فصل دوم دینامیک و حرکت دایره‌ای

دینامیک: علمی است با در نظر گرفتن نیرو به بررسی حرکت می‌پردازد.

توصیف نیرو:

۱- عاملی است که باعث تغییر وضعیت حرکت جسم می‌شود یعنی وقتی به یک جسم نیرو وارد می‌شود سرعت و یا شکل جسم تغییر می‌کند.
۲- برهم کنش (تاثیر) دو جسم بر یکدیگر را نیرو نامند.
۳- در برهم کنش دو جسم حتماً نباید دو جسم با هم تماس داشته باشند بلکه در فاصله دور از هم نیز می‌توانند بر هم نیرو وارد کنند.
۴- برای یک جسم تنها، نیرو مفهومی ندارد.
۵- نیرو قابل ذخیره سازی نیست.

ویژگی های نیرو چیست؟ نیرو دارای اندازه و جهت است، بنابراین یک کمیت برداری است. برای اندازه‌گیری نیرو از یکی از اثرهای نیرو بر اجسام استفاده می‌شود. مثلاً نیرو می‌تواند فنری را فشرده‌کند. بزرگی نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. واحد نیرو در سیستم SI نیوتن N است. نیرو را با F نشان می‌دهند.

قانونهای حرکت (قوانین نیوتن): قانون‌هایی که رابطه‌ی میان نیرو و کمیت‌های مربوط به حرکت را بیان می‌کنند، قانونهای حرکت می‌نامند.

قانون اول نیوتن (قانون لختی): یک جسم حالت سکون و یا حرکت یکنواخت روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آنکه تحت تاثیر نیرویی مجبور به تغییر آن حالت شود.

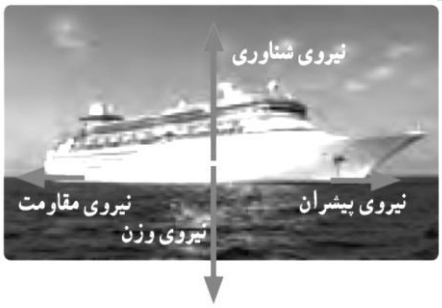
یا: هرگاه بر جسمی نیرو وارد نشود (یا برآیند نیروهای وارد بر آن صفر شود) جسم اگر ساکن باشد همچنان ساکن می‌ماند و اگر دارای حرکت باشد به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

لختی یا اینرسی: مقاومت اجسام درمقابل تغییرحرکت وسرعت را لختی یا اینرسی می‌نامند. این اصل مطابق با قانون اول نیوتن است. به همین علت قانون اول نیوتن درباره حرکت راقانون لختی نیز می‌نامند

یا: تمایل اجسام برای حفظ حالت سکون یا حرکت یکنواخت روی خط راست، را لختی می‌گوییم.

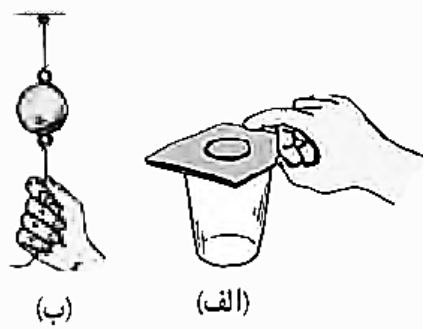
دستگاه مختصات لخت: دستگاهی است که قانون اول نیوتن نسبت به آن درست می‌باشد.

تمرین۱. در شکل روبه رو یک کشتی در حال حرکت را می‌بینید که نیروهای وارد بر آن متوازن‌اند. کدام نیروها اثر یکدیگر را خنثی کرده‌اند؟



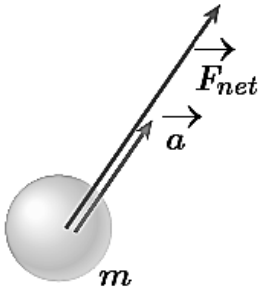
تمرین۲. در فیلمی علمی تخیلی، موتور یک کشتی فضایی که در فضای تهی خارج از جو زمین و دور از هر سیاره و خورشید در حرکت است، از کار می‌افتد. در نتیجه حرکت کشتی فضایی کُند می‌شود و می‌ایستد. آیا امکان وقوع چنین رویدادی وجود دارد؟ توضیح دهید.

تمرین۳. الف) چرا حرکت سریع مقوا در شکل الف، سبب افتادن سکه در لیوان می‌شود؟



ب) چرا در شکل ب، اگر به آرامی نیروی وارد بر گوی سنگین را زیاد کنیم نخ بالای گوی پاره می‌شود، اما اگر ناگهان نخ را بکشیم، نخ پایین آن پاره می‌شود؟

قانون دوم نیوتن: اگربه یک جسم نیروهایی وارد شود، شتابی می‌گیرد که با برایند نیروهای وارد بر جسم (نیروی خالص وارد بر جسم) نسبت مستقیم دارد و با آن هم جهت است وبا جرم جسم نسبت وارون دارد یعنی:



$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

F_{net} : نیروی خالص وارد بر جسم» واحد آن در سیستم SI ، kgm/s^2 که به آن نیوتن (N) می‌گویند.

m : جرم جسم » واحد آن در سیستم SI برحسب kg

a : شتاب جسم» واحد آن در سیستم SI برحسب m/s^2

تعریف نیوتن: یک نیوتن نیرویی است که اگر به جسمی به جرم یک کیلوگرم وارد شود، به آن شتابی برابر یک متر بر مجذور ثانیه بدهد.

❖ در رابطه F =ma، F برآیند نیروهای وارد بر جسم می‌باشد. شکل کلی‌تر قانون دوم به صورت زیر است.

$$\sum \vec{F} = \sum m\,\vec{a}$$

$\sum m$ مجموع جرمها و $\sum \vec{F}$ برآیند نیروها است.

❖می‌توانیم بردار نیرو را با استفاده از بردارهای یکه نشان دهیم، در این صورت خواهیم داشت:

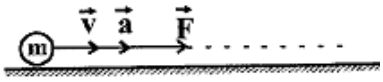
$$\vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j} \quad , \quad F_x = ma_x \quad , \quad F_y = ma_y$$

❖**توجه کنید که:**

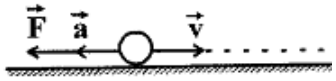
۱- بردار شتاب حرکت یک جسم همواره هم جهت با برآیند نیروهای وارد بر جسم است. ($\sum \vec{F} = m\vec{a}$) یا ($F_{net} = ma$)

۲- بردار تغییر سرعت یک جسم همواره در جهت شتاب حرکت و در نتیجه در جهت برآیند نیروهای وارد برجسم است. ($\vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$)

۳- سرعت یک جسم همواره برمسیر حرکت مماس است، اما نیروی وارد بریک جسم الزاما در امتداد مسیر حرکت و یا در امتداد حرکت آن نخواهد بود.

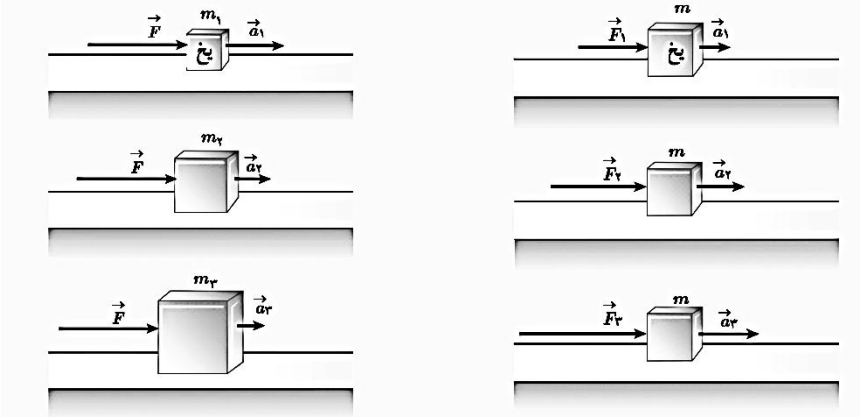


۴- در حرکت بر روی خط راست و تندشونده، برآیند نیروها، شتاب و بردار تغییر سرعت در امتداد مسیر ودر جهت حرکت حرکت هستند.



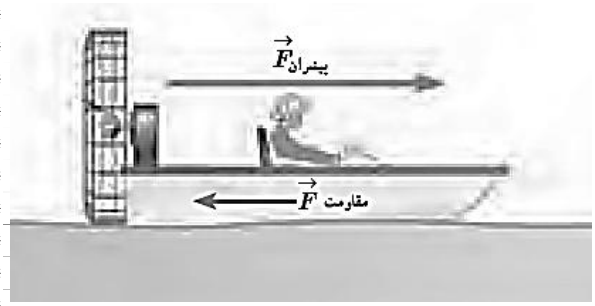
۵- در حرکت بر روی خط راست و کند شونده، برآیند نیروها، شتاب و بردار تغییر سرعت در امتداد مسیر اما در خلاف جهت حرکت هستند.

تمرین۴. در شکل‌های زیر، قطعه یخ‌ها روی یک سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارند. استنباط خود را از این شکل‌ها بیان کنید.



تمرین۵. نیروی موتور یک قایق موتوری که جرم آن با سرنشینش ۴۰۰kg است، به گونه‌ای تنظیم می‌شود که در بازهٔ زمانی معینی، همواره نیروی افقی خالص ۸۰۰N به طرف جلو بر قایق وارد می‌کند.

