrightarrow{V_2}$با یکدیگر زاویه ی مساوی αبسازند،اندازه ی تفاضل آن ها از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$\Delta V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2\cos\alpha}$$

نمایش یک بردار در دستگاه مختصات دو بعدی:



$$\begin{cases} \vec{r} = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} \\ |\vec{r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ \tan\alpha = \dfrac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \end{cases}$$

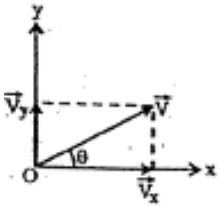
مثال۳: زاویه ای که بردار $\vec{r} = (1 + a)\vec{i} + 4\vec{j}$ با جهت مثبت محور xها می سازد برابر با ۵۳درجه است .در این صورت aبرابر است با:

مثال٤: دو بردار $\vec{A} = a\vec{i}$ و $\vec{B} = \beta\vec{j}$ مفروضند.اگر برآیند این دو بردار با جهت مثبت محور xها زاویه ی ۶۰درجه بسازد $\frac{\alpha}{\beta}$ برابر است با:

مثال ۵: اگر $\vec{A} = ۴\vec{i} - ۳\vec{j}$ و $\vec{B} = -۵\vec{i}$ و $\vec{A} - \vec{B} + \vec{C} = ۰$ باشد، بردار $\vec{C}$ کدام است؟

تجزیه ی بردار:

اگر بخواهیم بردار $\vec{v}$ را بر روی دو راستای OX و OY تجزیه کنیم ،باید از انتهای بردار $\vec{V}$ دو عمود بر OX و OY رسم نماییم، در این صورت $\overrightarrow{V_X}$ و $\overrightarrow{V_Y}$ مولفه هایا همته های بردار $\vec{V}$ بر روی این دو راستا می باشند.



$$\begin{cases} V_X = V\cos\theta \\ V_Y = V\sin\theta \end{cases}$$

مثال ۶: بردار $\vec{V}$ به طول ۴ را به دو راستای عمود بر هم تجزیه کرده ایم .اگر اندازه ی یکی از مولفه های برابر با ۲ باشد، اندازه ی دیگری چه قدر است؟

مثال ۷: بردار $۹\vec{i} + ۱۲\vec{j}$ را به دو بردار تجزیه کرده ایم به طوری که یکی از آن ها واقع در ربع اول و با جهت مثبت محور Xها زاویه ی ۴۵ درجه می سازد و دیگری به صورت $۲\vec{i} + \beta\vec{j}$ است مقدار β چیست؟

فصل دوم

حرکت شناسی

- مکان و جابجایی
- سرعت متوسط
- شتاب متوسط
- سرعت لحظه ای
- شتاب لحظه ای

مکان و جابجایی:

متحرکی را درنظر بگیرید که روی محور X در حال حرکت است. در این صورت فاصله این متحرک را در هر لحظه از مبدا **"مکان متحرک"** می گویند. حال فرض کنید متحرک در لحظه t_1 در فاصله x_1 ودر لحظه t_2 در فاصله x_2 از مبدا است، در این حالت $(x_2 - x_1)$ را **"جابه جایی متحرک"** می نامند.

مثال۱: متحرکی که بر روی محور X حرکت می نماید در لحظه $t_1 = 2s$ در مکان $x_1 = 2m$ و در لحظه $t_2 = 5s$ در مکان $x_2 = -3m$ است. جابه جایی متحرک را بین دو لحظه t_1 و t_2 بدست آورید.

سرعت متوسط در حرکت بر روی مسیر مستقیم:

سرعت متوسط متحرکی که بر روی محور "X" در حرکت است و در لحظه t_1 در مکان x_1 و در لحظه t_2 در مکان x_2 می باشد را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

سرعت متوسط $= \bar{V} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

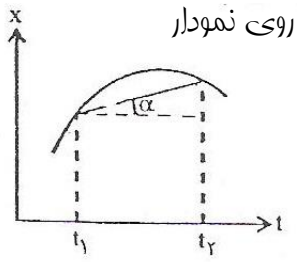
مثال۲: متحرکی ۱۰ متر را با سرعت ۲/۵ متر بر ثانیه و ۲۰ متر را با سرعت ۵ متر بر ثانیه طی نموده و سپس ۱۵ متر را با سرعت ۳ متر بر ثانیه باز می گردد. سرعت متوسط متحرک تقریبا چند متر بر ثانیه است؟

مثال۳: متحرکی $\frac{۲}{۵}$ مسافتی را با سرعت $۲۰\frac{m}{s}$ و $\frac{۳}{۵}$ آن را با سرعت $۳۰\frac{m}{s}$ طی می کند. سرعت متوسط متحرک چند متر بر ثانیه است؟

مثال۴: متحرکی ۳ دقیقه با سرعت ۲۰ متر بر ثانیه و ۲ دقیقه با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه بر راستای مستقیم در یک سو حرکت می کند. سرعت متوسط این متحرک چند متر بر ثانیه است؟

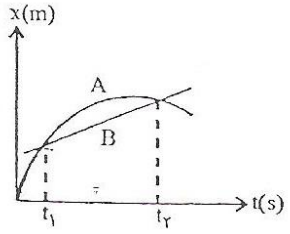
مفهوم سرعت با توجه به نمودار مکان–زمان:

سرعت متوسط یک متحرک بین دو لحظه t_1 و t_2 برابر است با شیب خط واصل دو نقطه بر روی نمودار مکان–زمان:

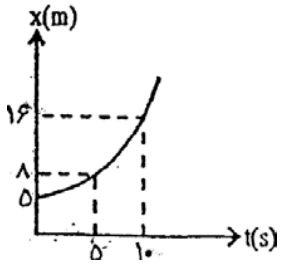


$$\bar{V} = \tan\alpha$$

مثال۵: نمودار مکان زمان دو متحرک A و B مطابق شکل زیر است. اگر اندازه سرعت متوسط آن ها بین دو لحظه t_1 t_2 به ترتیب ، $\overline{V}_A$ $\overline{V}_B$باشد. کدام رابطه درست است؟

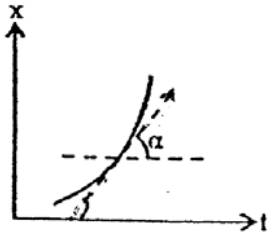


مثال۶: نمودار مکان زمان متحرکی به شکل زیر است. نسبت سرعت متوسط در ۵ ثانیه دوم حرکت به سرعت متوسط در ۵ ثانیه اول حرکت کدام است؟



سرعت لحظه ای:

شیب خط نمودار مکان–زمان در هر لحظه برابر است با سرعت لحظه ای.



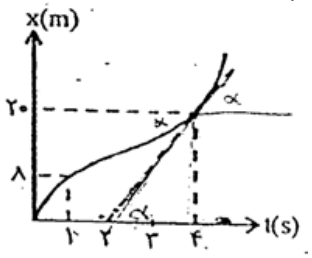
$$V = \tan\alpha$$

برای بدست آوردن معادله سرعت کافی است از معادله مکان نسبت به زمان مشتق بگیریم، یعنی:

$$V = \frac{dx}{dt}$$

مثال۷: اگر معادله حرکت جسمی روی خط راست به صورت $V = ۴t - ۱۲$ باشد، در چه لحظه ای بر حسب ثانیه جهت حرکت جسم تغییر می کند؟

مثال۸: نمودار مکان–زمان متحرکی بر مسیر مستقیم به شکل مقابل است و سرعت متحرک در لحظه‌ی $t = ۴s$ چند برابر سرعت متوسط آن بین دو لحظه $t_۱ = ۱s, t_۲ = ۴s$ است؟



شتاب متوسط (Mean Acceleration):

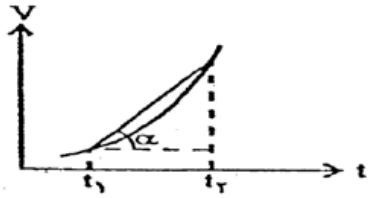
نسبت تغییرات سرعت به مدت زمان تغییر سرعت را **"شتاب متوسط"** می گویند و داریم:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

مثال۹: معادله مکان زمان متحرکی در SI *به صورت* $x = \frac{۱}{۳}t^۳ + \frac{۱}{۲}t^۲ + ۲$ می باشد. شتاب متوسط این متحرک بین دو لحظه‌ی $t_۱ = ۱s \ , \ t_۲ = ۳s$ چند متر بر مجذور ثانیه است؟

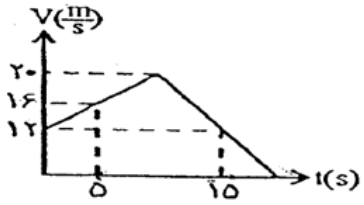
مفهوم شتاب متوسط با توجه به نمودار سرعت–زمان:

شتاب متوسط یک متحرک بین دو لحظه t_1 , t_2 برابر است با شیب خط واصل دونقطه بر روی نمودار سرعت–زمان:



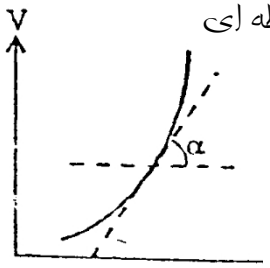
$$\bar{a} = \tan\alpha$$

مثال۱۰: نمودار سرعت–زمان متحرکی به شکل زیر است. شتاب متوسط آن بین دو لحظه t_1 , t_2 چند متر بر مجذور ثانیه است؟



شتاب لحظه ای:

شیب خط مماس بر نمودار سرعت–زمان در هر لحظه برابر است با شیب لحظه ای

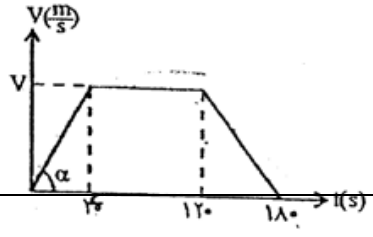


$$a = \tan\alpha$$

برای بدست آوردن معادله شتاب، کافی است از مادله سرعت نسبت به زمان مشتق بگیریم، یعنی:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

مثال۱۱: نمودار سرعت–زمان متحرکی مطابق شکل زیر است. اندازه شتاب حرکت در مرحله تند شونده چند برابر اندازه شتاب در مرحله کند شونده است؟



مثال۱۲: معادله مکان–زمان متحرکی در SI به صورت $x = ۱۰t^{۲} + ۲۰t$ است. شتاب حرکت چند متر بر مجذور ثانیه است؟

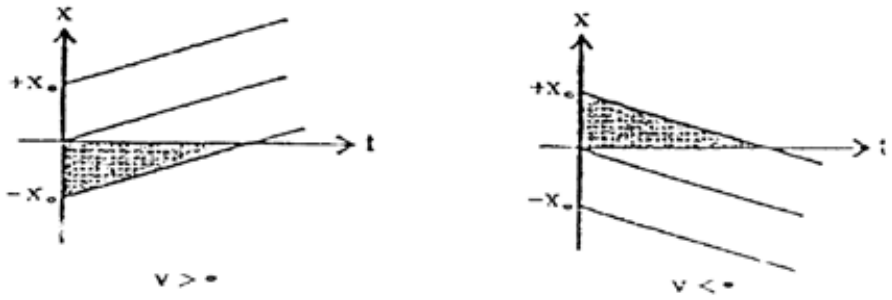
حرکت یکنواخت روی خط راست (Uniform Motion):

حرکت با سرعت ثابت بر روی مسیر مستقیم را **"حرکت یکنواخت روی خط راست"** می گویند و معادله مکان–زمان آن به صورت زیر است:

$$x = vt + x_{۰}$$

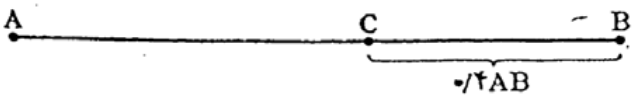
در معادله بالا، V سرعت حرکت، $x_{۰}$ مکان متحرک در لحظه شروع حرکت $(t=۰)$ و x مکان متحرک در لحظه t می باشد.

- **نمودار های حرکت یکنواخت روی خط راست:**



مثال۱۳: متحرکی که با سرعت ثابت بر روی مسیر راست حرکت می کند در لحظه‌ی $t_{۱} = ۵s$ در مکان $x_{۱} = ۱۶m$ و در لحظه $t_{۲} = ۷s$ در مکان $x_{۲} = ۲۴m$ است. معادله مکان–زمان این متحرک در SI کدام است؟

مثال۱۴: دو متحرک هم زمان از از نقاط A و B با سرعت ثابت به سمت یکدیگر حرکت می کنند و در نقطه C به هم می رسند و ۴۰ ثانیه پس از این، متحرک اول به B می رسد. چند ثانیه طول می کشد تا متحرک دوم از C به A برسد؟



حرکت یکنواخت دو متحرک از مبدا ولی با فاصله زمانی:

فرض کنید دو متحرک از یک نقطه ولی با فاصله زمانی با سرعت ثابت و در یک جهت شروع به حرکت نمایند. در این صورت اگر مدت زمان اگر مدت زمان حرکت آن ها تا لحظه رسیدن به یکدیگر به ترتیب t_1 ، t_2 باشد، داریم:

$$\Delta X_1 = \Delta X_2 \Rightarrow V_1 t_1 = V_2 t_2 \Rightarrow V_1 t_1 = V_2 (t_1 - \Delta t)$$

مثال۱۶: دو اتومبیل در یک جاده در حرکت هستند و مبدا حرکت آن ها نیز یکی است. سرعت اتومبیل اول $۵۰\frac{km}{h}$ و سرعت اتومبیل دومی $۶۰\frac{km}{h}$ است ولی اتومبیل دومی یک ساعت دیر تر از اتومبیل اولی به حرکت در آمده است. چند ساعت لازم است تا اتومبیل دومی به اولی برسد؟

حرکت با شتاب ثابت:

الف– حرکت تند شونده با شتاب ثابت:

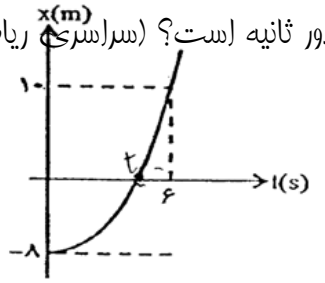
حرکتی را تند شونده با شتاب ثابت گویند که $a>0$ باشد. فرمول های حرکت تند شونده با شتاب ثابت به صورت زیر است:

$$\begin{cases} \text{سرعت–زمان:} & v = at + v_0 \\ \text{مکان–زمان:} & x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0 \\ \text{شتاب ثابت از:} & v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \\ \text{شتاب ثابت از:} & \Delta x = \frac{v_0 + v}{2}.t \end{cases}$$

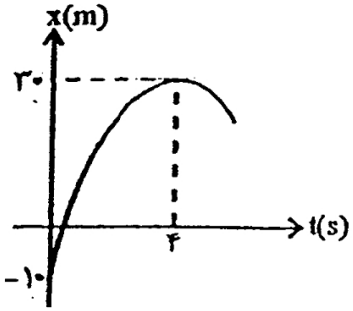
تعیین کمیت های مختلف حرکت به کمک نمودار مکان–زمان:

با توجه به نمودار مکان زمان یک متحرک در حرکت با شتاب ثابت، می توان مجهول های موجود در مساله را بدست آورد.