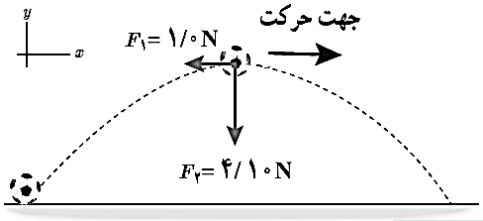
الف) شتاب این قایق چقدر و در چه جهتی است؟



ب) اگر نیروی پیشران در یک لحظه ۱۳۰۰N باشد، نیروی مقاومت در آن لحظه چقدر است؟

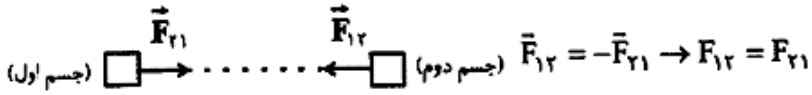
پ) چقدر طول می‌کشد تا سرعت قایق از حالت سکون به ۱۵m/s برسد؟ در این مدت قایق چقدر جابه جا می‌شود؟

تمرین۶. شکل روبه‌رو نیروهای وارد بر توپ فوتبالی به جرم ۴۲۰g را در بالاترین نقطهٔ مسیرش نشان می‌دهد که در آن F_1 نیروی مقاومت هوا و F_2 وزن توپ است. جهت و بزرگی شتاب توپ در این نقطه را تعیین کنید. از نیروهای دیگر وارد بر توپ صرف نظر می‌شود.



<u>قانون سوم نیوتن:</u> هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو واردکند، جسم دوم هم به جسم اول نیرویی هم اندازه‌ی آن ولی درخلاف جهت وارد می‌کند. نیرویی که جسم اول وارد می‌کند (کنش) و نیرویی که جسم دوم وارد می‌کند (واکنش) نامیده می‌شوند. این دو نیرو همواره هم اندازه هم راستا و در سوی مخالف یکدیگرند و هریک برجسم دیگروارد می‌شود.

یا: برای هر عملی, عکس العملی است مساوی با آن ولی در جهت مختلف



ویژگی نیروهای کنش و واکنش (نیروهای عمل و عکس العمل) چیست؟

۱) این دو نیرو همواره هم اندازه، هم راستا و در سوی مخالف یکدیگرند.

۲) این دو نیرو هم نوع‌اند به عنوان مثال یا هر دو گرانشی یا هر دو الکتریکی اند.

۳) نیروی کنش و واکنش به دو جسم وارد می شوند نیروی کنش را جسم اول به جسم دوم و نیروی واکنش را جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند و نیروی کنش و واکنش برآیند ندارند(برآیند دو نیرو را هنگامی محاسبه می‌کنیم که نیروها بر یک جسم وارد شوند نه دو جسم)

تمرین۷. شخصی در حال هل دادن جعبه‌ای سنگین روی سطح افقی است و این جعبه در جهت این نیرو حرکت می‌کند. با توجه به آنکه نیرویی که شخص به جعبه وارد می‌کند با نیرویی که جعبه به شخص وارد می‌کند هم اندازه است، توضیح دهید چگونه جعبه حرکت می‌کند؟

تمرین۸. دو شخص به جرم های ۷۵kg و ۵۰kg با کفش‌های چرخ‌دار در یک سالن مسطح و صاف روبه روی هم ایستاده‌اند. شخص اول با نیروی ۱۰۰N شخص دوم را به طرف راست هُل می‌دهد.

الف) شتابی که شخص دوم می‌گیرد چقدر است؟

ب) شتابی که شخص اول می‌گیرد چقدر است؟

تکلیف بخش اول (قانونهای نیوتن)

۱. در جای خالی کلمات مناسب بگذارید

A. وقتی جسمی را می‌کشیم یا آن را هل می‌دهیم، به آن..... وارد می‌کنیم.

B. ..... ، حاصل برهم کنش یا اثر متقابل دو جسم بر یکدیگر است.

C. معمولا برای سادگی فرض می‌شود که همهٔ جرم یک جسم در یک نقطه به نام ..... جسم متمرکز شده است و به جای آنکه نیرو به قسمتهای مختلف جسم وارد شود به این نقطه وارد می شود.

D. نیرو را به کمک ..... اندازه گیری می‌کنیم و یکای آن، ..... است.

E. اثر ..... بر یک جسم به صورت شروع به حرکت کردن، توقف، کم و زیاد شدن اندازهٔ سرعت (تندی)، تغییر جهت سرعت و تغییر شکل آن جسم، خود را نشان می دهد.

F. نیروی وارد بر یک جسم می‌تواند سبب ..... یا ..... آن شود.

G. یک جسم، حالت ..... یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگرآنکه نیروی خالص غیرصفری به آن وارد شود. این بیان قانون اول ..... نامیده می‌شود.

H. وقتی نیروهای وارد بر جسمی ..... باشند، اگر جسم ساکن باشد، همچنان ساکن باقی می‌ماند و اگر در حال حرکت باشد، سرعت جسم تغییر نمی‌کند و ثابت می‌ماند.

I. خاصیت اجسام که میل دارند وضعیت حرکت خود را هنگامی که نیروی خالص وارد بر آنها صفر است حفظ کنند، ..... گویند.

J. وقتی نیروی خالصی به جسمی وارد می‌شود، سرعت آن تغییر می‌کند و جسم تحت تأثیر آن نیرو، ..... در جهت ..... پیدا می‌کند.

K. قانون ..... بیان می‌کن که هرگاه بر جسم نیروی خالصی وارد شود، جسم تحت تأثیر آن نیرو شتاب می‌گیرد که این شتاب با نیروی خالص وارد بر جسم نسب ..... دارد و در همان جهت نیروی خالص است و با جرم جسم نسبت ..... دارد.

L. ..... برابر با مقدار نیروی خالصی است که به جسمی به جرم یک کیلوگرم، شتابی برابر یک متر بر مربع ثانیه می‌دهد.

M. نیروها همواره به صورت ..... وجود دارند. اگر یکی از این نیروها را ..... بنامیم، نیروی دیگر ..... نامیده می‌شود.

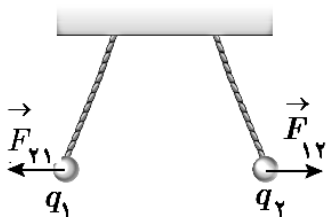
N. هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز به جسم اول نیرویی ..... و هم راستا اما در ..... وارد می‌کند.

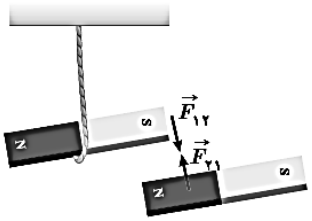
۲. وقتی در خودروی ساکنی نشسته‌اید و خودرو ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به صندلی فشرده می‌شوید. همچنین اگر در خودروی در حال حرکتی نشسته باشید، در توقف ناگهانی به جلوپرتاب می‌شوید.

الف)علت این پدیده‌ها را توضیح دهید.

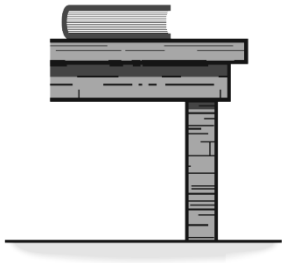
ب) نقش کمربند ایمنی وکیسهٔ هوا در کم شدن آسیب‌ها در تصادف‌ها را بیان کنید.

۳. استنباط خود را از این شکل‌های روبرو بیان کنید.





۴. در شکل روبرو نیروهایی را که کتاب به محیط اطرافش وارد می‌کند یا نیروهای کنش را رسم کرده و واکنش آنها را نیز مشخص کنید.



۵. سیبی را در نظر بگیرید که به شاخهٔ درختی آویزان است و سپس از درخت جدا می‌شود.
الف) با رسم شکل نیروهای وارد بر سیب را قبل و بعد ازجدا شدن از درخت نشان دهید.

ب) در هر حالت واکنش این نیروها بر چه اجسامی وارد می‌شود؟

۶. در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟
الف) خودرویی با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم افقی درحال حرکت است.

ب) کشتی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.

پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.

ت) چتربازی در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است.

ث) هواپیمایی در یک سطح پروازی افقی با سرعت ثابت در حال حرکت است.

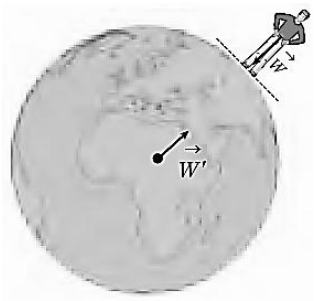
ج) توپی در راستای قائم به زمین برخورد می‌کند و بر می‌گردد.

۷. اتومبیلی به جرم ۲تن از حال سکون روی جاده‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند و بعد از پیمودن مسافت ۱۰۰m با شتاب ثابت، سرعتش به ۷۲km/h می‌رسد. برایند نیروهای وارد بر اتومبیل را در این حرکت محاسبه کنید.

۸. بر جسمی به جرم ۵ کیلوگرم دو نیروی عمود برهم ۶ و ۸ نیوتنی اثر می‌کند، شتاب حرکت چه مقدار می‌شود؟

۹. نیروی $\vec{F}=3\vec{i}+a\vec{j}$ به جسمی به جرم ۲kg شتاب ۲/۵ m/s^2 را میدهد. مقدار a را به دست آورید..

۲-۲ معرفی برخی از نیروهای خاص



۱) نیروی وزن: وزن یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که ازطرف زمین بر جسم وارد می‌شود.
اگر جرم جسم را با m شتاب گرانشی را با g و وزن را با W نشان دهیم، داریم:

$$\vec{w} = m\vec{g}$$

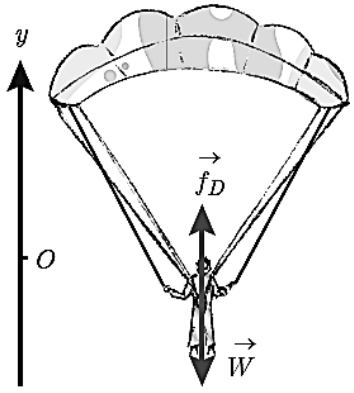
جهت وزن و در نتیجه شتاب گرانشی همواره به طرف زمین (مرکز زمین) است.
جرم یک جسم در مکان های مختلف ثابت است، اما وزن آن به مقدار g در آن مکان بستگی دارد.
شتاب جاذبه در سطح زمین تقریباً ۹/۸N/kg است.

تمرین۹. الف) وزن قطعه ای طلا به جرم ۱۰۰ گرم را روی سطح زمین به دست آورید.

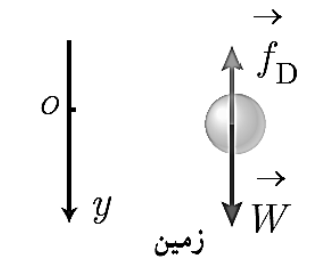
ب) وزن یک جسم در سطح یک سیاره برابر با نیروی گرانشی است که از طرف آن سیاره بر جسم وارد می‌شود. وزن این قطعه طلا را در سطح ماه و مریخ به‌دست آورید و با هم مقایسه کنید. g=۹/۸ N/kg زمین g=۱/۶N/kg ماه g=۳/۷N/kg مریخ

۲) نیروی مقاومت شاره: وقتی جسمی در یک شاره (مایع یا گاز) قرار دارد و نسبت به آن حرکت می‌کند از طرف شاره نیرویی در خلاف جهت حرکت جسم، به آن وارد می شود که به آن نیروی **مقاومت شاره** می‌گویند.

- ❖ نیروی مقاومت شاره به بزرگی جسم، تندی آن و ...بستگی دارد.
- ❖ هر چه تندی جسم بیشتر باشد، نیروی مقاومت شاره بیشتر خواهد شد.
- ❖ اگر جسم در هوا حرکت کند، به این نیرو، نیروی مقاومت هوا می گویند.



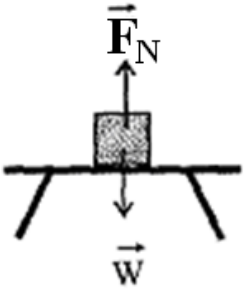
تمرین۱۰. چتربازی به جرم ۶۰kg مدتی پس از یک پرش آزاد، چترش را باز می‌کند. ناگهان نیروی مقاومت هوا به ۱۱۴۰N افزایش می‌یابد. شتاب چترباز را در این لحظه به دست آورید و حرکت آن را تحلیل کنید. برای سادگی g را ۱۰N/kg فرض کنید.



تمرین۱۱. دو گوی هم‌اندازه را که جرم یکی دو برابر دیگری است ($m_2=2m_1$) از بالای برجی به ارتفاع h به طور هم زمان رها می‌کنیم. با فرض اینکه نیروی مقاومت هوا در طی حرکت دو گوی ثابت و یکسان باشد، تندی برخورد کدام گوی با زمین بیشتر است؟

تمرین۱۲. اگر درتمرین بالا اگراز مقاومت هوا صرف نظر کنیم، سرعت برخورد گوی‌ها با زمین را با هم مقایسه کنید.

۳) نیروی عمودی سطح (نیروی عمودی تکیه‌گاه)



در نظر بگیرید جسمی مطابق شکل زیر بر روی سطح افقی میزی به حال سکون قرار دارد و زمین نیروی وزن $W=mg$ را به آن وارد می‌کند.

چون جسم ساکن است، شتاب حرکت آن برابر صفر است، ($a=0$) بنابراین طبق قانون دوم نیوتن برآیند نیروهای وارد بر جسم نیز برابر صفر خواهد شد ($F_{net}=ma=0$). پس باید نیرویی برابر وزن جسم اما در خلاف جهت به جسم وارد شود، تا با خنثی کردن نیروی وزن، مانع شتاب گرفتن جسم شود. با توجه به شکل مقابل این نیرو که توسط میز به جسم وارد می‌شود را « نیروی عمودی تکیه‌گاه» می‌نامیم و با N نشان می‌دهیم. بنابراین میتوان‌نوشت:

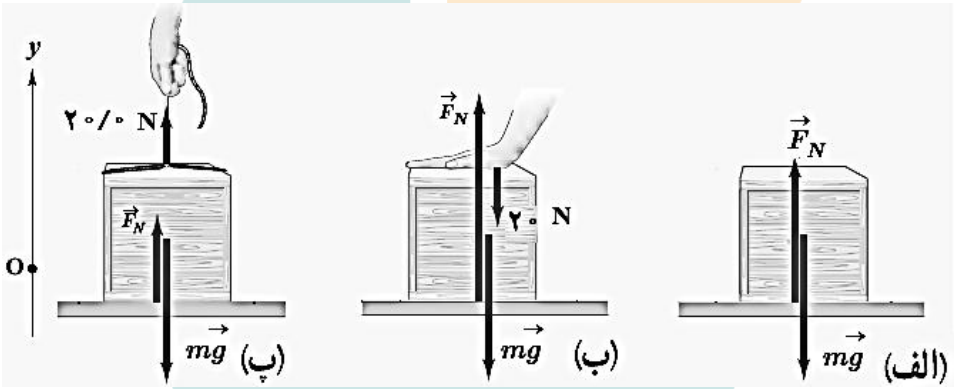
$$F_{net}=ma \rightarrow F_N-W=m\times 0 \rightarrow F_N-W=0 \rightarrow F_N=W$$

دو نیروی وزن (W) و عمودی تکیه‌گاه (F_N) اگرچه هم اندازه و در دو جهت مخالف‌اند ولی کنش و واکنش نیستند. زیرا نیروی کنش و واکنش به دو جسم وارد می‌شوند. در این‌جا W و F_N به یک جسم وارد شده‌اند.

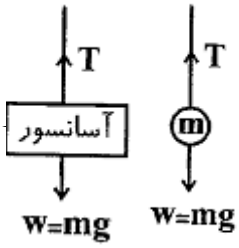
❖نیروی عمودی تکیه‌گاه همیشه با نیروی وزن برابر نیست و بستگی به نیروهای وارد بر جسم در راستای عمودی دارد.

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

تمرین۱۳. همانند شکل، جعبه ای به جرم ۴kg روی میزی افقی قرار دارد. نیروی عمودی سطح را در حالت‌های نشان داده شده به‌دست آورید.



حرکت جسم در راستای قائم (آسانسور)



هرگاه جسمی در راستای قائم تحت اثر دو نیروی کشش T و وزن W در حرکت باشد، با استفاده از قانون دوم نیوتن می‌توان شتاب آن را به دست آورد. اگر جهت حرکت را مثبت در نظر بگیریم می‌تولن نوشت:

الف) جسم رو به بالا حرکت می‌کند: $T-mg=ma \rightarrow T=m(g+a)$

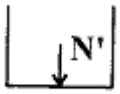
ب) جسم رو به پایین حرکت می‌کند: $mg-T=ma \rightarrow T=m(g-a)$

پ) در حال تعادل یا حرکت یکنواخت $T=mg$ است. ($F_{net}=0$ ، $a=0$)

❖در روابط بالا اگر حرکت تند شونده باشد $a>0$ و در صورت کند شونده بودن $a<0$ در نظر گرفته می‌شود.

وزن ظاهری درون آسانسور

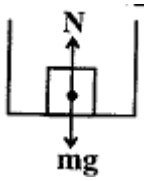
اگر شخصی به جرم m درون آسانسور قرار گیرد و یا بر روی باسکول (ترازوی فنری) بایستد (درون اسانسور) عددی که ترازوی فنری نشان می‌دهد هم اندازه با نیروی عمودی تکیه‌گاه است که آن را وزن ظاهری نیز می‌نامند.



❖وزن ظاهری با نیروی عمودی تکیه‌گاه، کنش و واکنش‌اند.

❖اندازه نیروی وزن ظاهری با نیروی عمودی تکیه‌گاه (N) برابر است.

برای محاسبه‌ی نیروی وزن ظاهری جسم درون آسانسور (W') باید نیرویی که جسم بر کف آسانسور وارد می‌کند(N) و هم اندازه با وزن ظاهری جسم است را محاسبه کنیم با توجه به جهت حرکت آسانسور می‌توان نوشت:



الف) آسانسور بالا می‌رود: $N-mg=ma \rightarrow N=m(g+a)$

ب) آسانسور پایین می‌رود: $mg-N=ma \rightarrow N=m(g-a)$

پ) آسانسور با سرعت ثابت(یکنواخت) یا آسانسور ساکن است $N=mg$

نیروهای در جهت حرکت را باعلامت مثبت و نیروهای در خلاف جهت حرکت را با علامت منفی می‌نویسیم.