مثال۲۸: نمودار مکان–زمان متحرکی که با شتاب ثابت روی محور x حرکت می کند مطابق شکل است. سرعت متحرک در لحظه ای که از مبدا مکان عبور می کند چند متر بر مجذور ثانیه است؟ (سراسری ریاضی ۸۴)



مثال۲۹: در شکل زیر، نمودار مکان–زمان حرکت جسمی که با شتاب ثابت حرکت می کند، رسم شده است. شتاب حرکت جسم چند متر بر مجذور ثانیه است؟

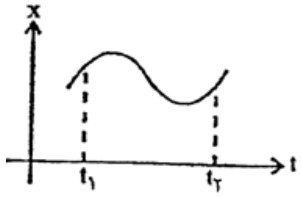


نکات:

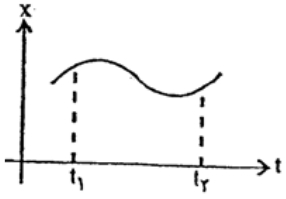
۱– با توجه به رابطه $v=\frac{dx}{dt}$، سرعت در نقاط اکسترمم (ماکزیمم و مینیمم نسبی) نمودار مکان–زمان صفر شده تغییر جهت می دهد.

۲– با توجه به رابطه $a=\frac{d^2x}{dt^2}$، شتاب در نقاط عطف نمودار مکان–زمان، و با در نظر گرفتن رابطه $a=\frac{dv}{dt}$، شتاب در نقاط اکسترمم نمودار سرعت–زمان صفر شده تغییر جهت می دهد.

مثال۳۰: نمودار مکان–زمان متحرکی مطابق شکل است. در فاصله زمانی t_1 و t_2 سرعت جسم چند بار تغییر جهت می دهد؟



مثال۳۱: نمودار مکان–زمان متحرکی مطابق شکل است. در فاصله زمانی t_1 و t_2 چند بار نیروی وارد بر جسم تغییر جهت می دهد؟



۱) صفر ۲) ۱

۳) ۲ ۴) ۳

طول و زمان توقف:

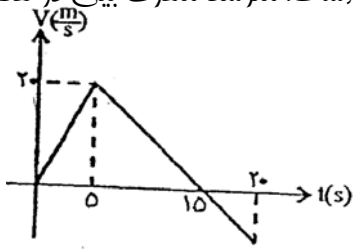
فرض کنید اتومبیلی در حال حرکت می باشد که ناگهان راننده آن مانعی را دیده ترمز می کند. اگر سرعت اتومبیل در لحظه ای که راننده ترمز می گیرد برابر v_0 و شتاب حرکت کند شونده اتومبیل برابر با a باشد. جابجایی تا لحظه توقف و همچنین مدت زمانی که طول می کشد تا اتومبیل متوقف گرد را می توان از رابطه های زیر بدست آورد:

$$\begin{cases} \Delta x_s = \dfrac{v_0^2}{2|a|} \\ t_s = \dfrac{v_0}{|a|} \end{cases}$$

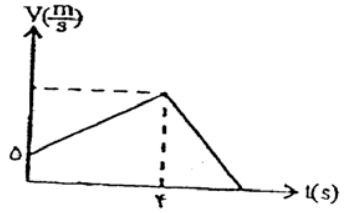
مثال۳۲: اتومبیلی با سرعت $72\dfrac{km}{h}$ در حال حرکت است که ناگهان راننده‌ی آن مانعی را دیده ترمز می کند. اگر زمان عکس العمل راننده ۰/۲ ثانیه و شتاب کند شدن حرکت اتومبیل $-2\dfrac{m}{s^2}$ باشد، از لحظه‌ی دیده شدن مانع توسط راننده تا توقف کامل اتومبیل چند متر را طی می کند؟

نکته: سطح زیر نمودار سرعت–زمان برابر با جا به جایی و سطح زیر نمودار شتاب–زمان برابر با تغییرات سرعت می باشد.

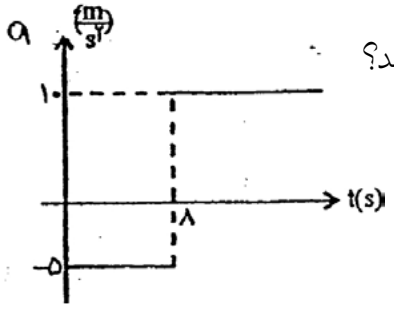
مثال۳۳: نمودار سرعت–زمان متحرکی بر مسیر مستقیم به شکل مقابل است. متوسط متحرک بین دو لحظه‌ی $t_1 = ۰$ و $t_۲ = ۲۰$ چند متر بر ثانیه است:



مثال۳۴: نمودار سرعت–زمان متحرکی در شکل مقابل رسم شده است. اگر شتاب حرکت در قسمت اول و دوم حرکت به ترتیب $۲.۵\frac{m}{s^۲}$ و $-۷.۵\frac{m}{s^۲}$ باشد. جا به جایی متحرک



مثال۳۵: نمودار شتاب–زمان ذره ای که از حال سکون بر مسیر مستقیم به حرکت در می آید به شکل زیر است. چند ثانیه پس از شروع حرکت سرعت آن به صفر می رسد؟



۱) ۱۶ ۲) ۱۲

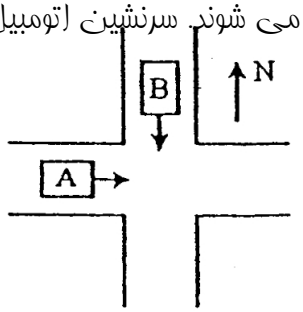
۳) ۱۰ ۴) ۸

حرکت نسبی:

حرکت یک جسم از دید ناظر متحرک **"حرکت نسبی"** نامیده می شود.

نکته : هر ناظر متحرکی، سرعت و شتاب خود را در خلاف جهت به جسم دیگر داده و خود را ساکن می بیند.

مثال۳۶: دو اتومبیل A و B مطابق شکل به یک تقاطع نزدیک می شوند. سرنشین اتومبیل A اتومبیل B را در چه جهتی در حال حرکت می بیند؟



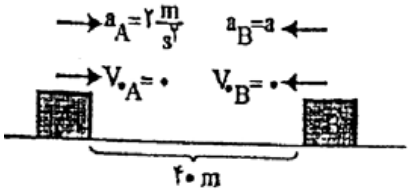
۱) جنوب شرقی ۲) جنوب

۳) جنوب شرقی ۴) شمال شرقی

مثال۳۷: دوقطار یکی به طول ۱۰۰ متر و سرعت $۱۰\frac{m}{s}$ و دیگری به طول ۱۵۰ متر و سرعت $۸\frac{m}{s}$ روی دو ریل موازی و مجاور هم در خلاف جهت یکدیگر حرکت می کنند. مسافر قطار اول، قطار دوم را به مدت $t_۱$ ثانیه و مسافر قطار دوم، قطار اول را به مدت $t_۲$ ثانیه مقابل کوپه‌ی خود می بیند. نسبت $\frac{t_۱}{t_۲}$ کدام است؟

۱) ۱/۵ ۲) ۱/۲۵ ۳) ۰/۸ ۴) ۲/۳

مثال۳۸: از دو نقطه به فاصله ۱۴۰ متر از یکدیگر دو جسم از حال سکون یکی با شتاب $۲\frac{m}{s^۲}$ و دیگری با شتاب a هم زمان به سمت یکدیگر به حرکت در می آیند و با سرعت نسبی $۲۰\frac{m}{s}$ از کنار هم عبور می کنند. a چند متر بر مجذور ثانیه است؟



۱) ۲ ۲) ۳

۳) ۱ ۴) معلومات مساله کافی نیست.

حرکت در امتداد قائم:

سقوط آزاد اجسام در شرایط خلا:

اگر جسم کوچکی از ارتفاع کم بالای سطح زمین رها شود و بتوان از مقاومت هوا در مقابل حرکت آن صرف نظر نمود، حرکت جسم را **"سقوط آزاد"** می نامند.

قانون های سقوط آزاد در شرایط خلاء:

۱- سقوط آزاد در امتداد قائم و از بالا به پایین است.

۲- سقوط آزاد اجسام به جرم ، جنس و شکل آن ها بستگی ندارد.

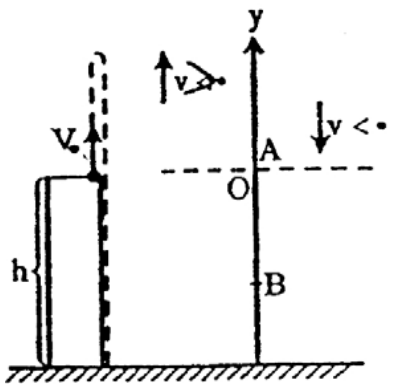
۳- سقوط آزاد اجسام در شرایط خلاء با شتاب ثابت انجام می گیرد و اینشتاب برای تمام اجسام یکسان است و به بزرگی و کوچکس آن ها بستگی ندارد. این شتاب که " شتاب گرانش" نام دارد با حرف g نمایش داده می شود. شتاب گرانش در نقاط مختلف کره زمین مقدار ثابتی نیست ولی در یک محل مقدارش برای تمام اجسام یکسان است.

پرتاب در راستای قائم به طرف پایین:

اگر جسم کوچکی را از ارتفاع h بالای سطح زمین با سرعت اولیه‌ی v_0 در شرایط خلاء و در امتداد قائم به طرف پایین پرتاب کنیم. حرکت جسم را **" پرتاب در راستای قائم به طرف پایین "** می نامند.

پرتاب در راستای قائم به طرف بالا:

اگر جسم کوچکی را از ارتفاع h بالای سطح زمین در امتداد قائم به طرف بالا پرتاب کنیم و مقاومت هوا در مقابل حرکت آن ناچیز باشد، حرکت جسم را **"پرتاب در راستای قائم به طرف بالا"** می نامند.



فرمول های حرکت پرتابی در راستای قائم به طرف بالا به صورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} v = -gt + v_0 \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 \\ v^2 - v_0^2 = -2gy \end{cases}$$

در پرتاب یک جسم در راستای قائم به طرف بالا(در شرایط خلاء) **نکات** زیر دارای اهمیت است:

۱- اگر فاصله جسم را در هر لحظه از مبداء (نقطه‌ی پرتاب) با **y** نشان دهیم، **y** فاصله از مبداء می باشد و مسافت طی شده خواهد بود. به عنوان مثال اگر جسم از نقطه **O** در امتداد قائم به طرف بالا پرتاب شده باشد، در نقطه **A** ، **y** برابر **(OA)** و در نقطه **B** برابر با **(OB)** است.

۲- اگر در یک لحظه جسم بالای نقطه پرتاب باشد، **y** مثبت و اگر زیر نقطه پرتاب باشد، **y** منفی است.

۳- هنگامی که جسم از نقطه‌ی پرتاب به طرف نقطه اوج می رود، سرعت مثبت و زمانی که از نقطه‌ی اوج به طرف پایین می آید، سرعت منفی است.

۴- جهت شتاب حرکت **(g)** به طرف پایین است، چه جسم بالا برود و چه پایین بیاید، بنابر این در تمام لحظه ها شتاب حرکت منفی است.

۵- در تمام مدتی که جسم بالا می رود، سرعت مثبت و شتاب منفی بوده حرکت کند شونده است. هم چنین هنگامی که جسم به طرف پایین می آید، سرعت و شتاب هردو منفی بوده و حرکت تند شونده است.

۶- جابجایی جسم در ثانیه‌ی **n** ام حرکت از رابطه زیر بدست می آید:

$$h = -\frac{1}{2}g(2n-1) + v_0$$

۷- **T** مدت زمان حرکت از لحظه‌ی شروع حرکت است. به عنوان مثال در لحظه ای که متحرک از نقطه‌ی **B** عبور می کند ، **y** برابر با **(-OB)** ولی **t** مدت زمان حرکت از شروع تا رسیدن به نقطه اوج و از آن جا تا رسیدن با نقطه **B** می باشد.

۸- مدت زمان رسیدن به نقطه اوج از رابطه‌ی $t_{m=}\frac{v_{۰}}{g}$ و ارتفاع نقطه اوج از مبداء پرتاب از رابطه‌ی $h_{m=}\frac{v_{۰}^{۲}}{۲g}$ به دست می آید.

۹-در خلاء مدت زمان بازگشت از نقطه اوج به مبداء پرتاب برابر است با زمان رسیدن به نقطه اوج.

۱۰-هرگاه سرعت اولیه پرتاب برابر $v_{۰}$ باشد، در بازگشت به مبدا پرتاب نیز سرعت برابر با $v_{۰}$ خواهد بود.

۱۱-هنگامی که جسم به طرف بالا می رود، به ازای هر ثانیه سرعت $۱۰\frac{m}{s}$ کاهش و زمانی که به طرف پایین می آید به ازای هر ثانیه $۱۰\frac{m}{s}$ افزایش می یابد.

مثال۳۹: گلوله ای در شرایط خلاء و در راستای قائم به طرف بالا پرتاب می شود. در لحظه ای که سرعت گلوله به $\frac{۱}{۲}$ سرعت اولیه پرتاب می رسد ارتفاع آن از سطح افقی نقطه پرتاب چه کسری از ارتفاع اوج است؟

۱) $\frac{۱}{۲}$ ۲) $\frac{۲}{۳}$ ۳) $\frac{۱}{۴}$ ۴) $\frac{۳}{۴}$

مثال۴۰: جسمی را در شرایط خلاء با سرعت $۱۰\frac{m}{s}$ در راستای قائم به طرف بالا پرتاب می کنیم. پس از چند ثانیه سرعت آن $۵\frac{m}{s}$ رو به پایین خواهد بود؟

۱) $\frac{۳}{۵}$ ۲) $\frac{۴}{۳}$ ۳) $\frac{۹}{۴}$ ۴) $\frac{۳}{۴}$

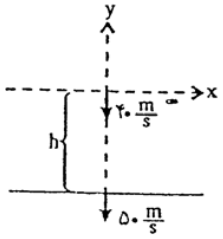
مثال۴۱: از نقطه‌ی O ارتفاع h از سطح زمین، گلوله کوچکی را با سرعت اولیه‌ی $۲۰\frac{m}{s}$ در امتداد قائم به سمت بالا پرتاب می کنیم. اگر گلوله پس از ۵ ثانیه به زمین برخورد کند و $g = ۱۰\frac{m}{s^۲}$ باشد، h چند متر است؟

۱) ۳۲۵ ۲) ۱۲۵ ۳) ۵۰ ۴) ۲۵

مثال۴۲: از نقطه o به ارتفاع m ۱۰ از سطح زمین، گلوله کوچکی با سرعت اولیه‌ی $۵\frac{m}{s}$ در راستای قائم به سمت بالا پرتاب می شود. این گلوله با سرعت چند متر بر ثانیه به زمین برخورد می کند؟

۱) ۵ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵ ۴) ۲۰

مثال۱۴۳: گلوله‌ی کوچکی در شرایط خلاء و در راستای قائم سقوط کرده با سرعت $۵۰\frac{m}{s}$ به زمین برخورد می کند. یک ثانیه قبل از برخورد، گلوله در چند متری سطح زمین بوده است؟



۱) ۵۰ ۲) ۴۵ ۳) ۴۰ ۴) ۳۵

مثال۱۴۴: جسم کوچکی را با سرعت اولیه‌ی v_0 در امتداد قائم به طرف پایین پرتاب می کنیم. اگر جابجایی جسم در ثانیه پنجم دو برابر جا به جایی آن در ثانیه‌ی دوم باشد. v_0 چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۱۵ ۲) ۲۰ ۳) ۲۵ ۴) ۳۰

پرتاب دو جسم در امتداد قائم به سمت بالا با سرعت های اولیه‌ی یکسان ولی با فاصله زمانی t' :

چنانچه دو جسم با سرعت های اولیه‌ی مساوی ولی با فاصله‌ی زمانی t' در راستای قائم رو به بالا پرتاب شوند، اندازه سرعت هر یک هنگام رسیدن به دیگری برابر $\frac{۱}{۲}gt'$ می باشد.