شتاب را باعلامت مناسب در رابطه قرار می‌دهیم. (چون جهت حرکت را مثبت در نظر می‌گیریم علامت شتاب در حرکت شتابدار تندشونده، مثبت و در حرکت شتابدار کندشونده منفی است)

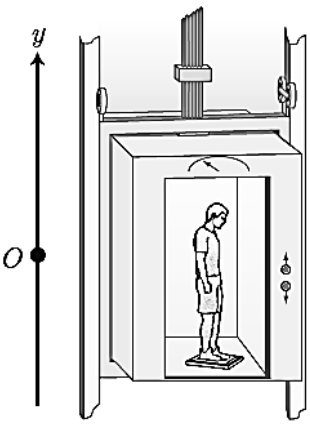
مقایسه‌ی وزن ظاهری و وزن حقیقی

۱. در حرکت شتابدار تندشونده رو به بالا و کند شونده رو به پایین، وزن ظاهری بزرگ‌تر از وزن حقیقی است.
۲. در حرکت شتابدار کندشونده رو به بالا و تند شونده رو به پایین وزن ظاهری کوچک‌تر از وزن حقیقی است.
۳. اگر سرعت ثابت باشد ($a=0$) وزن ظاهری برابر وزن حقیقی است.
۴. اگر جسم را به نیرو سنج (یا یک فنر) متصل و آن را از سقف آسانسور آویزان کنیم، با در نظر گرفتن جهت حرکت و نوع حرکت می‌توان نیروی کشسانی فنر را تعیین کرد.
۵. وزن ظاهری جسم‌هایی که سقوط آزاد می‌کنند برابر صفر است. زیرا شتاب حرکت آن‌ها برابر $a=g$ است.

$$mg - N = ma \rightarrow mg - N = mg \rightarrow N = 0$$

تمرین۱۴. شخصی درون آسانسوری ساکن، روی یک ترازوی فنری ایستاده است. در این حالت ترازو عدد ۶۰۰N را نشان می‌دهد.

الف) جرم شخص چند کیلوگرم است؟



ب) وقتی آسانسور شتاب رو به بالای $2m/s^2$ دارد، ترازو چه عددی را نشان می‌دهد؟

پ) وقتی آسانسورشتاب رو به پایین $2m/s^2$ دارد ترازو چه عددی را نشان می‌دهد؟

ت) اگر کابل آسانسور پاره شود و آسانسور سقوط آزاد کند، ترازو چه عددی را نشان می‌دهد؟ ($g=10m/s^2$)

تمرین۱۵. درتمرین قبل، در هر یک از حالتهای زیر، عددی را که ترازوی فنری نشان می‌دهد با وزن شخص مقایسه کنید.

الف) آسانسور به طرف بالا شروع به حرکت کند.

ب) آسانسور به طرف پایین شروع به حرکت کند.

پ) آسانسور در حالی که به طرف بالا حرکت می کند، متوقف شود.

ت) آسانسور در حالی که به طرف پایین حرکت می‌کند، متوقف شود.

۴) نیروی اصطکاک: وقتی تلاش می‌کنیم جسمی را روی سطحی به حرکت درآوریم، چه جسم حرکت کند و چه ساکن بماند، با مقاومتی روبه‌رو می‌شویم که به آن نیروی اصطکاک گویند. این نیرو در خلاف جهت حرکت بر جسم وارد می‌شود و از نیروهای الکترومغناطیسی بین اتم‌ها ناشی می‌شود. نیروی اصطکاک بین دو جسم به جنس سطح دو جسم، و زبری و نرمی آنها و ..... بستگی دارد.

دیدگاه میکروسکوپی: در واقع، نیروی اصطکاک و نیروی عمودی سطح، جمع برداری نیروهای بیشماری است که طبیعت الکتریکی دارند و بین اتمهای سطح یک جسم و اتمهای سطح جسم دیگر عمل می‌کنند. در سطح تماس دو جسم جوش خوردگی‌هایی به‌وجود می‌آید که عامل اصطکاک هستند. سطح میکروسکوپی تماس بین دو جسم بسیار کوچک‌تر از سطح ماکروسکوپی ظاهری تماس آنها است. (حدود 10^{4} بار کوچکتر.)

ویژگی های نیروی اصطکاک :

۱- نیروی اصطکاک همیشه به عنوان یک نیروی مقاوم در خلاف جهت حرکت ظاهر می‌شود و مقدار آن با واکنش عمود بر سطح نسبت مستقیم دارد.

۲- مقدار نیروی اصطکاک به اندازه سطح بستگی ندارد ولی به جنس سطح تماس بستگی دارد.

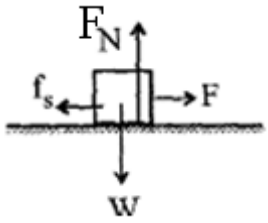
۳- هرچه سطح تماس صیقلی‌تر و صاف‌تر باشد مقدار نیروی اصطکاک کمتر خواهد بود.

نیروی اصطکاک بر دو نوع است:

۱- نیروی اصطکاک ایستایی: در این حالت جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد، کشیده شده اما ساکن می‌ماند.

۲- نیروی اصطکاک جنبشی (لغزشی): در این حالت جسم نسبت به سطحی که بر آن قرار دارد در حرکت است.

الف) نیروی اصطکاک ایستایی (f_s): نیروی که در سطح تماس از طرف تکیه‌گاه به جسم ساکن وارد می‌شود، نیروی اصطکاک ایستایی می‌نامیم.



$$F = ma \rightarrow F - f_s = m\times 0 = 0 \rightarrow f_s = F$$

❖نیروی اصطکاک ایستایی ثابت نیست و با افزایش نیروی F ، افزایش می‌یابد. مادامی که جسم ساکن است نیروی اصطکاک ایستایی با نیروی که در امتداد f_s است و تمایل دارد جسم را به حرکت درآورد برابر است. ($f_s = F$)

❖نیروی اصطکاک ایستایی دارای حداکثری است که با f_{smax} نشان می‌دهیم و به آن نیروی اصطکاک ایستایی در آستانه‌ی حرکت گفته می‌شود. اگر نیروی F بزرگتر از f_{smax} باشد جسم شروع به حرکت می‌کند.

اصطکاک ایستایی آستانه حرکت از رابطه روبرو به دست می آید. $f_{s,max} = \mu_s F_N$

F_N : نیروی عمود بر سطح است.

μ_s : ضریب اصطکاک ایستایی است و بستگی به جنس سطح تماس (زبری, صافی و ...) رطوبت محیط و ... دارد و چون یک مقدار ثابت است واحد ندارد.

نیروی اصطکاک جنبشی: وقتی جسمی روی سطحی می‌لغزد از طرف سطح بر جسم، نیروی اصطکاک جنبشی وارد می‌شود که موازی با سطح و در خلاف جهت لغزش جسم است. آزمایش نشان می دهد که اندازه نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازه نیروی عمودی سطح است.

$$f_k = \mu_k F_N$$

که در آن F_N نیروی عمودی سطح و μ_k ضریب اصطکاک جنبشی است. ضریب اصطکاک جنبشی مانند ضریب اصطکاک ایستایی به عامل هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آنها و ... بستگی دارد و بدون واحد است.

❖μ_s همواره از μ_k بزرگتر است لذا نیروی اصطکاک ایستایی از جنبشی بیشتر است. ($\mu_k < \mu_s$)

❖در حالت کلی نیروی اصطکاک ایستایی کوچکتر و یا مساوی $f_{s,max}$ است.

❖نیروی اصطکاک ایستایی بین صفر تا $f_{smax} = \mu_s F_N$ تغییر کند. یعنی: $0 \le f_s \le f_{smax} = \mu_s F_N$

❖رابطه‌ی $f_{smax} = \mu F_N$ فقط در حالتی به کار می رود که جسم در آستانه‌ی حرکت باشد.

❖در حل مسائل ابتدا از رابطه‌ی $f_{smax} = \mu F_N$ نیروی اصطکاک در آستانه‌ی حرکت را حساب نموده و با نیرویی که می‌خواهد جسم را به حرکت در آورد (F) مقایسه می‌کنیم و یکی از حالت های زیر اتفاق می‌افتد.

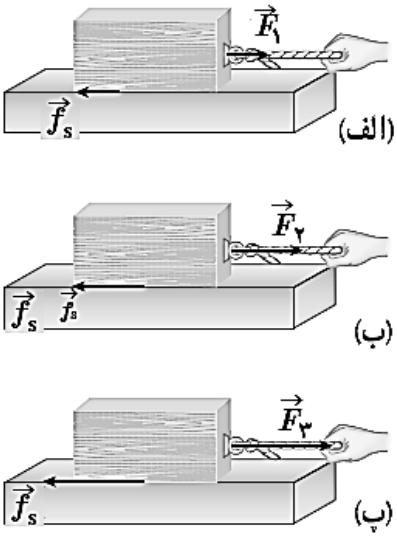
$F < f_{smax} \rightarrow a=0 \rightarrow f_s = F$
$F > f_{smax} \rightarrow f_k = \mu_k F_N$
$F = f_{smax} \rightarrow f_{smax} = \mu_s F_N$

❖شتاب حرکت اجسامی که در امتداد سطح افقی پرتاب می‌شوند به جرم آنها بستگی ندارد و از رابطه‌ی ($a = -\mu_k g$) قابل محاسبه است. بنابراین اگر چند جسم با جرمهای متفاوت را با سرعت اولیه‌ی یکسان V_o بر روی سطح افقی پرتاب کنیم مسافتی که جسم‌ها طی می‌کنند تا متوقف گردند با هم برابر است. زیرا شتاب حرکت، سرعت اولیه و سرعت پایانی ($V=0$) آن‌ها با هم برابر است، بنابراین با توجه به رابطه‌ی $V^2 - V_o^2 = 2a\Delta x$ مسافت توقف آن‌ها نیز با هم یکسان خواهد بود.