مثال۴۵: سنگی را در شرایط خلاء با سرعت اولیه‌ی v_0 در راستای قائم به طرف بالا پرتاب می کنیم. v_0 چند متر بر ثانیه باشد تا اگر سنگ دیگری را بعد از ۲ ثانیه با همان سرعت و در همین راستا رو به بالا پرتاب کنیم، در ارتفاع ۱۵ متری مبداء پرتاب، سنگ اول را تلاقی کند؟

۱) ۱۰ ۲) ۱۵ ۳) ۲۰ ۴) ۳۰

دو عبور متوالی جسم از یک نقطه:

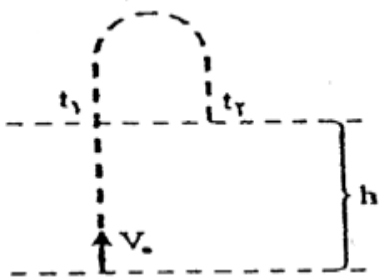
در شکل مقابل، جسم کوچکی در شرایط خلاء با سرعت اولیه‌ی v_0 در امتداد قائم رو به بالا پرتاب می شود و در دولحظه‌ی t_1 و t_2 از ارتفاع h عبور می نماید. در این صورت می توانیم سرعت اولیه‌ی پرتاب (v_0)، ارتفاع (h) و سرعت جسم در هنگام عبور از ارتفاع h، (v) را از رابطه های زیر به دست می آوریم:

$$h = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0 t \Rightarrow \frac{1}{2}gt^2 - v_0 t + h = 0$$

$$t_1 + t_2 = \frac{-v_0}{\frac{1}{2}g} \Rightarrow v_0 = \frac{1}{2}g(t_1 + t_2)$$

$$t_1 t_2 = \frac{h}{\frac{1}{2}g} \Rightarrow h = \frac{1}{2}gt_1 t_2$$

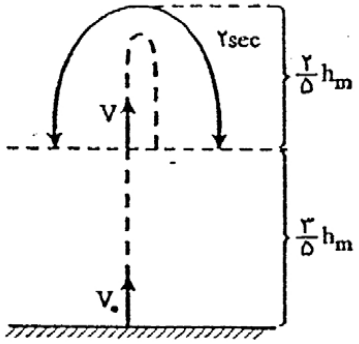
$$t_2 - t_1 = \frac{\sqrt{v_0^2 - 2gh}}{\frac{1}{2}g} \Rightarrow V = \frac{1}{2}g(t_2 - t_1)$$



مثال۴۶: ۴ ثانیه طول می کشد تا جسمی که با سرعت اولیه‌ی $25\frac{m}{s}$ در امتداد قائم و در شرایط خلاء به بالا پرتاب می شود. دو بار از لبه پنجره ای می گذرد. ارتفاع پنجره تا سطح زمین چند متر است؟

۱) ۱۱/۲۵ ۲) ۲۰ ۳) ۲۵ ۴) ۳۰

مثال ۴۷: گلوله ای در شرایط خلاء با سرعت اولیه‌ی v_0 در راستای قائم به سمت بالا پرتاب می شود. اگر زمان بیت دو عبور متوالی گلوله از $\frac{3}{5}$ ارتفاع اوج برابر ۲ثانیه باشد. ارتفاع اوج گلوله نسبت به نقطه پرتاب چند متر است؟



۱) ۱۷/۵

۲) ۱۵

۳) ۱۲/۵

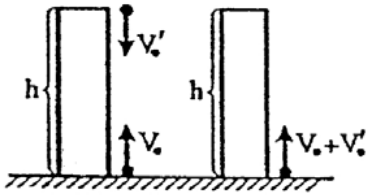
۴) ۱۰

حرکت نسبی در امتداد قائم:

نظر به اینکه حرکت اجسام در امتداد قائم با شتاب ثابت g صورت می گیرد، لذا حرکت این اجسام نسبت به یک دیگر بدون شتاب (یکنواخت) بوده برابر با سرعت آن ها می باشد. مطابق شکل، دو جسم کوچک یکی از پایین و دیگری از بالای ساختمانی به ارتفاع h به طور هم زمان در امتداد قائم و در شرایط خلا به ترتیب با

سرعت های اولیه v_{0} و v'_{0} به طرف یکدیگر پرتاب می شوند. در این صورت مدت زمانی که لازم است تا دو گلوله از کنار هم عبور کنند، از رابطه زیر بدست می آید:

$$h = (v_{0} + v'_{0}).t \Rightarrow t = \frac{h}{v_{0} + v'_{0}}$$



مثال۴۸: از بالای برجی به ارتفاع h گلوله ای بدون سرعت اولیه رها می شود و در همان لحظه گلوله دیگری با سرعت اولیه $۱۰\frac{m}{s}$ از زمین در همان راستای قائم که گلوله اولی سقوط می کند، به بالا پرتاب می شود. اگر دو گلوله پس از ۱/۲۵ ثانیه از مقابل یکدیگر عبور کنند، h چند متر است؟

۱) ۱۲/۵ ۲) ۲۵ ۳) ۵۰ ۴) ۷۵

بردار مکان در حرکت دو بعدی:

اگر معادله های حرکت متحرکی در si به صورت x=f(t) و y=g(t) داده باشد، بردار مکان متحرک (برداری که در هر لحظه معادله مختصات را به محل قرار گیری متحرک وصل می کند) به صورت زیر خواهد بود:

$$\vec{r} = f(t)\vec{i} + g(t)\vec{j}$$

مثال۴۹: معادله حرکت جسمی در si به صورت $x=۳/۲t$ و $y=-۱/۲t^۲+۳t$ می باشد. بردار مکان آن در لحظه‌ی $t=۲s$ کدام است؟

۱) $\vec{r} = ۳\vec{i} + \frac{۳}{۲}\vec{j}$ ۲) $\vec{r} = \frac{۳}{۲}\vec{i} + ۴\vec{j}$

۳) $\vec{r} = ۴\vec{i} + ۳\vec{j}$ ۴) $\vec{r} = ۳\vec{i} + ۴\vec{j}$

سرعت متوسط در حرکت دو بعدی:

اگر بردار های مکان متحرک در دولحظه‌ی $t_۱$ و $t_۲$ را با $\vec{r}_۱$ و $\vec{r}_۲$ نشان دهیم، بردار سرعت متوسط از رابطه $\vec{\bar{v}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ به دست می آید.

نکته: بردار سرعت متوسط همواره هم جهت با بردار جا به جایی است.

مثال: بردار های مکان متحرک در دو لحظه‌ی $t_۱ = ۳s$ و $t_۲ = ۵s$ به ترتیب $\vec{r}_۱ = ۱۰\vec{i} + ۲\vec{j}$ و $\vec{r}_۱ = ۲۵\vec{i} + ۲۸\vec{j}$ در si می باشد. بزرگی سرعت متوسط بین این دو لحظه چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۱۷/۵ ۲) ۲۰ ۳) ۲۵ ۴) ۱۲/۵

شتاب متوسط در حرکت دو بعدی:

اگر بردار های سرعت متحرک در دو لحظه‌ی t_1 و t_2 را با $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ نشان دهیم بردار شتاب متوسط از رابطه‌ی $\vec{\bar{a}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ به دست می آید.

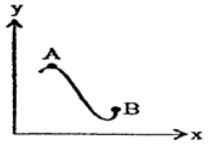
نکته: بردار شتاب متوسط همواره هم جهت با بردار تغییر سرعت است.

مثال: بردار سرعت ذره ای در $t_1 = 0$ si برابر با $\vec{v}_1 = 3\vec{i} + 2\vec{j}$ و در $t_2 = 2s$ برابر با $\vec{v}_2 = 9\vec{i} - 6\vec{j}$ است. شتاب متوسط ذره در این مسیر کدام است؟

۱) $6\vec{i} - 8\vec{j}$ ۲) $3\vec{i} - 4\vec{j}$

۳) $-6\vec{i} - 8\vec{j}$ ۴) $-3\vec{i} - 4\vec{j}$

مثال: نمودار مسیر متحرکی که از A به طرف B در حرکت است مطابق شکل مقابل می باشد. اگر سرعت متحرک در تمام نقاط از جمله در A و B مخالف صفر باشد، کدام بردار می تواند معرف شتاب متوسط در جا به جایی از A تا B باشد؟



۱) ۲)

۳) ۴)

سرعت و شتاب لحظه ای در حرکت دو بعدی:

چنانچه بردار مکان متحرکی در یک حرکت دو بعدی به صورت $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$ باشد، بردار سرعت آن به شکل $\vec{v} = \vec{i}\frac{dx}{dt} + \vec{j}\frac{dy}{dt}$ و بردار شتاب متحرک به صورت $\vec{a} = \vec{i}\frac{dv_x}{dt} + \vec{j}\frac{dv_x}{dt}$ خواهد بود.

مثال: بردار مکان متحرکی بر حسب زمان در si به صورت $\vec{v} = ۲t\vec{i} + (۲t^{۲} - ۱۵t)\vec{j}$ است. در چه لحظه ای بر حسب ثانیه بردار شتاب متحرک بر بردار سرعت آن عمود است؟

۱) ۱/۵ ۲) ۲/۵ ۳) ۱ ۴) ۳

مثال: معادله های حرکت دو بعدی جسمی در si به صورت $x=۳t-۵$ و $y = t^{۳} + ۸$ است. در لحظه ای که این جسم از نقطه‌ی A عبور می کند اندازه شتاب آن چند متر بر مجذور ثانیه است؟

۱) ۱۸ ۲) ۶ ۳) ۲۴ ۴) ۱۲

فصل دوم

دینامیک

- دینامیک
- نیرو
- قوانین نیوتون
- نیروی وزن
- نیروی اصطکاک
- نیروی عمودی تکیه گاه

دینامیک:

قسمتی از علم فیزیک که مربوط به نیرو شناسی و تاثیر نیرو بر حرکت اجسام می شود دینامیک نام دارد؛ اساس مباحث دینامیک بر قوانین نیوتن استوار است.

تعریف نیرو :

نیرو عاملی است که سبب تغییر شکل و یا تغییر سرعت اجسام می شود.نیرو از بر هم کنش (تاثیر) دو جسم بر هم ایجاد می شود.

چند ویژگی نیرو:

۱- کمیتی برداری است .

۲- وسیله اندازه گیری آن نیرو سنج است

۳- برای اِعمال نیرو نیاز به تماس دو جسم با هم نیست ، مثلا نیروی رانش و ربایش بین قطبهای آهنربا .

قوانین نیوتون

ایزاک نیوتون در چهارم ژانویه سال ۱۶۴۳ میلادی در wooisthorpe واقع در ناحیه ی Lincolnshire در انگلستان متولد شد و در بیستم مارس سال ۱۷۲۷ میلادی در لندن چشم از جهان فروبست. کتاب>>اصول ریاضی فلسفه طبیعی<< که در آن نیوتون سه قانون مشهور خود درباره ی حرکت را تشریح کرده است. از مهمترین آثار علمی در تاریخ زندگی بشر می باشد. زندگی سراسر تلاش و مبارزه ی نیوتون در راهپیشرفت دانش انسان در سن هشتاد و چهار سالگی خاتمه پذیرفت. در عظمت و شأن این دانشمند برجسته همین بس که بر سنگ مزار او این جمله حک شده است:

" مردگان به خود تبریک بگویید چرا که بزرگمردی به شما پیوست که زندگیش به اعتلای بیشتر نام انسانانجامید ".

قانون های نیوتون درباره ی حرکت:

قانون اول:

هرگاه به جسمی نیرویی وارد نشود و یا برآیند نیروهای وارد بر آن صفر باشد ، اگر ساکن باشد ساکن می ماند و اگر درحال حرکت باشد ، به حرکت خود به طور مستقیم الخط یکنواخت ادامه می دهد. این خاصیت اجسام را>>اینرسی<< یا >>لختی<< می گویند.

قانون دوم:

شتاب یک جسم متحرک با برآیند نیروهای وارد بر آن نسبت مستقیم و با جرم آن نسبت عکس دارد. درصورتی که برآیند نیروهای وارد بر جسم در جهت حرکت را با F ، برآیند نیروهای مقاوم در مقابل حرکت را با R ، جرم جسم را با m و شتاب حرکت آن را با a نشان دهیم ، قانون دوم نیوتون به صورت زیر نوشته می‌شود :

$$F - R = ma$$

❁تذکر:

قانون دوم نیوتون برای دستگاهی مرکب از چند جرم به صورت زیر در می آید:

$$F - R = ma$$

قانون سوم:

برای هر عملی ، عکس العملی است هم اندازه با آن ولی در خلاف جهت آن دو نیروی عمل و عکس العمل مساوی هم رستا و خلاف جهت هستند. عکس العمل هر نیرویی بر عامل به وجود آورنده اش وارد می شود.

نکته:

دو نیروی عمل و عکس العمل به دو جسم وارد می شوند ، بنابراین دارای برآیند نمی باشند.

یکای نیرو:

یکای نیرو در si (system international) نیوتون(N) می باشد و یک نیوتون نیرویی است که اگر به جسمی به جرم یک کیلوگرم وارد شود ، به آن شتابی برابر با یک متر بر مجذور ثانیه می دهد.

وزن : (wcight)

نیروی وزن:

نیرویی که از طرف زمین به جرم m از یک جسم وارد می شود را >>وزن<< آن جسم می گویند و از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$w = Mg$$

در رابطه ی فوق g شتاب گرانش در مجاورت زمین می باشد.

◄ مثال : اگر دو نیروی $f_1 = 6i + aj$ و $f_2 = 2i - 2j$ به جسمی به جرم ۲/۵ کیلو گرم شتاب ۴ متر مجـذورثانیه بدهند ، a کدام است؟

$$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} = (6\vec{\imath} + a\vec{\jmath}) + (2\vec{\imath} - 2\vec{\jmath}) = 8\vec{\imath} + (a-2)\,j$$

$$\vec{F} = \sqrt{(8)^2 + (a-2)^2}$$

$$\vec{F} = ma \rightarrow \sqrt{(8)^2 + (a-2)^2} = \frac{5}{2} \times 4 \rightarrow 64 + (a-2)^2 = 100 \rightarrow (a-2)^2$$

$$= 36 \rightarrow a - 2 =$$

$$\pm$$

$$a = -4 \text{ یا } \rightarrow a = 8$$

نیروی اصطکاک:

وقتی جسمی بر روی جسم دیگری قرار داشته باشد و با اعمال نیرویی بخواهیم که دو جسم بر روی هم حرکت کنند ، در مقابل حرکت دو جسم بر روی هم نیروی مقاومی ایجاد می شود. این نیرو را که در سطح تماس دو جسم و به موازات آن به هر دو جسم خلاف جهت یکدیگر وارد می شود ، >>نیروی اصطکاک<< می گویند.

نیروی اصطکاک به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- جنس سطح تماس دو جسم و صافی و زبری آن ها

۲- سطح تماس واقعی دو جسم

۳- نیروی فشار دهنده ی یک جسم بر جسم دیگر

در واقع عامل اصلی ایجاد نیروی اصطکاک ، نیروی جاذبه ی مولکولی بین دو جسم هم جنس و نیروی چسبندگی بین مولکول های دو جسم با جنس های مختلف است. افزایش نیرویی که یک جسم دیگر می فشارد ، باعث می شود که هم فاصله ی مولکول ها در سطح تماس نسبت به یکدیگر کم شود و هم بر تعداد نقاطی که با یکدیگر در تماس هستند (سطح تماس واقعی) افزوده شود و نیروی جاذبه ی مولکولی یاچسبندگی افزایش یافته ، اصطکاک بیشتری ایجاد شود.

نیروی اصطکاک دو نوع است:

۱- نیروی اطکاک ایستایی

هرگاه جسمی بر یک سطح افقی در حالت سکون قرار داشته باشد و نیروی محرک f را به آن وارد کنیم ولی جسم بی حرکت باقی بماند ، طبق قانون اول نیوتون برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است. پس نیرویی درسطح تماس و در خلاف جهت f به جسم وارد شده که مانع حرکت آن شده است. این نیرو را >>نیروی اصطکاک ایستایی<< می نامند. اندازه ی نیروی اصطکاک ایستایی برابر با نیروی وارد بر جسم است و با زیاد شدن نیروی f افزایش می یابد ، به عبارت دیگر مقدار آن ثابت نیست و بیشینه ی آن مربوط به

زمانی است که جسم در آستانه ی حرکت قرار می گیرد و در این حالت >>نیروی اصطکاک در آستانه ی حرکت<< نامیده می شود و مقدارش از رابطه ی زیر به دست می آید که در این رابطه μs را >>ضریب اصطکاک در آستانه ی حرکت<< می نامیم. وقتی جسم شروع به حرکت می کند ، نیروی اصطکاک اندکی کاهش یافته ، سپس ثابت باقی می ماند.

$$fs = \mu s. N$$

۲- نیروی اصطکاک جنبشی:

به نیروی اصطکاکی که در اثر حرکت جسم ایجاد شود نیروی اصطکاک جنبشی گوییم.که همواره مخالف جهت حرکت جسم می باشد.

$$fK = \mu K. N$$

نیروی عمودی تکیه گاه (N):

وقتی که جسمی با یک تکیه گاه در تماس باشد بعلت بر هم کنش بین دو سطح نیرویی ازطرف تکیه گاه بصورت عمودی به جسم وارد می شود که آنرا نیروی عمودی تکیه گاه می نامند . (توجه : روی سطح افقی نیروی تکیه گاه با وزن جسم برابر است)

فصل چهارم

کار و انرژی

. تعریف کار

. انرژی جنبشی

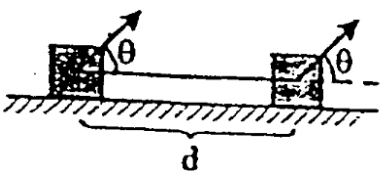
. قضیه ی کار – انرژی

. پایستگی انرژی مکانیکی

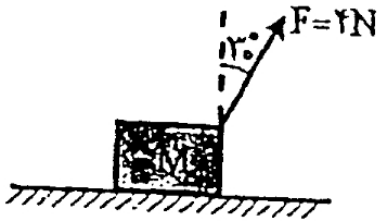
تعریف کار :

کار نیروی ثابت f عبارت است از حاصل ضرب اندازه ی بردار جابه جایی در اندازه ی تصویر بردار نیرو بر روی بردار جابه جایی. یعنی :

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



◀ مثال : در شکل زیر ، نیروی $f = ۴n$ وزنه ی m را روی سطح افقی در هر ثانیه ۲m جابه جا می کند. کار این نیرو در مدت ۱۰s برابر با چند ژول است؟



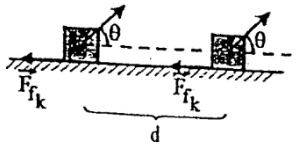
۱) ۴۰ ۲) $۴۰\sqrt{۳}$

۳) ۴۰ ۴) $۴۰\sqrt{۳}$

پاسخ : گزینه ی (۳)

$$W = (F\cos\theta)d \Rightarrow W = (F\cos\theta)(vt) \Rightarrow W = (۴\cos ۶۰°)(۲ \times ۱۰)$$

$$\Rightarrow W = ۴۰ \times \frac{۱}{۲} \times ۲ \times ۱۰ \Rightarrow W = ۴۰J$$



کار نیروی اصطکاک :

$$W_f = F_{f_k}.d.\cos ۱۸۰° \rightarrow W_f = -F_{f_k}d$$

❁تذکر :

در رابطه ی بالا می توان به جای F_{f_k} ، مقدار $\mu_k mg$ را نیز قرار داد.

◄مثال : جسمی به جرم ۵kg به اندازه ی ۲m روی سطح افقی جابه جا می شود. اگر ضریب اصطکاک جسم و سطح افقی ۰/۲ باشد ، کار نیروی اصطکاک بر حسب ژول برابر است با :

۱) ۲۰۰ ۲) -۲۰ ۳) ۲۰ ۴) -۲۰۰

پاسخ : گزینه ی (۲)

$$W_f = -F_{f_k}.d \rightarrow W_f = -(\mu_K mg)d \rightarrow W_f = -\frac{۰}{۲} \times ۵ \times ۱۰ \times ۲ \rightarrow W_f = -۲۰j$$

کار نیروی وزن :

الف- در حرکت جسم در امتداد قائم :

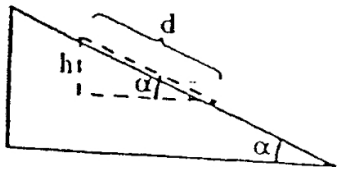
هنگامی که جسمی به جرم m به اندازه ی h در راستای قائم جابه جا شود ، کار نیروی وزن جسم از رابطه ی زیر به دست می آید :

$$W_w = \pm mgh$$

در رابطه ی بالا ، علامت (+) مربوط به وقتی است که جسم به اندازه ی h پایین بیاید و علامت (−) مربوط به زمانی است که جسم به اندازه ی h بالا برود.

ب− در حرکت جسم بر روی سطح شیب دار :

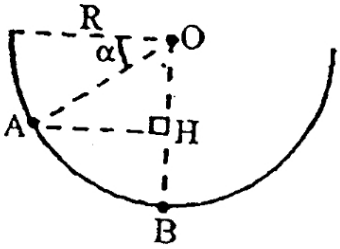
هنگامی که جسمی به جرم m به اندازه ی d بر روی سطح شیب داری با زاویه ی شیب a به طرف پایین می لغزد. داریم :



$$= mgh \rightarrow W_w = mgd \sin a$$

پ− در لغزش جسم درون یک نیم کره :

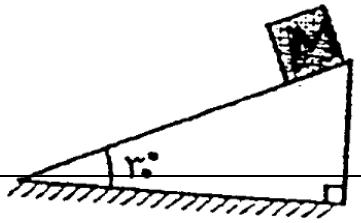
هنگامی که جسمی به جرم m درون یک نیم کره به شعاع r به پایین بلغزد ، کار نیروی وزن جسم از a تا b به صورت زیر به دست می آید :



$$mgh \rightarrow W_w = mg(R - R \sin a) \rightarrow$$

$$W_w = mgR(1 - \sin a)$$

◄ مثال : وزنه ای به جرم ۰/۵kg روی سطح شیب دار شکل مقابل به اندازه ی ۶۰ سانتی متر به پایین می لغزد. کار نیروی گرانش زمین در این جابه جایی چند ژول است؟



۱) ۱۵ ۲) ۱/۵

۳) ۳۰ ۴) ۳۰۰

پاسخ : گزینه ی (۲)

$$W_w = mgd\sin a \rightarrow W_w = ۰/۵ \times ۱۰ \times ۰/۶ \times \sin ۳۰° \rightarrow W_w = ۰/۵ \times ۱۰ \times ۰/۶ \times \frac{۱}{۲} \rightarrow W_W = ۱/۵J$$

انرژی جنبشی :

هرگاه جسمی به جرم m با سرعت v حرکت کند ، انرژی جنبشی آن را می توان از رابطه ی زیر به دست آورد :

$$K = \frac{۱}{۲}mv^۲$$

با توجه به رابطه ی بالا ، نسبت انرژی جنبشی دو جسم با جرم های m۱ و m۲ و سرعت های v۱ و v۲ از رابطه ی زیر قابل محاسبه است :

$$\frac{K_۲}{K_۱} = \frac{m_۲}{m_۱}.\left(\frac{v_۲}{v_۱}\right)^۲$$

قضیه ی کار – انرژی :

تغییر انرژی جنبشی یک جسم در یک جابه جایی ، برابر است با کار برآیند نیروهای وارد بر جسم در همان جابه جایی.

اثبات :

$$V^2 - V_0^2 = 2a\Delta x \rightarrow \frac{1}{2}m(V^2 - V_0^2) = \frac{1}{2}m(2a\Delta x) \rightarrow \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$
$$= \underbrace{(ma)}_{F}\Delta x \rightarrow K - K_0 = W_R$$

کاربرد قضیه ی کار – انرژی در حرکت روی سطح افقی :

در حرکت جسم روی سطح افقی ، فقط نیرویی که از طرف ما به جسم وارد می شود و هم چنین نتیروی اصطکاک وارد بر جسم از طرف سطح کار انجام می دهند. بنابراین می توان نوشت :

$$K - K_0 = W_F + W_f$$

◄ مثال : نیروی افقی ۲۰۰ نیوتون جسمی به جرم ۱۰۰kg را روی سطح افقی از حال سکون به حرکت در می آورد. اگر نیروی اصطکاک در مقابل حرکت جسم ۱۰۰n باشد ، کار برآیند نیروهای وارد بر جسم در مدت ۲۰ ثانیه چند ژول است؟

۱) ۲×۱۰^{۳}

۲) ۲×۱۰^{۴}

۳) $۱۰^{۳}$

۴) $۱۰^{۴}$

پاسخ : گزینه ی (۲)

$$F - F_{f_k} = ma \rightarrow ۲۰۰ - ۱۰۰ = ۱۰۰a \rightarrow ۱۰۰ = ۱۰۰a \rightarrow a = ۱\frac{m}{s^{۲}}$$

$$V = at + v_{۰} \rightarrow v = (۱) \times (۲۰) + (۰) \rightarrow V = ۲۰\frac{m}{s}$$

$$K - K_{۰} = W_R \rightarrow \frac{۱}{۲} \times ۱۰۰ \times (۲۰)^{۲} - \frac{۱}{۲} \times ۱۰۰ \times (۵)^{۲} = W_R \rightarrow W_R = ۲ \times ۱۰J$$

کاربرد قضیه ی کار – انرژی در حرکت در راستای قائم :

چنان چه جسمی در راستای قائم به طرف بالا یا پایین پرتاب شود ، دو نیروی وزن و مقاومت هوا کار انجام می دهند. بنابراین داریم :

$$K - K_{۰} = W_w + W_f$$

◄ مثال : جسمی به جرم ۲۰۰ گرم از ارتفاع ۸۰ متر بدون سرعت اولیه در هوا سقوط می کند و با سرعت ۳۵ متر بر ثانیه به زمین می رسد. کار نیروی مقاومت هوا ضمن سقوط جسم چند ژول است؟

۱) -۸۵ ۲) ۱۱۴ ۳) $-۳۷/۵$ ۴) ۱۲۲/۵

پاسخ : گزینه ی (۳)

$$K - K_{\circ} = W_F + W_f \rightarrow \frac{۱}{۲} \times \frac{۰}{۲} \times (۵)^۲ - \frac{۱}{۲} \times \frac{۰}{۲} \times (۵)^۲ = \frac{۰}{۲} \times ۱۰ \times ۸۰ + W_f$$

$$\rightarrow (۱۲۲/۵) - (۰) = ۱۶۰ + W_f \rightarrow W_f = -۳۷/۵$$

انرژی پتانسیل گرانشی :

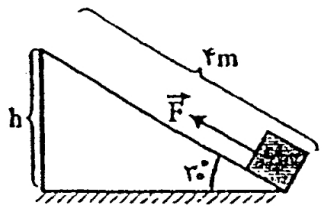
کاری که انجام می دهیم تا جسمی به جرم m را با سرعت ثابت تا ارتفاع h از مبدأ پتانسیل گرانشی بالا ببریم ، به صورت «انرژی پتانسیل گرانشی» در جسم ذخیره می شود. انرژی پتانسیل گرانشی در این حالت را می توان از رابطه ی زیر به دست آورد :

$$U = mgh$$

◄ مثال : جسمی به وزن ۵۰۰ نیوتون را روی سطح شیب داری که با افق زاویه ی ۳۰ درجه می سازد بالا می کشیم. اگر جابه جایی جسم روی سطح ۴ متر باشد ، افزایش انرژی پتانسیل آن چند ژول خواهد بود؟ (حرکت جسم یکنواخت می باشد).

۱) ۹۸۰۰ ۲) ۲۰۰۰ ۳) ۱۰۰۰ ۴) $۱۰۰۰\sqrt{۳}$

پاسخ : گزینه ی (۳)



$$h = ۴ \sin ۳۰° = ۴ \times \frac{۱}{۲} = ۲m$$

$$U = mgh \rightarrow U = ۵۰۰ \times ۲ = ۱۰۰۰J$$

انرژی پتانسیل کشسانی :

انرژی پتانسیل کشسانی فنر در یک وضعیت کشیده (یا فشرده) نسبت به حالت آزاد فنر ، برابر است با کاری که باید انجام دهیم تا آن را از حالت آزاد با سرعت ثابت به وضعیت مذکور برسانیم. اگر ضریب ثابت فنر برابر با $\mathbf{k}$ و تغییر طول فنر از حالت آزاد برابر با $\mathbf{x}$ باشد ، انرژی پتانسیل کشسانی فنر را می توان از رابطه ی زیر محاسبه نمود :

$$U = \frac{۱}{۲} KX^{۲}$$

اثبات :

با توجه به رابطه ی $F = KX$ داریم :

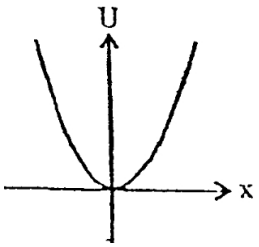
$$\left.\begin{matrix} X_۱ = ۰ \rightarrow F_۱ = ۰ \\ X_۲ = X \rightarrow F_۲ = KX \end{matrix}\right\} \rightarrow \bar{F} = \frac{F_۱ + F_۲}{۲} = \frac{۰ + KX}{۲} = \frac{۱}{۲} KX$$

کاری که بر روی فنر در تغییر طول به اندازه ی $\mathbf{x}$ انجام می شود ، به صورت انرژی پتانسیل در آن ذخیره می شود :

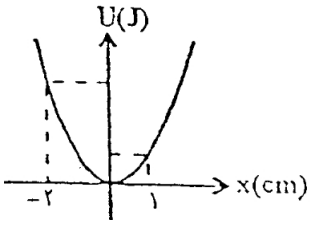
$$U = W = \bar{F}.X \rightarrow U = \left(\frac{۱}{۲} KX\right).X \rightarrow U = \frac{۱}{۲} KX^{۲}$$

نکته :

نمودار انرژی پتانسیل کشسانی فنر بر حسب تغییر طول آن به صورت زیر است :



◀ مثال : نمودار تغییرات انرژی پتانسیل کشسانی فنر بر حسب تغییر طول به شکل زیر است. اگر با شد ، تغییر ی پتانسیل کشسانی فنر بین دو نقطه ی نمایش داده شده روی نمودار چند ژول می باشد؟



۱) ۰/۱

۲) ۴۰۰۰

۳) ۳۰۰۰

۴) ۰/۳

پاسخ : گزینه ی (۳)

$$\Delta U = \frac{1}{2}K(X_2^2 - X_1^2) \rightarrow \Delta U = \frac{1}{2} \times 2000 \times [(-2)^2 - (1)^2] \times 10^{-4} \rightarrow \Delta U = 0/3J$$

انرژی مکانیکی : مجموع انرژی جنبشی و انرژی های پتانسیل جسم را «انرژی مکانیکی» می گویند.