تمرین۱۶. الف) بر اساس قانون سوم نیوتون و آنچه از اصطکاک آموختید، توضیح دهید راه رفتن با شروع از حالت سکون چگونه انجام می‌شود؟

ب) چرا راه رفتن روی یک سطح سُر مانند سطح یخ به سختی ممکن است؟

تمرین۱۷. در شکل روبرو به جسمی به جرم ۴kg در دو حالت نیروی ۴ و ۸ نیوتن وارد شود و جسم همچنان ساکن بماند:



الف) بزرگی نیروهای اصطکاک ایستایی در هر حالت چقدر است؟

ب) اگر با نیروی ۱۶نیوتن جسم در آستانه‌ی حرکت قرار گیرد، ضریب اصطکاک ایستایی را پیدا کنید.

تمرین۱۸. آزمایشی طراحی کنید که نشان دهد $f_{s,max}$ متناسب با F_N است.

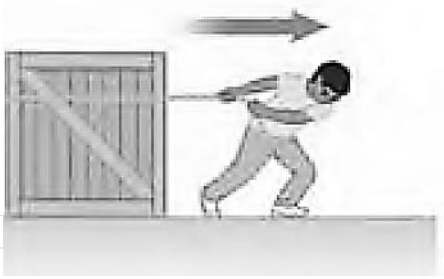
تمرین۱۹. آزمایشی طراحی کنید که با آن بتوانید:

الف) نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسمی مانند یک قطعه چوب در حال لغزش روی سطح را اندازه بگیرید و با استفاده از آن μ_k را به دست آورید.

ب) بستگی یا عدم بستگی نیروی اصطکاک جنبشی به مساحت سطح تماس دو جسم را تحقیق کنید.

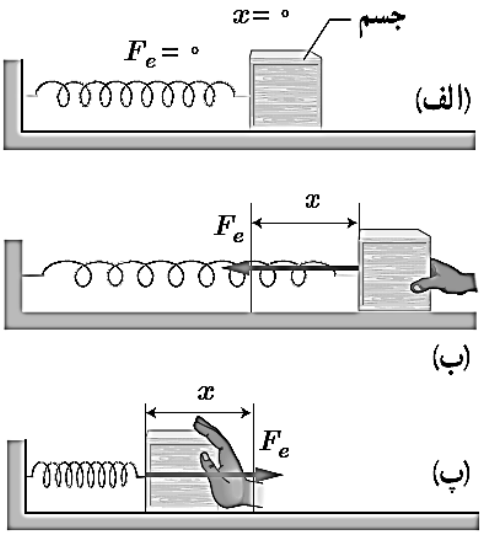
تمرین۲۰. شکل مقابل شخصی را نشان می‌دهد که در حال کشیدن یک جعبهٔ ۷۵kg کیلوگرمی با نیروی ۳۳۰N روی سطح افقی است. نیرویی که شخص به جعبه وارد می‌کند افقی و جعبه در حال حرکت است. اگر ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جعبه ۰/۴ باشد،

الف) نیروی اصطکاک جنبشی وارد به جعبه چقدر است؟



ب) شتاب جعبه در این حالت چقدر است؟ (g=۱۰N/kg)

تمرین۲۱. در مثال قبل اگر ضریب اصطکاک ایستایی بین جعبه و زمین ۰/۶ و جسم در ابتدا ساکن باشد، حداقل نیروی افقی لازم برای به حرکت درآوردن جعبه چقدر است؟

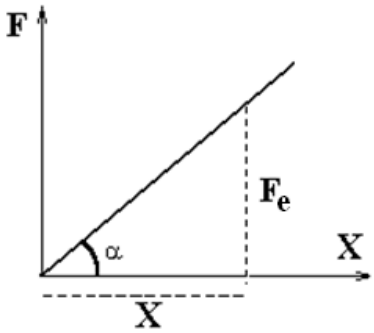


۵) نیروی کشسانی فنر: اگر مطابق شکل یک فنر را به یک نقطه محکم کرده و به سر دیگر آن نیروی کشش یا فشارنده‌ی F را وارد کنیم، فنر به اندازه‌ی x افزایش طول پیدا می‌کند. در این حالت بزرگی نیرو از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$F_e=k\Delta l$ $\quad\quad$ $\Delta l=l-l_o$

Δl تغییر طول فنر، l_o طول اولیه فنر، l طول فنر در اثر نیروی F است.

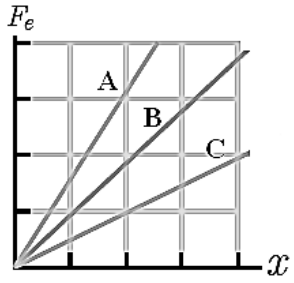
k ثابت فنر و از مشخصه‌های فنر است که ضریب سختی فنر نیز نامیده می‌شود. ثابت فنر به اندازه، شکل و ساختار ماده ای که فنر از آن ساخته شده بستگی دارد و واحد آن N/m است.



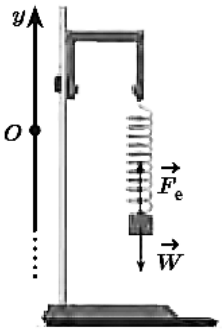
- رسم نمودار F برحسب: $x=l-l_0$
- شیب نمودار نیروی فنر برابر ثابت فنر است. یعنی: $\tan\alpha=\frac{F_e}{x} \Rightarrow \tan\alpha=k$
- هرچه ثابت فنر بیشتر باشد، شیب نمودار بیشتر و فنر سخت‌تر است.

نیروی کشسانی(قانون هوک): اگر فنری را تحت اثر نیروی کشش یا فشارنده‌ی F از حالت عادی خود خارج کنیم، فنر نیرویی در خلاف جهت تراکم یا کشیده شدن وارد می‌کند این نیرو را نیروی کشسانی یا نیروی بازگرداننده‌ی فنر می‌نامند. (نیرویF_e)

تمرین۲۲. با طراحی یک آزمایش، ثابت فنر را به دست آورید.



تمرین۲۳. نمودار نیروی کشسانی بر حسب تغییر طول برای سه فنر رسم شده است. ثابت این سه فنر را مقایسه کنید.



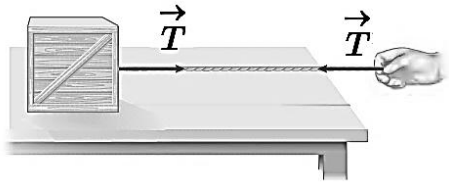
تمرین۲۴. فنری به طول $L_0=10cm$ را از یک نقطه آویزان می‌کنیم و به سر دیگر آن وزنهٔ ۲۰۰گرمی وصل می‌کنیم. پس از رسیدن به تعادل، طول فنر به $L=12cm$ می‌رسد.

الف) ثابت فنر چند نیوتون بر متر است؟

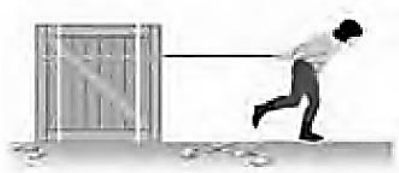
ب) اگر وزنه ای ۳۰۰ گرمی را به فنر وصل کنیم، پس از رسیدن به تعادل طول فنر چند سانتی متر می شود؟

تمرین۲۵. ثابت یک فنر $2000\ N/m$ و طول آن ۱۵ سانتیمتر است. فنر را از یک نقطه آویزان کرده و به انتهای آن وزنه‌ی ۵۰ نیوتنی می‌آویزیم. طول فنر چند سانتیمتر خواهد شد.

تمرین۲۶. به انتهای فنری یک بار وزنه‌ی ۲ نیوتنی و بار دیگر وزنه‌ی ۵ نیوتنی می‌آویزیم. اگر طول فنر در این دو حالت به ترتیب $24cm$ و $30cm$ باشد، ضریب سختی فنر و طول فنر در وضع تعادل را به دست آورید.



۶) نیروی کشش طناب: وقتی طناب متصل به جسمی را می کشیم، طناب جسم را با نیرویی می کشد که جهت آن از جسم به سمت بیرون و در راستای طناب است. چون در این حالت طناب تحت کشش قرار دارد، به این نیرو، نیروی کشش طناب گفته می‌شود.



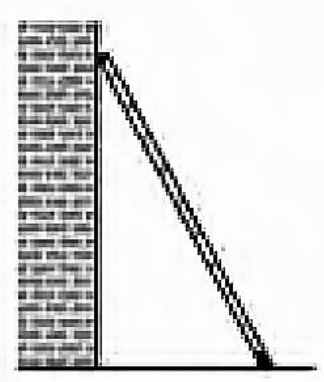
تمرین۲۷. در شکل روبه‌رو، کارگری جعبهٔ ساکنی را با طنابی افقی با نیروی ثابت افقی $310N$ می‌کشد. اگر جرم جعبه $100kg$ و ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی بین جعبه و سطح به ترتیب ۰/۳ و ۰/۲۵ باشد،$(g=10m/s^2)$

الف) آیا جعبه شروع به حرکت می‌کند؟

ب) اگر جعبه حرکت کند، شتاب حرکت آن را حساب کنید.

پ) سرعت جعبه را $6s$ پس از حرکت به دست آورید.

تمرین۲۸. کارگری یک سطل محتوی مصالح به جرم $16kg$را با طناب سبکی به طرف بالا می‌کشد. اگر شتاب رو به بالای سطل $1/2m/s^2$ باشد، نیروی کشش طناب چقدر است؟



تمرین۲۹. در شکل روبه رو نردبانی به جرم ۲۰kg به دیوار قائم بدون اصطکاکی تکیه داده شده است. ضریب اصطکاک ایستایی بین زمین و پای نردبان ۰/۵است. در آستانهٔ سُرخوردن نردبان،

الف) زمین به نردبان چه نیرویی وارد می کند؟

ب) چه نیرویی از دیوار به نردبان وارد می شود؟

چند نکته برای حل مسائل دینامیکی:

۱- ابتدا جسم را مشخص کرده و شکل ساده‌ای برای آن رسم می‌کنیم.

۲- نیروهایی که از طرف محیط به جسم وارد می‌شود مشخص (تعیین جهت و راستا) می‌کنیم. (دیاگرام آزاد)
(نیروها عبارتند از وزن، عکس العمل تکیه‌گاه، اصطکاک، کشش نخ، نیروی موتور و غیره ....)

۳- دستگاه مختصاتی مناسب مشخص می‌کنیم. (جهت حرکت یا میل به حرکت، جهت + یکی از محورها است.)

۴- نیروهایی که در راستای حرکت یا میل به حرکت (یا عمود بر آن) نیستند به نیروهای درراستای حرکت وعمود برآن تجزیه می‌کنیم

۵- با استفاده از قانون دوم نیوتن، شتاب حرکت یا مجهول دیگر مسأله را به دست می‌آوریم.

تکلیف بخش دوم (معرفی برخی نیروهای خاص)

۱۰. در جای خالی کلمات مناسب بگذارید.

A. ..... یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که ازطرف زمین بر جسم وارد می‌شود.

B. جهت وزن و در نتیجه شتاب گرانشی همواره به طرف ..... است.

C. جرم یک جسم در مکان های مختلف ..... است، اما وزن آن به مقدار..... در آن مکان بستگی دارد.

D. نیروی ..... به بزرگی جسم، تندی آن و ...بستگی دارد.

E. هر چه ..... جسم بیشتر باشد، نیروی مقاومت شاره بیشتر خواهد شد.

F. اگر جسم در هوا حرکت کند، به نیروی مقاومت شاره، نیروی ..... می گویند.

G. وقتی نیروی مقاومت هوا و وزن هم‌اندازه شده و نیروهای وارد بر یک چترباز متوازن شوند، جسم با ..... سقوط می‌کند.

H. نیروهای وارد بر جسم ..... ، متوازن‌اند.

I. نیروی ..... ناشی از تغییر شکل سطح تماس دو جسم است.

J. ..... نیرویی است که در خلاف جهت حرکت جسم بر جسم وارد می‌شود و به علت نیروهای ..... است که بین اتم‌ها و مولکول‌های اجسام وجود دارد.

K. سطح میکروسکوپی تماس بین دو جسم بسیار ..... از سطح ماکروسکوپی ظاهری تماس آنها است.

L. سطح میکروسکوپی تماس بین دو جسم حدود ..... کوچک‌تر از سطح ماکروسکوپی ظاهری تماس آنها است.

M. نیروی اصطکاک بین دو جسم به ..... و زبری و نرمی آنها و ..... بستگی دارد.

N. بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی با اندازهٔ نیروی ..... متناسب است.

O. ..... به عامل‌هایی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آنها و... بستگی دارد.

P. در حالت کلی نیروی ..... کوچکتر و یا مساوی $f_{s,max}$ است.

Q. نیروی اصطکاک عمدتاً به عنوان نیروی ..... شناخته می شود.

R. هر چه فنر را بیشتر بکشیم یا فشرده کنیم، ..... فنر نیز بیشتر می‌شود.

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

۱۱. دانش‌آموزی به جرم ۵۰kg روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده‌است. در هر یک از حالت های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟

الف) آسانسور ساکن است.

ب) آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند.

پ) آسانسور با شتاب $1/2\ m/s^2$ به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.

ت) آسانسور با شتاب $1/2\ m/s^2$ به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند.

۱۲. در شکل نشان داده شده، شخص با نیروی ۲۰۰N جسم ۹۰ کیلوگرمی را هُل می‌دهد، اما جسم ساکن می‌ماند. ولی وقتی با نیروی ۳۰۰N جسم را هُل می‌دهد، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد.

الف) نیروی اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح در هر حالت چقدر است؟

ب) ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح چقدر است؟

پ) اگر پس از حرکت، شخص با نیروی ۲۰۰N جسم را هُل دهد و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جسم ۰/۲۰ باشد، شتاب حرکت جسم چقدر خواهدشد؟

۱۳. در شکل روبه رو وقتی وزنهٔ ۴kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۴cm می‌شود، و وقتی وزنهٔ ۵kg را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر ۱۵cm می‌شود.

الف) ثابت فنر چقدر است؟

ب) طول عادی فنر (بدون وزنه) چند سانتی‌متر است؟

۱۴. رانندهٔ خودرویی که با سرعت ۷۵ km/h و جرم ۱۲۰۰کیلوگرم در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، با دیدن مانعی اقدام به ترمز می‌کند و خودرو پس از طی مسافت ۲۰m متوقف می‌شود.

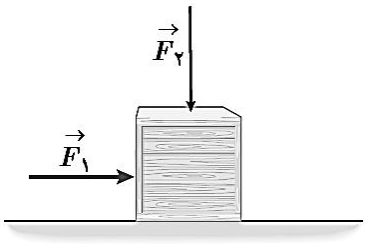
الف) شتاب خودرو در مدت ترمز چقدراست؟

ب) از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو، چقدر طول می‌کشد؟

پ) نیروی اصطکاک بین لاستیک ها و سطح چقدر است؟

۱۵. چتربازی از یک بالگرد تقریباً ساکن که در ارتفاع نسبتاً زیادی قرار دارد، به بیرون می‌پرد و پس از مدتی چتر خود را باز می‌کند و در امتداد قائم سقوط می‌کند. حرکت چترباز را از لحظهٔ پرش تا رسیدن به زمین تحلیل کنید و نموداری تقریبی از تندی آن بر حسب زمان رسم کنید.

۱۶. در شکل زیر، نیروی F_1 به بزرگی $20N$ بر جعبه وارد شده است، اما جعبه همچنان ساکن است. اگر در همین حالت بزرگی نیروی قائم F_2 که جعبه را به زمین می‌فشارد از صفر شروع به افزایش کند، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کنند؟



الف) اندازهٔ نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه

ب) اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه

پ) اندازهٔ بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی

ت) نیروی خالص وارد بر جسم

۱۷. می‌خواهیم به جسمی که جرم آن $5kg$ است، شتاب $2m/s^2$ بدهیم. در هر یک از حالت‌های زیر، نیرویی را که باید به جسم وارد کنیم محاسبه کنید.

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲۰ به طرف راست حرکت کند، و شتابش نیز به طرف راست باشد.

پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به حرکت کند.

ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به حرکت کند.

۱۸. قطعه چوبی را با سرعت افقی $10m/s$ روی سطحی افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین چوب و سطح ۰/۲ است.

الف) چوب پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟

ب) اگر از یک قطعه چوب دیگر استفاده کنیم که جرم آن دو برابرجرم قطعه چوب اول و ضریب اصطکاک جنبشی آن با سطح افقی با اولی یکسان باشد و با همان سرعت پرتاب شود، مسافت پیموده شدهٔ آن چند برابر می‌شود؟

۱۹. وزنه‌ای به جرم ۲kg را به انتهای فنری به طول ۱۲cm که ثابت آن ۲۰N/cm است می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت های زیر محاسبه کنید.

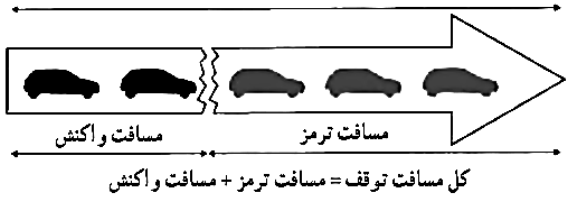
الف) آسانسور ساکن است.

ب) آسانسور با سرعت ثابت ۲m/s رو به پایین در حرکت است.

پ) آسانسور با شتاب ثابت ۲ m/s^2 از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.

ت) آسانسور با شتاب ثابت ۲ m/s^2 از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

۲۰. برای یک راننده دانستن مسافت توقف اتومبیل او اهمیت دارد. علائم بزرگراهی به ما می‌گوید که کل مسافت توقف، دو قسمت دارد (شکل زیر)



الف) دو عامل موثر در مسافت فکر کردن را نام ببرید.

ب) زمان واکنش راننده‌ای ۰/۶s است. در طی این زمان، اتومبیل ۱۸m طی می‌کند. با فرض ثابت بودن سرعت در این مدت، سرعت اتومبیل را حساب کنید.

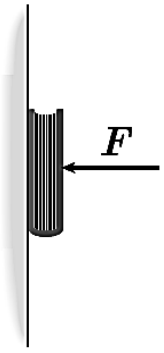
ت) اگر در این سرعت راننده ترمز کند و خودرو پس از ۵s متوقف شود، مسافت ترمز و شتاب خودرو را حساب کنید.

ت) وقتی خودرو ترمز می کند، نیروی خالص وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو را ۱۵۰۰kg فرض کنید.