یعنی :

$$E = k + u$$

پایستگی انرژی مکانیکی :

اگر انرژی مکانیکی متحرک در پایان مسیر را با E_f و انرژی مکانیکی آن در ابتدای مسیر را با $E_i i$ نشان دهیم ، در صورتی که کار نیروهای تلف کننده ی انرژی برابر با W_f در نظر گرفته شود ، رابطه ی زیر برقرار است :

$$E_f - E_i = W_f$$

❁تذکر :

چنان چه در طول مسیر حرکت نیروهای تلف کننده ی انرژی وجود نداشته باشد ، رابطه ی بالا به صورت زیر در می آید :

$$E_f = E_i$$

توان :

کار انجام شده در واحد زمان را «توان» می گویند و داریم :

$$P = \frac{W}{t}$$

تعریف وات :

یکای توان در SI وات می باشد و یک وات برابر است با کار انجام شده به میزان یک ژول در مدت یک ثانیه.

نکته :

۱- اگر جسمی در امتداد خط مستقیم با سرعت ثابت حرکت نموده و به اندازه ی x جابه جا شود ، داریم :

$$P = \frac{W}{t} \rightarrow P = \frac{F.X}{t} \rightarrow P = F.v$$

۲- اگر جسمی در امتداد خط مستقیم با شتاب ثابت حرکت نماید ، توان متوسط به صورت زیر به دست می آید :

$$\bar{P} = \frac{W}{t} \rightarrow \bar{P} = \frac{F.X}{t} \rightarrow \bar{P} = F.\bar{V}$$

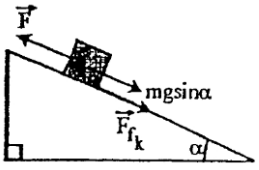
۳- هر گاه اتومبیلی به جرم m با سرعت ثابت v از یک سطح شیب دار دارای اصطکاک با زاویه ی شیب a به طرف بالا برود ، طبق قانون دوم نیوتون برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است ، یعنی :

$F = mg\sin a + F_{fk}$ نیروی موتور اتومبیل

بنابراین توان موتور اتومبیل برابر است با:

$$P = F.V \rightarrow P = \left(mg\sin a + F_f\right).V$$

۴- چنان چه جسمی به جرم m را در مدت زمان t با سرعت ثابت و به اندازه ی h در راستای قائم رو به بالا جابه جا کنیم ، توان لازم برای انجام این کار از رابطه ی زیر به دست می آید :



$$P = \frac{W}{t} \rightarrow P = \frac{mgh}{t}$$

بازده :

ز سبت توان مفید (توان خروجی) به توان کل (توان ورودی) د ستگاه را «بازده» می گویند و آن را بر ح سب درصد بیان می کنند و داریم :

$$\left(\text{برحسب درصد}\right) R_a = \frac{P_{\text{مفید}}}{P_{\text{کل}}} . ۱۰۰$$

◀ مثال : توان یک تلمبه ی برقی ۲ کیلو وات و بازده آن ۹۵ ٪ اســت. این تلمبه در هر دقیقه چند کیلو گرم آب را از عمق ۹/۵ متر بالا می آورد؟

۱) $۱/۲ . ۱۰^{۴}$

۲) $۱/۲ . ۱۰^{۳}$

۳) ۲۰۰

۴) ۲۰

پاسخ : گزینه ی (۲)

$$R_a = \frac{P_{\text{مفید}}}{P_{\text{کل}}} \rightarrow ۰/۹۵ = \frac{P_{\text{مفید}}}{۲۰۰۰} \rightarrow P_{\text{مفید}} = ۱۹۰۰W$$

$$P_{\text{مفید}} = \frac{mgh}{t} \rightarrow ۱۹۰۰ = \frac{m . ۱۰ . ۹/۵}{۱۰۶۰} \rightarrow m = ۱۲۰۰kg = ۱/۲ . ۱۰^{۳} kg$$

فصل پنجم

گرما و قانون گازها

- دما Temperature
- گرما Heat
- تعادل گرمایی
- دمای تعادل
- تبخیر
- تعادل آب و یخ
- تعادل آب با بخار آب
- اثر گرما بر ماده
- انتقال گرما Heat Transfer
- قانون گازها

دما (Temperature) :

دما معیاری است که میزاهن سردی و گرمی اجسام را مشخص می کند و یک کمیت مقایسه ای و نسبی است.

دماسنج (Thermometer) :

دما با ابزاری به نام (دماسنج) اندازه گیری می شود . هر دماسنج براساس تغییرات یک کمیت فیزیکی به علت تغییر دما کار می کند که به این کمیت فیزیکی (کمیت دماسنجی) می گویند . مانند : حجم یک مایع ، فشار یک گاز ، مقاومت الکتریکی یک رسانا و ....

نقاط ثابت دماسنجی :

برای مدرج کردن دماسنج ها ، دو دمای استاندارد را که دسترسی به آن ها ساده است انتخاب می کنند که یکی از آنها را (نقطه ی ثابت پایینی) و دیگری را (نقطه ی ثابت بالایی) می نامند .

یکاهای دما :

۱- درجه ی سلسیوس (°C) :

نقاط ثابت دماسنجی در این درجه بندی دمای نقطه ی ذوب یخ خالص و نقطه ی جوش آب خالص در فشار یک اتمسفر می باشد . که به ترتیب صفر و ۱۰۰ انتخاب شده اند . فاصله ی بین این دو نقطه به صد قسمت مساوی تقسیم می شود و هر قسمت آب یک درجه ی سلسیوس (یا یک درجه ی سانتی گراد) نامیده می شود

۲- درجه ی کلوین (k) :

پایین ترین درجه ی ممکن برای دما تقریباً برابر با -۲۷۳° می باشد که آن را (صفر مطلق) می نامند . صفر مطلق دمایی است که در آن انرژی درونی جسم به حداقل می رسد . مقیاس دمایی که صفر آن ، صفر مطلق است ، (مقیاس کلوین) نامیده می شود.

نکته : بین دو درجه بندی سلسیوس و کلوین رابطه ی زیر برقرار است :

$$T_k = \theta_c + ۲۷۳$$

نکته : تغییر دمای یک جسم بر حسب کلوین برابر با تغییر دمای آن بر حسب درجه ی سلسیوس می باشد . یعنی :

$$\Delta T_k = \Delta \theta_c$$

مثال : اگر دمای جسمی از ۵- به ۱۰ درجه ی سلسیوس تغییر یابد ، این تغییر دما معادل چند کلوین است؟

۱) ۱/۸ ۲) ۲/۷ ۳) ۱۸ ۴) ۱۵

پاسخ : گزینه ۴

$$\Delta\theta = ۱۰ - (-۵) = ۱۵°C$$

$$\Delta\theta = \Delta T \rightarrow \Delta T = ۱۵K$$

انواع دماسنج ها :

۱- دماسنج جیوه ای :

برای مدرج کردن دماسنج جیوه ای یک رابطه ی خطی به صورت $\theta = ah + b$ بین دما و کمیت دماسنجی h (طول ستون جیوه) فرض می کنیم . برای آنکه بتوانیم با اندازه گیری طول ستون جیوه ، دمای جسم را مشخص کنیم . لازم است ضرایب a , b را بدانیم . برای این منظور از نقاط ثابت دماسنجی (نقطه ذوب یخ خالص و نقطه ی جوش آب خالص در فشار یک اتمسفر) به ترتیب زیر استفاده می نماییم :

$$\theta = ah + b \rightarrow \begin{cases} ۰ = ah_{۰} + b \\ ۱۰۰ = ah_{۱۰۰} + b \end{cases} \rightarrow a = \frac{۱۰۰}{h_{۱۰۰} - h_{۰}} \; b = -\frac{۱۰۰h_{۰}}{h_{۱۰۰} - h_{۰}}$$

اگر مقادیر a , b را در رابطه ی $\theta = ah + b$ قرار دهیم خواهیم داشت :

$$a = \frac{۱۰۰}{h_{۱۰۰} - h_{۰}}(h - h_{۰})$$

در رابطه ی فوق $h_{۰}$ و $h_{۱۰۰}$ به ترتیب طول ستون جیوه در دماهای صفر و ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد می باشند .

مثال : طول ستون جیوه در یک دماسنج جیوه ای در $0^\circ C$ برابر با $15cm$ و در $100^\circ C$ برابر با $25cm$ است . در چه دمایی بر حسب سانتی گراد طول ستون جیوه برابر با ۲۱ سانتی متر است ؟

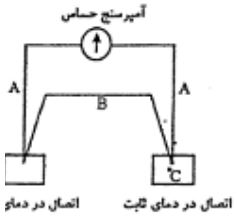
۱) ۹۰ ۲) ۸۰ ۳) ۷۰ ۴) ۶۰

پاسخ : گزینه ۴

$$\theta = \frac{100}{h_{100} - h_0}(h - h_0) \rightarrow \theta = \frac{100}{25-15} \times (21 - 15) \rightarrow \theta = 60^\circ C$$

۲- ترموکوپل

دو سیم فلزی غیر هم جنس A , B و یک میلی آمپرسنج را در مداری مطابق شکل می بندیم . اگر یکی از دو محل اتصال دو فلز را درون یخ در حال ذوب که دمای آن مشخص و ثابت است فرودی ببریم و دیگری را درون ظرف آب گرم که دمای آن را توسط دماسنج اندازه گرفته ایم قرار دهیم ، مشاهده خواهیم کرد که آمپرسنج عبور جریانی را نشان می دهد . بدیهی است که هرچه قدر اختلاف دمای دو اتصال بیش تر باشد . شدت جریان عبوری از آمپرسنج نیز بیش تر خواهد بود . از این رو می توان آمپرسنج را به جای شدت جریان بر حسب اختلاف دما مدرج کرد و به عنوان دماسنج به کاربرد . این نوع دماسنج را (ترموکوپل) می نامند .



برتری های ترموکوپل نسبت به دماسنج های دیگر به شرح زیر است :

۱- کوچک بودن اتصال سیم ها باعث می شود که اتصال به سرعت به تغییر دما پاسخ دهد و این دقت اندازه گیری را بالا می برد .

۲- خروجی این دماسنج ها ، یک علامت الکتریکی (جریان الکتریکی) است . به عبارت دیگر ، تغییر دما باعث تغییر جریان الکتریکی می شود و این تغییر جریان می تواند مستقیماً یک دستگاه هشداردهنده ی تغییرات ناگهانی دما را به کار اندازد و یا برای ثبت تغییرات پیوسته ی دما به کار می رود .

۳- این دماسنج ها نسبت به اختلاف دماهای بسیار کوچک ، حتی به اندازه ی $0/001^\circ C$ نیز حساس هستند.

۴- ترموکوپل را می توان برای اندازه گیری دماهای بالا (تا حدود $1500^{\circ}C$) نیز به کار برد . برای این منظور باید سیم های فلزی A , B را از جنس های خاصی انتخاب کرد که در آن دماها ذوب نشوند .

گرما (Heat) :

گرما نوعی انرژی است و به دلیل اختلاف دما بین یک جسم و جسم دیگری که با آن در تماس است مبادله می شود .

انرژی درونی :

انرژی درونی هر جسم ، مجموع انرژی های مولکول های تشکیل دهنده ی آن از جمله انرژی جنبشی آن ها است . هرچه دمای یک جسم افزایش یابد ، انرژی جنبشی مولکول های آن نیز افزایش یافته در نتیجه انرژی درونی جسم افزایش می یابد .

❁ **تذکر :** مبادله ی گرما با کاهش انرژی درونی جسم با دمای بالاتر و افزایش انرژی درونی جسم با دمای پایین تر همراه است .

❁ **تذکر :** آن چه در انتقال انرژی گرمایی اهمیت دارد ، اختلاف دما است و انتقال انرژی گرمایی از یک جسم به جسم دیگر تا هم دما شدن دو جسم ادامه می یابد .

تعادل گرمایی :

وقتی دو جسم A , B برای مدتی طولانی با هم در تماس باشند ، زمانی می رسد که گرمایی بین آن دو رد و بدل نمی شود . در این حالت اصطلاحاً گفته می شود که دو جسم به (تعادل گرمایی) رسیده اند .

گرمای ویژه (Specific Heat) :

گرمای ویژه ی یک جسم ، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجه ی سلسیوس (یا یک کلوین) افزایش یابد . با توجه به تعریف گرمای ویژه ، اگر جسمی به جرم m و گرمای ویژه ی C به اندازه ی $\Delta\theta$ تغییر دما بدهد ، گرمای داده شده به جسم یا گرفته از آن از رابطه ی $Q=mC\Delta\theta$ به دست می آید .

در رابطه ی فوق Q برحسب ژول (J) ، m برحسب کیلوگرم (kg) ، C بر حسب ژول بر کیلوگرم بر درجه ی سانتی گراد (یا $\frac{J}{kgk}$) و $\Delta\theta$ بر حسب درجه ی سانتی گراد (یا K) است .

نکته : گرمای ویژه ی آب از گرمای ویژه ی اغلب مواد بیش تر است .

ظرفیت گرمایی (Heat Capacity) :

ظرفیت گرمایی یک جسم مقدار گرمایی است که باید به جسم داده وشد تا دمای آن یک درجه ی سلسیوس (یا یک کلوین) افزایش یابد . ظرفیت گرمایی را با نماد A نمایش می دهند و داریم :

$$A = mC$$

در SI یکای ظرفیت گرمایی $\frac{J}{°C}$ (یا $\frac{J}{K}$) است .

مثال : یک سماور برقی دمای ۰/۵ کیلوگرم آب را در مدت ۷۰ دقیقه از $۲۰°C$ به $۸۰°C$ می رساند . اگر گرمای ویژه ی آب $۴۲۰۰\frac{J}{kg°C}$ و بازده سماور ٪۶۰ باشد ، توان مصرفی سماور چند وات است ؟

پاسخ :

$$Q = mC\Delta\theta \rightarrow Q = ۰/۵ \times ۴۲۰۰ \times (۸۰ - ۲۰) \rightarrow Q = ۱۲۶۰۰۰J$$

$$P_{\text{مفید}} = \frac{Q}{t} \rightarrow P_{\text{مفید}} = \frac{۱۲۶۰۰۰}{۷۰ \times ۶۰} = ۳۰W$$

$$Ra = \frac{P_{\text{مفید}}}{P'_{\text{کل}}} \rightarrow ۰.۶ = \frac{۳۰}{P'_{\text{کل}}} \rightarrow P'_{\text{کل}} = ۵۰W$$ توان مصرفی سماور

دمای تعادل :

اگر دو یا چند جسم با دما های مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند ، اجسام با دمای بالاتر گرما از دست می دهند و اجسام با دمای پایین تر گرما می گیرند تا این که به تعادل گرمایی برسند و یا به عبارت دیگر هم دما شوند . این دمای مشترک را (دمای تعادل) می نامند .