۲۱. یک خودروی باری با طناب افقی محکمی، یک خودروی سواری به جرم ۱۵۰۰kg را می‌کشد. نیروی اصطکاک و مقاومت هوا در مقابل حرکت خودروی سواری ۲۲۰N و ۳۸۰N است.

الف) اگر سرعت خودرو ثابت باشد نیروی کشش طناب چقدراست؟

ب) اگر خودرو با شتاب ثابت ۲m/s^2 به طرف راست کشیده شود، نیروی کشش طناب چقدر است؟



۲۲. کتابی را مانند شکل با نیروی عمودی F به دیوار قائمی فشرده و ثابت نگه داشته‌ایم.

الف) نیروهای وارد بر کتاب را رسم کنید.

ب) اگر جرم کتاب ۲۵kg باشد، اندازهٔ نیروی اصطکاک را به دست آورید.

پ) اگر کتاب را بیشتر به دیوار بفشاریم، آیا نیروی اصطکاک تغییر می‌کند؟ با این کار چه نیروهایی افزایش می‌یابد؟

---

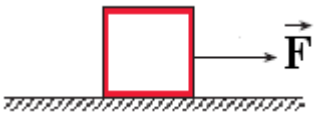
۲۳. با طنابی که می‌توان از جرم آن چشم پوشید، جسمی به جرم ۵kg را با شتاب $۶m/s^2$ در راستای قائم به طرف بالا می‌کشیم. نیروی کشش طناب چند نیوتن می‌شود؟ ($g=۱۰N/kg$)

۱) ۳۰ ۲) ۲۵ ۳) ۵۶ ۴) ۸۰

۲۴. شخصی به جرم ۷۰ کیلوگرم درون آسانسوری قرار دارد که با شتاب $۲m/s^2$ به طور تند شونده پایین می‌آید. وزن ظاهری شخص چند نیوتن است؟

۱) ۵۶۰ ۲) ۶۳۰ ۳) ۷۷۰ ۴) ۸۴۰

۲۵. جسمی به جرم 5kg روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد. به جسم نیروی افقی F را وارد می‌کنیم. الف) به ازای F= ۱۵N جسم ساکن می‌ماند. نیروی اصطکاک وارد بر آن چه‌قدر است؟ ب) به ازای F= ۲۰N جسم در آستانه‌ی حرکت قرار می‌گیرد و با ضربه‌ی افقی بسیار کوچکی شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸s مسافت ۳۲m را می‌پیماید. ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی را محاسبه کنید.



۲۶. جسمی به وزن ۱۰۰ نیوتن را روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۴ قرار داده و آن را با نیروی افقی ۲۵ نیوتن می‌کشیم. وقتی قادر به تکان دادن آن نیستیم، نیروی اصطکاک بر حسب نیوتن چه خواهد بود؟

۱) ۴ ۲)۲۵ ۳) ۴۰ ۴) نامشخص است.

۲۷. به جرم ۱۲۰۰kg با سرعت ۷۲km/h روی جاده‌ای افقی و مستقیم در حرکت است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و اتومبیل پس از پیمودن مسافت ۱۲۵m میایستد.

الف) شتاب حرکت اتومبیل پس از ترمز

ب) نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر اتومبیل را محاسبه کنید.

۲۸. جسمی به وزن ۵۰ نیوتن روی یک سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲ قرار دارد. اگر بر جسم نیروی افقی ۲۰ نیوتن اثر کند، شتاب این جسم چند متر بر ثانیه خواهد بود؟($g = ۱۰\frac{m}{s^۲}$)

۲۹. اتومبیلی به جرم ۹۰۰kg در جاده‌ای افقی و مستقیم شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸s به سرعت ۱۲m/s می‌رسد. الف) برایند نیروهای وارد ب اتومبیل ب) نیروی رو به جلو که به اتومبیل وارد می‌شود را در صورتی که نیروی اصطکاک جنبشی در مقابل حرکت اتومبیل ۴۵۰N باشد، محاسبه کنید.

۳۰. اتومبیلی در مسیرِ افقی با سرعتِ $۵۴\frac{km}{h}$ در حرکت است. راننده ترمز می‌کند. اگر ضریب اصطکاک بینِ جادّه و لاستیک۰/۲باشد، اتومبیل تقریباً پس از طیِ چند متر متوقّف می‌شود؟($g = 10\frac{m}{s^2}$).

۱)۵۶ ۲)۶۲ ۳)۱۱۲ ۴)جرمِ اتومبیل باید معیّن باشد.

۳۱. جسمی را با سرعت افقی ۱۰m/s روی سطح افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح برابر ۰/۲ است. الف) جسم پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟ ب) اگر جسم دیگری که جرم و سرعت آن به ترتیب دو برابر جرم و سرعت جسم اول است، روی همان سطح پرتاب شود، شتاب و مسافت پیموده شده آن چند برابر می‌شود؟

۳۲. جسمی به جرم M با سرعت اولیه‌ی V_o روی سطح افقی به حرکت درمی‌آید و پس از طی مسافتی در اثر نیروی اصطکاک متوقف می‌شود. اگر جرم جسم نصف شود و با همان سرعت روی همان سطح به حرکت درآید، مسافتی که طی می‌کند،

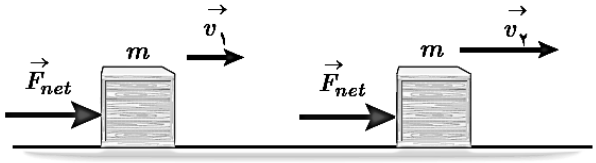
۱) نصف می‌شود. ۲) دو برابر می‌شود. ۳) تغییر نمی‌کند. ۴) چهار برابر می‌شود.

۳۳. مکعبی به جرم ۰/۲kg را روی سطح افقی که ضریب اصطکاک آن با جسم ۰/۴ است با سرعت ۶ m/s به حرکت در می‌آوریم. پس از طی مسافت چند متر سرعت جسم به ۴m/s می‌رسد؟ (g =۱۰N/kg)

۱) ۲/۵ ۲) ۱۲/۵ ۳) ۴ ۴) ۱۰

۲-۳ تکانه و قانون دوم نیوتون

قانون دوم نیوتون را می‌توان به صورت دیگری نیز نوشت که در بسیاری از موارد مناسب تر است. فرض کنید سرعت جسمی به جرم m تحت تأثیر نیروی خالص ثابت F_{net} در بازهٔ زمانی Δt از V_1 به V_2 برسد. در این صورت قانون دوم نیوتون به صورت $\vec{F}_{net} = m\vec{a} = m\frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t}$ درمی آید.



با فرض ثابت بودن جرم جسم (m) می توانیم جرم را در کنار سرعت (V) قرار دهیم $\vec{F}_{net} = \frac{\Delta(m\vec{V})}{\Delta t}$.

❖ **تکانه (اندازه حرکت):** حاصلِ ضربِ جرمِ جسم در سرعتِ آن، تکانه نام دارد و آن را با $\vec{p}$ نشان می‌دهیم، که کمّیتی برداری است. یکایِ تکانه در SI ، $N.s$ یا $\frac{kg.m}{s}$ است.

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

قانون دوم نیوتون برحسب تکانه برای نیروی ثابت به صورت روبرو است: $\vec{F}_{net} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$

یعنی نیروی خالص وارد بر جسم برابر با تغییر تکانهٔ جسم تقسیم بر زمان تغییر آن است. همچنین از این رابطه نتیجه می‌گیریم که تغییر تکانه برابر با حاصل ضرب نیرو در مدت زمان تأثیر آن است. $\Delta\vec{P} = \vec{F}_{net}\Delta t$

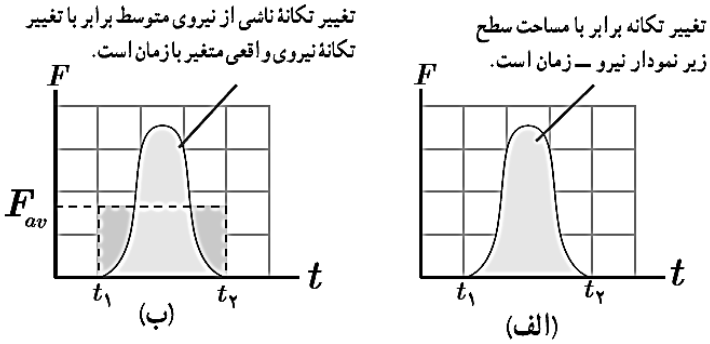
تمرین۳۰. انرژی جنبشی(k) جسمی به جرم m را بر حسب اندازه‌ی تکانه (P) بنویسید.

تمرین۳۱. گلوله ای به جرم ۱۰g با سرعت $\vec{V} = 5\vec{i}(\frac{m}{s})$ در حال حرکت است. الف) تکانهٔ گلوله را تعیین کنید. ب) انرژی جنبشی گلوله را به دست آورید.

برای بازهٔ زمانی بزرگ به جای نیروی خالص باید نیروی خالص متوسط در فاصلهٔ زمانی مورد نظر را به کار برد. یعنی: $\vec{F}_{av} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$

تغییر تکانهٔ یک جسم را می‌توان از سطح زیر نمودار نیرو زمان نیز به دست آورد. $\Delta\vec{P} = \vec{F}_{av}\Delta t$

مقدار نیروی F_{av} ضربدر Δt (برابر با مساحت مستطیل) برابر با مساحت سطح زیر منحنی شکل الف است.