نکته : هنگامی که دو یا چند جسم در تماس با یکدیگر قرار می گیرند بین آن ها گرما مبادله می شود تا این که به دمای تعادل برسند ، در این حالت جمع جبری گرماهای مبادله شده برابر با صفر است ، یعنی :

$$\sum_{i=1}^{n} Q_i = 0$$

گرماسنج :

ظرفی است دو جداره که سطوح این جداره ها صیقلی شده فضای بین آن ها خالی از هواست . گرماسنج مانع تبادل گرما بین مواد داخل آن و محیط اطراف می شود .

مثال : ۲۵۰ گرم نیکل $120^{\circ}C$ را در ۲۰۰ گرم آب $12^{\circ}C$ می اندازیم . دمای تعادل چند درجه ی سلسیوس می شود ؟(گرمای ویژه ی نیکل $0/46\ \frac{J}{g^{\circ}C}$ و گرمای ویژه ی آب $4\frac{J}{g^{\circ}C}$ است)

۱) ۳۰ ۲) ۲۴ ۳) ۲۰ ۴) ۱۲

پاسخ : گزینه ۲

$$\theta_c = \frac{m_1C_1\theta_1}{m_1C_1+m_2C_2} \rightarrow \theta_c = \frac{250\times0.46\times120+200\times4\times12}{250\times0.46+200\times4} \rightarrow \theta_c = \frac{120+96}{1+8} \rightarrow \theta_c = 24^{\circ}C$$

مثال : یک گرماسنج با ظرفیت گرمایی $150\frac{J}{^{\circ}C}$ محتوی ۰/۵ کیلو گرم آب $8^{\circ}C$ است . یک قطعه فلز به دمای $110^{\circ}C$ را در آن وارد می کنیم . دمای تعادل $10^{\circ}C$ می شود . ظرفیت گرمایی قطعه فلز چند $\frac{J}{^{\circ}C}$ است ؟ گرمای ویژه ی آب $4200\frac{J}{kg^{\circ}C}$ فرض شده است .

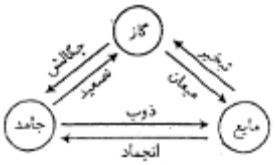
۱) ۵۴ ۲) ۱۰۰ ۳) ۳۹ ۴) ۴۵

پاسخ : گزینه ۴

$$(A_1 + m_1C_1)(\theta_c - \theta_1) + A_2(\theta_c - \theta_2) = 0 \rightarrow (150 + 0.5 \times 4200)(10 - 8) + A_2(10 - 110) = 0 \rightarrow 4500 - 100A_2 = 0 \rightarrow A_2 = 45\frac{J}{^\circ C}$$

حالت های ماده :

ماده در طبیعت به سه صورت جامد ، مایع و گاز وجود دارد و می تواند از یک حالت به حالت دیگر تبدیل شود . در شکل زیر انواع تغییر حالت نشان داده شده است :



نکته : فرآیند های ذوب ، تبخیر و تصعید گرماگیر و فرآیند های انجماد ، میعان و چگالش گرمازا هستند .

ذوب (Fusion) :

تبدیل شدن جسم جامد به مایع را (ذوب) می گویند . ذوب بر دو نوع است : ۱- ذوب ساده و ۲- ذوب خمیری

در ذوب ساده ، جسم جامد در دمای معینی از حالت جامد به حالت مایع تبدیل می شود . پارافین ، سرب و یخ دارای ذوب ساده هستند . در ذوب خمیری ، جسم جامد پس از گرفتن گرمای لازم نرم و نرم تر می شود تا این که کاملاً به مایع تبدیل شود . در این حالت دمای جسم دائماً افزایش می یابد و حد فاصلی میان حالت جامد و مایع وجود ندارد . اکثر فلزات ، شیشه ، موم و چربی ها دارای ذوب خمیری هستند .

نکته : عمل ذوب با ازدیاد حجم همراه است (به جز برای یخ)

نکته : افزایش فشار بر یک جسم موجب بالارفتن نقطه ی ذوب آن می شود (به جز یخ)

گرمای نهان ویژه ی ذوب (Specific Latent Heat of Fusion) :

مقدار گرمایی است که یکای جرم از هر جسم می گیرد تا بدون آنکه تغییر دما دهد ، به مایع تبدیل شود . گرمای نهان ویژه ی ذوب را با L_f نشان می دهند و یکای آن $\frac{J}{kg}$ می باشد .

گرمای نهان ذوب :

مقدار گرمایی است که جسم جامدی به جرم m می گیرد تا بدون آنکه دمایش تغییر کند به مایع تبدیل شود و از رابطه ی زیر بدست می آید :

$$Q = mL_f$$

انجماد (Freezing) :

اگر مایعی را به تدریج سرد کنیم ، سرعت حرکت مولکول های آن کاهش یافته هنگامی که به دمای معینی می رسد (نقطه ی انجماد) ، انرژی جنبشی بعضی از مولکول ها آن قدر کم می شود که بر اثر نیروهای جاذبه ی بین مولکولی ، در یک شبکه ی بلوری قرار می گیرند . اگر به سرد کردن مایع ادامه دهیم به تدریج ارز حجم مایع کاسته شده و بر حجم شبکه های بلوری افزوده می شود تا آن که همه ی مایع به جامد تبدیل شود .

تبخیر (Vaporization) :

تغییر حالت ماده از مایع به بخار را (تبخیر) می گویند . تبخیر به اشکال متفاوت انجام می وشد که عبارتند از :

۱– تبخیر سطحی

۲– تبخیر در مجاورت گازهای دیگر

۳– تبخیر در خلأ

۴– تبخیر در اثر جوشیدن

۱– تبخیر سطحی (Evaporation) :

بعضی از مولکول های یک مایع انرژی لازم جهت بخار شدن را از مولکول های دیگر کسب کرده بخار می شوند . این پدیده ، یعنی بخار شدن مایعات از سطح آزاد آن ها را (تبخیر سطحی) می گویند و در هر دمایی امکانپذیر است .

نکته : تبخیر سطحی باعث کاهش دمای مایع باقی مانده می شود .

نکته : تبخیر سطحی با افزایش سطح آزاد مایع ، دمای محیط و سرعت وزش باد افزایش یافته و با افزایش فشار وارد بر سطح آزاد مایع و بخار (از همان جنس مایع) در محیط ، کاهش می یابد .

۲- تبخیر در مجاورت گازهای دیگر :

مایعات در مجاورت گازهای دیگر نیز بخار می شوند که این عمل به کندی صورت می گیرد .

۳- تبخیر در خلأ :

اگر مقداری مایع در ظرفی داشته باشیم و ظرف محتوی مایع را زیر سرپوشی قرار دهیم . در صورتی که هوا و بخار زیر سرپوش را به کمک تلمبه تخلیه کنیم ، با کاهش فشار وارد بر سطح مایع ، نقطه ی جوش آن پایین آمده مایع شروع به جوشیدن می کند و به سرعت تبخیر می شود . این پدیده را (تبخیر در خلا) می نامند .

۴- تبخیر در اثر جوشیدن :

هنگامی که به مایع گرما می دهیم ، بعضی از مولکول ها سریع تر از مولکول های دیگر انرژی دریافت کرده به صورت حباب هایی در می آیند . فشار درون هر حباب برابر مجموع فشارهای موثر بر سطح مایع و فشار مربوط به ارتفاع مایع است . با توجه به اینکه چگالی حباب کم تر از چگالی مایع است ، حباب در اثر نیروهای وارد از طرف مایع به طرف بالا حرکت می کند و زمانی که به لایه های سرد بالایی می رسد ، گرمای خود را از دست داده دوباره به مایع تبدیل می شود . هنگامی که تمام مایع به اندازه ی کافی گرم شود ، حباب ها می توانند به سادگی به سطح آزاد مایع رسیده از آن خارج شوند و به این ترتیب مایع به بخار تبدیل می شود . این پدیده را (تبخیر در اثر جوشیدن) می گویند .

نکته : هر مایع خالص در فشار ثابت در دمای معینی به نام (نقطه ی جوش) شروع به جوشیدن می کند .

نکته : در تمام مدت جوشیدن ، دمای مایع ثابت می ماند .

گرمای نهان ویژه ی تبخیر (Specific Latent Heat of Vaporization) :

مقدار گرمایی که یکای جرم از یک مایع می گیرد تا بدون تغییر دما به بخار تبدیل شود (گرمای نهان ویژه ی تبخیر) نام دارد و آن را با L_v نشان می دهند و یکای آن $\frac{J}{kg}$ است .

گرمای نهان تبخیر :

مقدار گرمایی است که مایعی به جرم m می گیرد تا بدون آن که دمایش تغییر کند به بخار تبدیل شود و از رابطه ی زیر به دست می آید :

$$Q = mL_v$$

مثال : چند کیلوژول گرما لازم است تا $5kg$ یخ $-20°C$ به آب صفر درجه تبدیل شود ؟

$$(L_f = 340\frac{kJ}{kg} , C_{\text{یخ}} = 2100\frac{J}{kgK})$$

پاسخ :

$$(-20°C)_{\text{یخ}} \xrightarrow{Q_1} (0°C)_{\text{یخ}} \xrightarrow{Q_2} (0°C)_{\text{آب}}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 \rightarrow Q = mC\Delta\theta + mL_f \rightarrow Q = 5\times 2/1 \times[\ 0 - (-20)]+5\times 340 \rightarrow Q = 1910kJ$$

مثال : ۲۰ گرم بخار آب $100°C$ تقریباً چند کیلو ژول گرما می دهد تا به آب $40°C$ تبدیل می شود ؟ گرمای ویژه ی آب $4/2\ \frac{kJ}{kg°C}$ و گرمای نهان ویژه ی تبخیر آب $2250\frac{kJ}{kg}$ است .

۱) ۱۲۰ ۲) ۵۰ ۳) ۲۱۱۲ ۴) ۴۰

$$(100°C)\text{بخار آب} \xrightarrow{Q_1} (100°C)\text{آب} \xrightarrow{Q_2} (40°C)\text{آب}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 \rightarrow Q = -mL_v + mC\Delta\theta \rightarrow Q = -20 \times 2250 + 20 \times 4.2 \times (40 - 100) \rightarrow Q = -45000 - 5040 \rightarrow Q = -50040J \rightarrow |Q| \approx 50kJ$$

مثال : ظرف عایقی محتوی m کیلوگرم آب صفر درجه ی سلسیوس است . بر اثر تبخیر سطحی مقداری از آب بخار و بقیه تبدیل به یخ صفر درجه ی سلسیوس می شود . اگر گرمای نهان ویژه ی تبخیر آب $۲۵۲۰\frac{kJ}{kg}$ و گرمای نهان ویژه ی ذوب یخ $۳۳۶\frac{kJ}{kg}$ باشد ، جرم یخ باقی مانده چند درصد جرم آب اولیه است ؟

۱) ۸۸ ۲) ۱۲

۳) ۶۸ ۴) اطلاعات مسئله کافی نیست

پاسخ : گزینه ۱

اگر فرض کنیم m' جرم بخار و m" جرم یخ باقی مانده باشد ، مقدار گرمایی که آب به جرم m' دریافت می کند تا تبدیل به بخار شود ، برابر است با مقدار گرمایی که آب به جرم m" از دست می دهد تا به یخ تبدیل شود . بنابراین داریم :

$$m"L_f = m' L_v \rightarrow \frac{m"}{m'} = \frac{L_V}{L_f} \rightarrow \frac{m"}{m'+m"} = \frac{L_V}{L_f+L_V} \rightarrow \frac{m"}{m} = \frac{۲۵۲۰}{۳۳۶+۲۵۲۰} \rightarrow \frac{m"}{m} = \frac{\frac{۲۵۲۰}{۲۸۵۶}}{}$$

$$\rightarrow \frac{m"}{m} = ۰.۸۸ = ۸۸٪$$

تعادل آب و یخ :

اگر مقداری یخ صفر درجه ی سلسیوس به جرم m را در مقداری آب θ درجه ی سلسیوس به جرم M وارد کنیم ، دمای تعادل مخلوط (θ_c) به صورت زیر محاسبه میشود:

۰ = گرمایی که آب حاصل می گیرد تا به دمای تعادل برسد + گرمایی که یخ می گیرد تا ذوب شود + گرمایی که آب از دست می دهد .

$$MC(\theta_c - \theta) + mL_f + mC(\theta_c - ۰) = ۰$$

بر اساس این رابطه اگر برای θ_c عدد مثبتی به دست آید ، همان عدد جواب مسأله است . اگر $\theta_c = ۰$ به دست آید ، دمای تعادل صفر بوده تمام یخ ذوب شده است . اگر $\theta_c < ۰$ به دست آید ، مشخص می

شود که فقط قسمتی از یخ ذوب شده است . بنابراین دمای تعادل صفر است (مخلوط آب و یخ) و جرم یخ ذوب شده از رابطه ی $m'L_f = MC\theta$ به دست می آید .

تعادل آب با بخار آب :

اگر مقداری بخار آب صد درجه ی سلسیوس به جرم m را در مقداری آب θ درجه ی سلسیوس به جرم M وارد کنیم ، دمای تعادل مخلوط (θ_c) به صورت زیر محاسبه می شود :

۰ = گرمایی که آب حاصل می دهد تا به دمای تعادل برسد – گرمایی که بخار از دست می دهد تا به آب تبدیل شود+ گرمایی که آب می گیرد

$$MC(\theta_c - \theta) - mL_V + mC(\theta_c - ۱۰۰) = ۰$$

براساس این رابطه اگر برای θ_c عددی کوچکتر یا مساوی با $۱۰۰°C$ به دست آید ، همان عدد جواب مسأله است . اما اگر $\theta_c > ۱۰۰°C$ به دست آید ، مشخص می شود که تمام بخار به آب تبدیل نشده است و بنابراین دمای تعادل برابر با $۱۰۰°C$ می باشد (مخلوط آب و بخار آب) و جرم قسمتی از بخار که به آب تبدیل شده است ازرابطه ی $m' L_V = MC(۱۰۰ - \theta)$ به دست می آید .

مثال : به یک کیلوگرم یخ صفر درجه $۱۰۰KJ$ حرارت می دهیم . اگر گرمای نهان ویژه ی ذوب یخ $۳۳۵\frac{J}{g}$ باشد ، دمای نهایی چند درجه ی سلسیوس است ؟

۱) صفر ۲) ۳۳/۳۵ ۳) ۲۵ ۴) ۴۰

پاسخ : گزینه ۱

$$Q = mL_f \rightarrow ۱۰۰ = m \times ۳۳۵ \rightarrow m = \frac{۱۰۰}{۳۳۵} kg < ۱kg$$

بنابراین تمام یخ ذوب نخواهد شد و در نتیجه دمای نهایی برابر با صفر درجه ی سلسیوس می باشد .

مثال : مقداری بخار آب $100^{\circ}C$ را در ۵۰۰ گرم آب $10^{\circ}C$ وارد می کنیم ، دمای تعادل $40^{\circ}C$ می شود ، اگر گرمای نهان ویژه ی تبخیر آب $2250\frac{kJ}{kg}$ و گرمای ویژه ی آب $4/2\frac{KJ}{Kg^{\circ}C}$ باشد ، تقار آب تقریباً چند گرم بوده است ؟

۱) ۱۲ ۲) ۲۵ ۳) ۱۲۰ ۴) ۲۵۰

پاسخ : گزینه ۲

$$MC(\theta_c - \theta) - mL_V + mC(\theta_c - 100) = 0 \rightarrow 500 \times 4.2 \times (40 - 10) - m \times 2250 + m \times 4.2 \times (40 - 100) = 0$$

$$\rightarrow 63000 - 2250\,m - 252\,m = 0 \rightarrow 2502m = 63000 \rightarrow m = 25/18g \approx 25g$$

میعان (Liquefaction) :

تبدیل بخار به مایع را (میعان) می نامند . میعان یک بخار به روش های زیر انجام می گیرد :

۱– میعان از راه کاهش دما

۲– میعان براثر تراکم

۳– میعان براثر تراکم و کاهش دما

نکته : هر بخار به هنگام میعان همانقدر گرما از دست می دهد که به هنگام تبخیر می گیرد ، بنابراین گرمای نهان ویژه ی میعان منفی گرمای نهان ویژه ی تبخیر است .

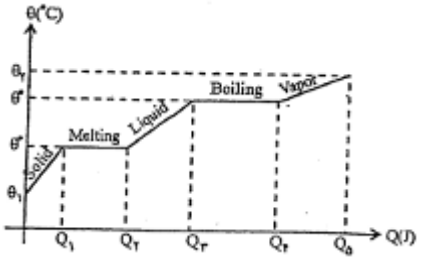
تصعید (Sublimation) :

تغییر حالت از جامد به بخار به طور مستقیم (بدون گذر از حالت مایع) را (تصعید) می گویند . به عنوان مثال نفتالین در دمای اتاق به طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می شود .

چگالش (Condensation) :

تغییر حالت از بخار به جامد به طور مستقیم (بدون گذر از حالت مایع) را (چگالش) می گویند . به عنوان مثال در صبح های بسیار سرد زمستان ، برفکی که روی شیشه ی پنجره می نشیند ، بخار آبی است که به طور مستقیم به بلور های یخ تبدیل شده است .

نکته : اگر جسم جامدی به جرم m و دمای θ_1 با گرفتن گرما به بخار با دما θ_2 تبدیل می شود ، نمودار تغییرات دمای جسم بر حسب گرمای داده شده به آن به صورت زیر است :



اثر گرما بر ماده :

انبساط جامدات :

وقتی به جسم جامدی گرما داده می شود ، دامنه ی نوسان مولکول های آن افزایش یافته و در نتیجه جای بیشتری اشغال کرده حجم جسم افزایش می یابد . هرگاه میله ای فلزی را گرما دهیم ، افزایش حجم آن در طول بیش تر محسوس است تا سطح مقطع و هنگامی که یک ورقه ی فلزی را گرم می کنیم ، افزایش حجم آن در سطح محسوس تر از ضخامت است و در مورد یک گلوله ی فلزی افزایش حجم به طور کلی جلب نظر می کند . با توجه به این که افزایش طول ، سطح و یا حجم در اثر گرما مورد نظر باشد ، انبساط را طولی ، سطحی و یا حجمی می نامیم و در ذیل به بررسی هر یک می پردازیم :

۱– انبساط طولی :

بنا به تعریف افزایش طول جسم جامد به ازای افزایش دما به میزان یک درجه ی سانتی گراد (یا یک کلوین) را (ضریب انبساط طولی) آن جسم می گویند . اگر L_1 طول اولیه ی جسم ، L_2 طول ثانویه و α ضریب انبساط طولی آن باشد ، رابطه ی زیر برقرار است :

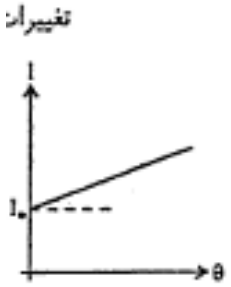
$$L_2 = L_1(1+ \alpha\Delta\theta)$$

بنابر رابطه ی فوق تغییر طول جسم از رابطه ی $\Delta L = L_1 \alpha \Delta\theta$ به دست می آید .

❁ تذکر :

یکای ضریب انبساط طولی در SI ، $\frac{1}{k}$ یا $\frac{1}{^\circ C}$ می باشد .

نکته : با توجه به رابطه ی $L = L_\circ(1 + \alpha\theta)$ که در آن $L_\circ$ طول اولیه در دمای صفر درجه ی سانتی گراد می باشد ، نمودار تغییرات طول (L) بر حسب دما (θ) به صورت شکل صفحه ی بعد می باشد :



$$Slope = L_\circ \alpha$$

۲– انبساط سطحی :

بنا به تعریف افزایش سطح واحد سطح جسم جامد به ازای افزایش دما به میزان یک درجه ی سانتی گراد (یا یک کلوین) را (ضریب انبساطی سطحی) آن جسم می گویند . اگر A_1 شطح اولیه ی جسم ، A_2 سطح ثانویه و 2α ضریب انبساط سطحی آن باشد ، رابطه ی زیر برقرار است :

$$A_2 = A_1(1 + 2\alpha\Delta\theta)$$

بنابر رابطه ی فوق تغییر حجم جسم از رابطه ی $\Delta A = A_1 (2\alpha)\Delta\theta$ به دست می آید .

۳– انبساط حجمی :

بنا به تعریف افزایش حجم واحد حجم جسم جامد به ازای افزایش دما به میزان یک درجه ی سانتی گراد (یا یک کلوین) را (ضریب انبساط حجمی) آن جسم می گویند . اگر V_1 سطح اولیه ی جسم ، V_2 سطح ثانویه و β ضریب انبساط حجمی آن باشد ، رابطه ی زیر برقرار است :

$$V_2 = V_1(1 + \beta\Delta\theta)$$

بنابر رابطه ی فوق تغییر حجم جسم از رابطه ی $\Delta V=V_1\beta\Delta\theta$ به دست می آید .

نکته : بین ضرایب انبساط حجمی و طولی رابطه ی زیر برقرار است :

$$\beta = ۳\alpha$$

نکته : چنان چه انبساط نسبی طول ، سطح و حجم مورد نظر باشد ، از روابط زیر استفاده می نماییم :

$$\begin{cases} \text{انبساط نسبی طول} = \frac{\Delta L}{L_1} = \alpha\Delta\theta \\ \text{انبساط نسبی سطح} = \frac{\Delta A}{A_1} = ۲\alpha\Delta\theta \\ \text{انبساط نسبی حجم} = \frac{\Delta V}{V_1} = \beta\Delta\theta \end{cases}$$

مثال : طول یک میله ی فلزی به ضریب انبساط طولی $۲\times ۱۰^{-۵}\frac{۱}{°C}$ در دمای صفر درجه ی سلسیوس برابر ۲ متر است . اگر دمای میله $۱۰۰°C$ افزایش یابد ، افزایش طول آن چند سانتی متر خواهد بود ؟

۱) ۰/۰۰۱۴ ۲) ۰/۰۱۴ ۳) ۰/۱۴ ۴) ۱۴

پاسخ : گزینه ۳

$$\Delta L = L_1\alpha\Delta\theta \rightarrow \Delta L = ۲\times ۲\times ۱۰^{-۵}\times(۱۰۰- ۰) \rightarrow \Delta L = ۱۴\times ۱۰^{-۲}m = ۰/۱۴cm$$

مثال: دمای یک میله ی فلزی به ضریب انبساط طولی $۲\times ۱۰^{-۵}\frac{۱}{°C}$ برابر $۲۰°C$ است . آن را چه دمایی سرد کنیم تا کاهش طول آن ۳×۱۰^{-۲} برابر طول اولیه اش شود ؟

$$\Delta L = L_1\alpha\Delta\theta \rightarrow - ۳ \times ۱۰^{-۴}\times L_1 = L_1\times ۲\times ۱۰^{-۵}\times(\theta - ۲۰) \rightarrow \theta - ۲۰ = - ۱۵ \rightarrow \theta = ۵°C$$

مثال : تغییر حجم یک مکعب مستطیل آهنی به ابعاد $۶cm \times ۱۰cm \times ۵cm$ وقتی دمای آن از $۵°C$به $۵۵°C$می رسد چند سانتی متر مکعب است ؟ ضریب انبساط طولی آهن $۱/۲\times ۱۰^{-۵}°C^{-۱}$ است .

پاسخ :

$$\Delta V = V_1\beta\Delta\theta \rightarrow \Delta V = (۶\times ۱۰\times ۵)\times(۳\times ۱/۲\times ۱۰^{-۵})\times(۵۵ - ۵) \rightarrow \Delta V = ۰/۵۴cm^۳$$

نکته : انبساط اجسام به جرم آن ها بستگی ندارد ، بدین معنی که تغییر حجم دو جسم هم جنس و هم دما که حجم اولیه ی آن ها یکسان است ، اما یکی توپر و دیگری تو خالی می باشد ، به ازای افزایش دمای یکسان همواره برابر است .

انبساط مایعات :

مایعات نیز مانند اغلب جامدات در اثر گرم شدن منبسط می شوند ، ولی به دلیل این که انبساط مایع و ظرف به طور توأم صورت می گیرد . لازم است علاوه بر تغییر حجم مایع ، تغییر حجم ظرف را نیز در اندازه گیری ها دخالت دهیم . اگر حجم مایعی را که در ظرف است با V_1 نشان دهیم ، هنگامی که دمای آن به اندازه ی $\Delta\theta$ افزایش می یابد ، حجم آن از رابطه ی $V = V_1(1 + a\Delta\theta)$ به دست می آید که در این رابطه a را

(ضریب انبساط مطلق) مایع می گویند و بنا به تعریف عبارت است از افزایش حجم واحد حجم مایع به ازای افزایش دمایی برابر با یک درجه ی سانتی گراد (یا یک کلوین) . نظر به این که به دلیل افزایش حجم ظرف ، انبساط واقعی مایع درون ظرف مشخص نمی شوند ، حجم مایع درون ظرف پس از افزایش دما از رابطه ی $V' = V_1(1+a'\Delta\theta)$ محاسبه می شود که در این رابطه a' را (ضریب انبساط ظاهری) مایع می نامند .

نکته : بین ضریب انبساط مطلق و ضریب انبساط ظاهری مایع رابطه ی $a' = a - \beta$ برقرار است که در این رابطه β ضریب انبساط حجمی ظرف می باشد .

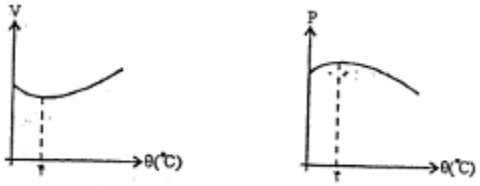
نکته : هرگاه ظرفی به ضریب انبساط حجمی β داشته باشیم و آن را از مایعی به ضریب انبساط مطلق a پر کرده گرما دهیم ، حجم مایعی که از ظرف بیرون می ریزد برابر با تغییر حجم ظاهری مایع است و از رابطه ی $\Delta V = V_1 a'\Delta\theta$ به دست می آید که در این رابطه V_1 حجم اولیه ی مایع و a' ضریب انبساطی ظاهری مایع می باشد .

مثال : ظرفی به حجم $500cm^3$ و ضریب انبساط طولی $\frac{1}{k} \times 10^{-5}$ ۴ از مایعی به ضریب انبساط حجمی (ضریب انبساط مطلق) $2 \times 10^{-4}\frac{1}{k}$ پر شده است . اگر دمای ظرف و مایع را به طور یکنواخت تا $60°C$ افزایش دهیم ، چند سانتی متر مکعب مایع از ظرف بیرون می ریزد ؟

$$\Delta V = V_1 a'\Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 500\times(2\times10^{-4}-3\times4\times10^{-5})\times60 \Rightarrow \Delta V = 2/4Cm^3$$

انبساط غیر عادی آب :

حجم بیشتر مایعات با زیاد شدن دما افزایش می یابد ، ولی آب در این مورد استثناء می باشد ، به این معنی که دمای مقداری آب از $0^{\circ}C$ به $4^{\circ}C$ می رسد حجمش کاهش می یابد از $4^{\circ}C$ به بعد ، انبساط آب عادی است و با افزایش دما ، حجم آن افزایش می یابد . نمودار های تغییرات حجم و چگالی آب بر حسب دما به صورت زیر می باشند :



انتقال گرما (Heat Transfer) :

گرما به سه صورت می تواند از یک نقطه به نقطه ی دیگر انتقال یابد که در ادامه به شرح هر یک می پردازیم:

۱- رسانایی :

وقتی که به جسمی انرژی گرمایی می دهیم ، مولکول هایی که زودتر گرما را دریافت می نمایند شروع به ارتعاش کرده انرژی ارتعاشی خود را به مولکول های مجاور خود منتقل می کنند و به طور تدریجی تمام مولکول های جسم شروع به ارتعاش کرده ، جسم گرم می شود . در این پدیده ، شارش گرما بدون جابه جایی ماده صورت می گیرد .

نکته : میله ای به طول L وسطح مقطع A را که اختلاف دمای دو سر آن $\Delta\theta$ باشد ، در نظر می گیریم . مقدار گرمایی که در مدت زمان t در میله شارش می کند از رابطه ی زیر بدست می آید :

$$Q = k\frac{At\Delta\theta}{L}$$

در رابطه ی فوق ، k (رسانندگی گرمایی) نام دارد و یکای آن $\frac{J}{S.m.k}$ یا $\frac{W}{m.k}$ است .

مثال : یک انتهای میله ی آهنی به طول ۱۰ متر را در آب جوش و انتهای دیگر آن را در مخلوط آب و یخ قرار می دهیم ، اگر شعاع میله $2cm$ باشد ، مقدار انرژی که در مدت یک دقیقه در میله شارش می کند ، تقریباً چند ژول است ؟ $(\pi \approx 3 \ , \ k_{\text{آهن}} = 80\frac{J}{S.m.k})$

$A = \pi r^2 \rightarrow A = 3 \times (0/02)^2 \rightarrow A = 1/2 \times 10^{-3} m^2$

$Q = k\frac{At\Delta\theta}{L} \rightarrow Q = \frac{82 \times 1.2 \times 10^{-3} \times 60 \times 100}{10} \rightarrow Q \approx 59J$

۲- همرفت :

هنگامی که مایع (یا گازی) را در یک نقطه گرم می کنیم ، با افزایش دما حجم مایع (یا گاز) در اطراف آن نقطه زیاد و چگالی کم می شود . در نتیجه چون قسمت گرم شده چگالی کمتری دارد به بالا رانده شده جای خود را به مایع (یا گاز) سردتر می دهد . این حرکت مایع (یا گاز) باعث انتقال گرما به همه ی نقاط ظرف می شود .

۳- تابش :

انتقال انرژی گرمایی از طریق تابش به صورت امواج الکترومغناطیس است . به طور کلی هر جسمی که دارای دمایی بالاتر از صفر مطلق باشد تابش می کند و این نوع انتقال انرژی گرمایی نیازی به محیط مادی ندارد .

قانون گازها :

با توجه به این که نیروهای بین مولکولی در گازها بسیار کم است . بنابراین مقداری گاز به جرم m دارای شکل و حجم ثابتی نسیت و شکل و حجم آن تابع شکل و حجم ظرف آن می باشد . نظر به این که مولکول ها در گازها آزادانه حرکت می کنند ، به علت برخورد مداوم آن ها با دیواره ی ظرف ، از طرف گاز به دیواره ی ظرف فشار وارد می شود .

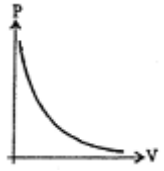
وقتی به مقدار معینی از یک گاز گرما می دهیم ، حجم وفشار آن تغییر می کند (مگر اینکه یکی از آن ها را ثابت مگه داریم) ، بنابراین برای مطالعه ی گازها سه عامل فشار (P) ، حجم (V) و دما (T) را در نظر گرفته تغییرات آن ها را بررسی می کنیم تا بتوانیم در شرایط مختلف رابطه ی بین این کمیت ها را مشخص نماییم.

رابطه ی بین حجم و فشار گازها در دمای ثابت (قانون بویل – ماریوت) :

هرگاه دمای جرم معینی از یک گاز ثابت بماند ، تغییرات حجم و فشار آن عکس یکدیگرند به طوری که حاصل ضرب آن ها مقدار ثابتی است این قانون را Edme Mariotte (۱۶۲۰- ۱۶۸۴) , Robert Boyle (۱۶۲۷ – ۱۶۹۱) برای نخستین بار به طور جداگانه کشف کردند . با توجه به قانون بویل – ماریوت رابطه ی زیر برقرار است :

$$P_1V_1 = P_2V_2 = \dots = cte$$

نمودار فشار برحسب حجم در دمای ثابت به صورت شکل زیر می باشد :



مثال : یک حباب هوا از کف یک استخر به سطح آب می رسد و حجم آن سه برابر می شود . به فرض این که درجه حرارت آب استخر ثابت بوده و فشار هوا 10^5Pa باشد ، عمق آب استخر چند متر است ؟

پاسخ :

$$P_1V_1 = P_2V_2 \rightarrow (P_0+\rho gh)V_1 = P_0(3V_1) \rightarrow 10^5+1000\times10\times h = 3\times10^5 \rightarrow 10^4\times h = 2\times10^5 \rightarrow h = 20m$$

مثال : اگر حجم گازی را در دمای ثابت 5lit افزایش دهیم ، تغییر فشار آن ۰/۱ فشار اولیه اش می شود حجم اولیه ی گاز چند لیتر بوده است ؟

پاسخ :

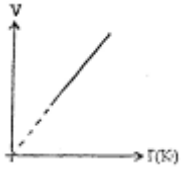
$P_1V_1 = P_2V_2 \rightarrow P_1V_1=(P_1 - ۰/۱ P_1)(V_1 + ۵) \rightarrow P_1V_1=۰/۹P_1(V_1 + ۵) \rightarrow V_1 = ۰/۹V_1+۴/۵ \rightarrow ۰/۱V_1 = ۴/۵ \rightarrow V_1 = ۴۵$ lit

رابطه ی بین دما و حجم گازها در فشار ثابت (قانون شارل – گی لوساک) :

در فشار ثابت ، حجم مقدار معینی از یک گاز با دما مطلق آن نسبت مستقیم دارد . این قانون را دو دانشمند فرانسوی به نام های Joseph Louis Gay – Lussac (۱۷۷۸-۱۸۵۰) , Jacques Alexandre Charles(۱۷۴۶ – ۱۸۲۳) به طور جداگانه کشف کردند . با توجه به قانون شارل – گی لوساک رابطه ی زیر برقرار است :

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \cdots = cte$$

نمودار حجم بر حسب دمای مطلق گاز در فشار ثابت به صورت زیر می باشد :



مثال : اگر در فشار ثابت ، دمای مقدار معینی گاز را از $۲۷^{\circ}C$ به $۱۲۷^{\circ}C$ برسانیم ، حجم آن چند برابر می شود ؟

۱) ۲ ۲) $\frac{۴}{۳}$ ۳) $\frac{۱}{۲}$ ۴) $\frac{۳}{۴}$

پاسخ : گزینه ۲

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{V_1}{۲۷۳+۲۷} = \frac{V_2}{۲۷۳+۱۲۷} \rightarrow \frac{V_1}{۳۰۰} = \frac{V_2}{۴۰۰} \rightarrow V_2 = \frac{۴}{۳}V_1$$

قانون عمومی گازها :

از ترکیب قوانین بویل – ماریوت و شارل – گی لو ساک می توان رابطه ی بین تغییرات فشار ، حجم و دمای مطلق جرم معینی از یک گاز را به دست آورد . این رابطه به صورت زیر نوشته می شود :

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \cdots = cet$$

گاز کامل (Ideal Gas):

گازی که تغییرات حجم و فشار آن با دمای مطلق ، تابع قانون عمومی گازها بوده و نیز بتوان از برهم کنش مولکول های آن نسبت به یکدیگر صرف نظر کرد (گاز کامل) نامیده می شود .

$$= \frac{P_2}{P_1}.\frac{T_1}{T_2} \rightarrow \frac{5}{3} = 3 \times \frac{T_1}{T_2} \rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{5}{9} \rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{9}{5}$$

فصل چهارم

ویژگی های ماده

- مویینگی **Capillarity**
- چگالی **Density**
- فشار **Pressure**
- فشار مایعات
- اصل پاسکال

حالت های مختلف ماده :

جامدات :

فاصله ی مولکول ها از یکدیگر در جسم جامد در حدود $1\text{Å}(10^{-10}m)$ است . اندازه ی نیروهای بین مولکولی در جامدات بسیار قوی تر از مایعات و گازها است و اجازه نمی دهد که مولکو ل های جامد آزادانه به اطراف حرکت کنند بلکه این مولکول ها فقط می توانند در جای خود نوسان نمایند .

اجسام جامد به دو دسته تقسیم می شوند : ۱- جامدات بلورین ۲- جامدات بی شکل

۱- جامدات بلورین :

در جامدات بلورین ، مولکول ها در طرح های منظم چنان مرتب شده اند که به آن شکل ثابت و دائمی داده اند . مانند فلزات ، نمک طعام و الماس .

نکته : جامدات بلورین هنگامی تشکیل می شوند که مایع به آهستگی سرد می شود . در این صورت مولکول های مایع فرصت دارند که خود را در یک طرح منظم مرتب کنند .

۲- جامدات بی شکل :

جامدات بی شکل معمولاً از سرد کردن سریع مایع به وجود می آیند . در این حالت ، مولکول ها فرصت کافی برای اینکه خود را در یک طرح منظم ، مرتب کنند ، ندارند .

مایعات :

فاصله ی مولکول ها در مایعات نیز ماند جامدات در حدود 1Å (یک انگستروم) است . اندازه ی نیرو های بین مولکولی در مایعات نسبت به جامدات کم تر است و در نتیجه مولکول های مایع می توانند به سهولت برروی هم بلغزند .

نکته : اگر مولکول های یک مایع خیلی به هم نزدیک شوند ، نیروی رانشی بسیار قوی بین آنها ایجاد می شود که از نزدیک شدن بیش تر آنها جلوگیری می کند . این نیرو باعث می شود که مایعات تراکم ناپذیر باشند .

گازها :

فاصله مولکول ها در گازها چند برابر فاصله ی آنها در مایعات و جامدات است . در گازها اندازه ی نیروهای بین مولکولی بسیار کم (تقریباً برابر با صفر) است و بنابراین مولکول های گاز می توانند آزادانه به اطراف حرکت کرده به یکدیگر برخورد کنند .

پدیده پخش :

هنگامی که در یک شیشه ی عطر را در گوشه ی اتاقی که پنجره ی آن بسته است باز می کنیم ، پس از مدتی بوی عطر در دورترین نقطه اتاق هم استشمام می شود . سرعت متوسط مولکول های عطر چند صد متر بر ثانیه است و از این رو انتظار می رود مولکول های عطر در چند صدم ثانیه به دورترین نقطه ی اتاق برسند ، در صورتی که این امر در حدود ده ثانیه و یا بیش تر طول می کشد . علت این است که برخورد مولکول های عطر با مولکول های هوای داخل اتاق مسیر حرکت آنها را تغییر می دهد و در نیجه مسیر آنها به جای خط راست به صورت خط شکسته خواهد بود .

نکته : پدیده ی پخش نشان می دهد که مولکول های مایع و گاز آزادانه به اطراف حرکت کرده با یکدیگر برخورد می کنند .

نیروهای چسبندگی (Cohesion Forces) :

نیروهای چسبندگی ، نیروهای ربایشی بین مولکول های یک ماده است . مولکول های یک قطره آب که از شیر چکیده است در حین سقوط قطره از هم جدا نشده متصل به یک دیگر باقی می مانند و این امر به دلیل وجود نیروی چسبندگی بین مولکول های تشکیل دهنده ی قطره ی آب می باشد .

کشش سطحی (Surface Tension):

بین مولکول های سطح یک مایع ، نیروهای چسبندگی وجود دارد که باعث می شود سطح مایع مانند یک پوسته ی کشسان رفتار کند . این نیروی چسبندگی را (کشش سطحی) می گویند . به علت وجود کشش سطحی یک سوزن فولادی بر روی سطح آب شناور می ماند و یا یک پشه می تواند بر روی سطح آب بایستد.

مثال : عامل نگهدارنده ی سوزن فولادی کوچک روی آب نیروی ..... و ماهیت آن نیروی ..... است .

۱) کشش سطحی – گرانشی ۲) اصطکاک – الکتریکی

۳) کشش سطحی – الکتریکی ۴) اصطکاک – گرانشی

پاسخ : گزینه ۳

نیروهای چسبندگی سطحی (Adhesion forces):

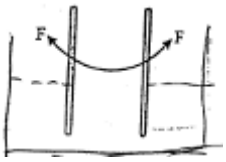
نیروهای ربایشی که بین مولکول های یک ماده با مولکول های ماده ی دیگر وجود دارد ، نیروهای چسبندگی سطحی) نامیده می شوند به عنوا مثال اگر مقداری آب بر روی سطح شیشه بریزیم ، آب سطح شیشه را تر می کند . علت این است که مولکول های آب مجاور شیشه با نیروی چسبندگی سطحی از طرف شیشه و از سوی دیگر با نیروی چسبندگی از طرف سایر مولکول های آب کشیده می شوند و چون نیروهای چسبندگی سطحی بین مولکول های آب مولکول های شیشه می چسبند و می گوییم آب شیشه را تر می کند .

نکته : اگر نیوری چسبندگی سطحی بین مولکول های دو ماده ، از نیروی چسبندگی موجو.د بین مولکول های هر یک از دو ماده کم تر باشد ، دو ماده به یکدیگر نمی چسبند . به عنوان مثال چون نیروی چسبندگی سطحی بین مولکول های جیوه و شیشه کم است ، جیوه سطح شیشه را تر نمی کند .

نکته : با چرب کردن سطح شیشه ، نیروهای چسبندگی سطحی کاهش می یابند و آب بر روی سطح شیشه به صورت قرات کروی شکل در می آید .

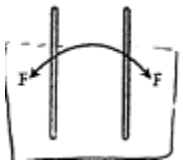
مویینگی (Capillarity):

یکی از اثرهای نیروی چسبندگی سطحی ، مویینگی است . لوله های مویین به لوله های بسیار باریکی گفته می شود که قطر داخلی آنها حدود میلی متر یا کم تر است . اگر یک لوله ی مویین شیشه ای را داخل مایعی مانند آب که جداره ی لوله را تر می کند قرار دهیم ، سطح آب در لوله بالاتر از سطح آب در ظرف قرار می گیرد . به دلیل این که نیروی چسبندگی سطحی بین مولکول های آب و شیشه بیش تر از نیروهای چسبندگی بین مولکول های آب است ، مولکول های آب به طرف جداره ی لوله ی مویین کشیده شده در سطح آب فرورفتگی ایجاد می شود (شکل زیر) :



نکته : آب در لوله ی مویین تا جایی بالا خواهد رفت که وزن ستون آب با نیروی چسبندگی سطحی بین مولکول های آب و جدار داخلی لوله برابر شود .

در مورد مایعاتی که جداره ی لوله را تر نمی کنند (مانند جیوه) خاصیت مویینگی به صورت عکس ظاهر می شود ، به این معنی که سطح جیوه در داخل لوله پایین تر از سطح آن در بیرون لوله است . به دلیل این که نیروی چسبندگی بین مولکول های جیوه از نیروی چسبندگی سطحی بین مولکول های جیوه و شیشه بیش تر است ، مولکول های جیوه که در کجاورت جدار داخلی لوله قرار دارند به طرف مرکز لوله کشیده می شوند و در سطح جیوه برآمدگی ایجاد می وشد (شکل زیر) :



چگالی (Density):

چگالی یک جسم ، جرم واحد حجم آن جسم است . اگر جرم جسم را با m و حجم آن را با V نشان دهیم ، چگالی آن را از رابطه ی زیر بدست می آید :

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

یکای چگالی در SI , $\frac{kg}{m^3}$ می باشد اما از یکای $\frac{g}{cm^3}$ نیز در برخی مواقع استفاده می شود .

نکته : برای تبدیل $\frac{kg}{m^3}$, $\frac{g}{cm^3}$ به یکدیگر از رابطه ی زیر استفاده می کنیم :

$$1\frac{g}{cm^3} = 1000\frac{kg}{m^3}$$

فشار (Pressure) :

فشار عبارت است از نیرویی که به طور عمود بر یکای سطح وارد می شود .

یکاهای فشار :

یکای فشار در SI نیوتون بر متر مربع $(\frac{N}{m^2})$ یا پاسکال (Pa) می باشد . از یکاهای دیگر فشار می توان از اتمسفر (atm) و سانتی متر جیوه (CmHg) نام برد .

نکته : بین یکاهای فشار روابط زیر برقرار است :

$$\begin{cases} 1atm = 10^5 pa \\ 10^5 pa = 76CmHg \end{cases}$$

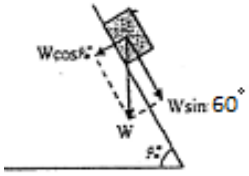
مثال : دو استوانه با سطح مقطع یکسان به چگالی های ρ , 2ρ و به طول های L , $2L$ به طور قائم بر روی سطح افقی قرار دارند . اگر فشار آنها به تکیه گاه به ترتیب P , P' باشد ، کدام رابطه درست است ؟

۱) $P = P'$ ۲) $P = ۲P'$ ۳) $P' = ۴P$ ۴) $P' = \frac{۱}{۴}P$

پاسخ : گزینه ۳

$$\frac{P'}{P} = \frac{W'}{W}.\frac{A}{A'} \Rightarrow \frac{P'}{P} = \frac{(۲\rho)A(۲L)}{\rho AL} \times \frac{A}{A} \Rightarrow \frac{P'}{P} = ۴ \Rightarrow P' = ۴P$$

مثال : مکعبی که هر ضلع آن ۱۰Cm و جرم آن ۵kg است روی سطح شیب داری به زاویه ی شیب ۶۰° قرار گرفته است . فشار وارد بر سطح شیب دار چند پاسکال است ؟



۱) ۲۵۰ ۲) ۲۵۰۰

۳) ۲۵ ۴) ۲/۵

پاسخ : گزینه ۲

$$P = \frac{F_n}{A} \Rightarrow P = \frac{W\cos ۶۰^\circ}{A} \Rightarrow P = \frac{۵\times ۱۰\times \frac{۱}{۲}}{(۰.۱)^۲} \Rightarrow P = \frac{۲۵}{۰.۰۱} = ۲۵۰۰Pa$$

اصل پاسکال :

فشار وارد بر یک مایع در حال تعادل ، بدون کاهش به تمام قسمت های مایع ، دیواره ها و کف ظرف منتقل می شود .