تمرین۳۲. شکل روبه رو صحنه ای از یک آزمون تصادف را نشان می‌دهد که در آن خودرویی به جرم ۱۲۰۰kg به دیواری برخورد کرده و سپس برمی‌گردد. اگر تندی اولیه و نهایی خودرو به ترتیب ۵۴km/h و ۹km/h باشد و تصادف ۰/۱۵s طول بکشد،

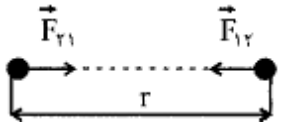
الف) تغییر تکانهٔ خودرو را پیدا کنید.

ب) اندازه و جهت نیروی متوسط وارد بر خودرو را تعیین کنید.

۲-۴ نیروی گرانشی

نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مربع فاصلهٔ آنها ازیکدیگر نسبت وارون دارد.

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$ (نیروی گرانشی بین دو ذره)



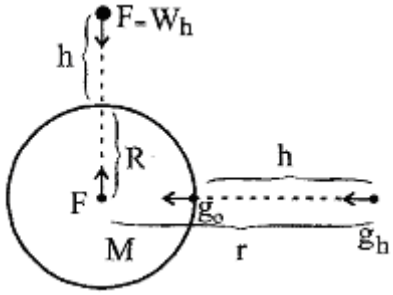
$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad \text{یا} \qquad F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

که در آن : m_1 : جرم جسم ۱ m_2 : جرم جسم ۲ r : فاصله بین دو جسم F : نیرو G : ثابت جهانی گرانش

❖ G ثابت جهانی گرانش است که مقدار آن $G = 6/67\times10^{-11}\frac{N\cdot m^2}{kg^2}$ است که مقداری بسیار کوچک می‌باشد. بنابراین نیروی گرانشی میان جسم‌های با جرم‌های کوچک قابل ملاحظه نیست.

❖ دو جرم همواره یکدیگر را می‌ربایند. به عبارت دیگر نیروی گرانشی از نوع رانشی(دافعه) نیست.

نیروی وزن و شتاب گرانش: نیروی گرانشی که از طرف یک سیاره مانند زمین یا ماه بر یک جسم وارد می‌شود، در واقع همان وزن جسم (W) است، بنابراین: (mجرم جسم و M جرم سیاره است.)



$$\begin{cases} F = W = mg \\ F = G\frac{mM}{r^2} \end{cases} \Rightarrow mg = G\frac{mM}{r^2} \Rightarrow g = G\frac{M}{r^2}$$

r فاصله‌ی جسم از مرکز سیاره است یعنی اگر R شعاع سیاره و h ارتفاع از سطح سیاره باشد، داریم:
r=R+h

❖ اگر شتاب گرانش را در نزدیک سطح زمین با g_o و در ارتفاع h از سطح زمین با g_h نشان دهیم، می‌توان نوشت:

$$\left.\begin{array}{l} g = G\frac{M}{r^2} \\ r_1 = R \\ r_2 = R+h \end{array}\right\} \quad \frac{g_2}{g_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{g_h}{g_o} = \left(\frac{R}{R+h}\right)^2$$

❖ چون جرم جسم ثابت است (W=mg) نسبت شتابهای گرانش برابر نسبت وزن جسم در دو محل است. (W_h وزن جسم در ارتفاع h)

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

❖ مقدار g در قطبین برابراست با ۹/۸۳ N/kg و در سطح استوا ۹/۷۸ N/kg می‌باشد و در مرکز زمین تقریباً برابر صفر است.

تمرین۳۳. مقدار g به چه عواملی بستگی دارد؟

تمرین۳۴. جرم کره‌ی زمین تقریبا ۸۰ برابر کره‌ی ماه و شتاب گرانش در سطح زمین تقریبا ۶ برابر شتاب گرانش در سطح ماه است. شعاع زمین تقریبا چند برابر شعاع ماه است؟

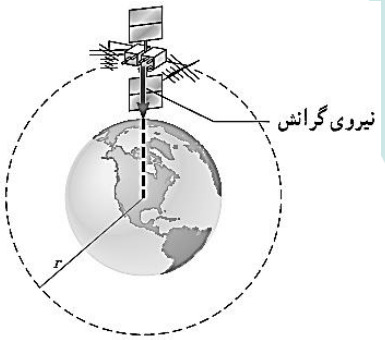
تمرین۳۵. در چه ارتفاعی از سطح زمین شتاب گرانش $\frac{۱}{۱۶}$ مقدار آن در سطح زمین خواهد شد؟

تمرین۳۶. جرم زمین و ماه به ترتیب حدود $۶\times۱۰^{۲۴}\ kg$ و $۷\times۱۰^{۲۲}\ kg$ و فاصلهٔ متوسط آنها از یکدیگر حدود $۴\times۱۰^{۸}\ m$ است. نیروی گرانشی را که زمین و ماه به یکدیگر وارد می‌کنند پیدا کنید $G = ۷\times۱۰^{-۱۱}\frac{N\cdot m^۲}{kg^۲}$.

تمرین۳۷. دو کرهٔ همگن به جرم های $۱۰۰۰\ kg$ و $۵۰۰۰kg$ را در نظر بگیرید که فاصلهٔ مرکز آنها از یکدیگر $۱m$ است. نیروی گرانشی را که این دو کره بر یکدیگر وارد می‌کنند محاسبه کنید. $G = ۷\times۱۰^{-۱۱}\frac{N\cdot m^۲}{kg^۲}$

تمرین۳۸. ماهواره‌ها در اثر نیروی گرانشی بین زمین و ماهواره، روی مدار تقریباً دایره ای به دور زمین می‌چرخند. اگر جرم ماهواره $۲۰۰kg$ و فاصلهٔ آن از سطح زمین $۲۶۰۰km$ باشد: ($M_e=۶\times۱۰^{۲۴}\ kg$ ، $R_e=۶۴۰۰km$ و $G=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\ Nm^۲/kg^۲$)

الف) نیروی گرانشی بین ماهواره و زمین چقدر است؟



ب) نمودار نیروی گرانشی وارد بریک ماهواره را بر حسب فاصلهٔ آن از مرکز زمین رسم کنید.

تمرین۳۹. ماهواره‌ای مخابراتی در ارتفاع ۳۵۶۰۰ کیلومتری سطح زمین به دور زمین می‌چرخد. شتاب گرانشی در این ارتفاع چقدر است؟ ($M_e=۶\times۱۰^{۲۴}\ kg$ ، $R_e=۶۴۰۰km$)

تمرین۴۰. نشان دهید شتاب گرانشی روی زمین برابر است با: $g = G\frac{M_e}{R_e^2}$

تمرین۴۱. تلسکوپ فضایی هابل در ارتفاع تقریبی ۶۰۰ کیلومتری از سطح زمین به دور زمین می چرخد.

الف) شتاب گرانشی در این فاصله چقدر است؟

ب) وزن این تلسکوپ در این ارتفاع چند برابر وزن آن روی زمین است؟

تکلیف بخش سوم (تکانه و قانون دوم نیوتن)

۳۴. در جای خالی کلمات مناسب بگذارید.

A. حاصل ضرب جرم جسم در سرعت آن ..... جسم نامیده می شود.

B. تکانه کمیتی ..... است. جهت تکانه همان جهت ..... است.

C. ..... وارد بر جسم برابر با تغییر تکانهٔ جسم تقسیم بر زمان تغییر آن است.

D. ..... برابر با حاصل ضرب نیرو در مدت زمان تأثیر آن است.

E. تغییر تکانه برابر با مساحت سطح زیر نمودار..... است.

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

G. منشأ نیرویی که سبب چرخش ماه به دور زمین می شود ..... است.

H. براساس قانون‌های نیوتون باید نیروی خالصی بر ماه وارد شود. اگر چنین نبود، ماه به جای مدار تقریباً دایره‌ای به گرد زمین، باید روی خط راست حرکت می‌کرد.

I. اگر بر ماه نیرویی وارد نشود ماه باید به طور مستقیم حرکت کند نه به صورت دایره‌ای

J. نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل ضرب جرم دو ذره نسبت ..... و با مربع فاصلهٔ آنها ازیکدیگر نسبت ..... دارد.

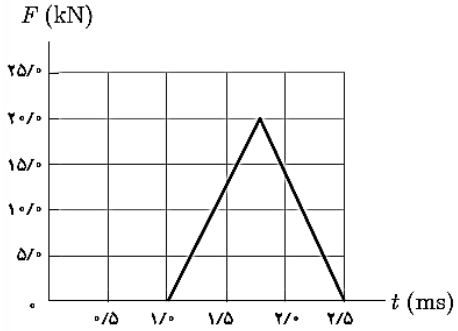
K. نیروی گرانشی بین دو ذره ..... است و در امتداد ..... دو ذره وارد می شود.

۳۵. توپی به جرم ۲۸۰g با تندی ۱۵m/s به طور افقی به بازیکنی نزدیک می‌شود. بازیکن با مشت به توپ ضربه می‌زند و باعث می‌شود توپ با تندی ۲۲m/s در جهت مخالف برگردد.

الف) اندازهٔ تغییر تکانهٔ توپ را محاسبه کنید.

ب) اگر مشت بازیکن **۰/۰۶۰۰** با توپ در تماس باشد، اندازهٔ نیروی متوسط وارد بر مشت بازیکن از طرف توپ را به دست آورید.

۳۶. شکل زیر، منحنی نیروی خالص برحسب زمان را برای توپ بیسبالی که با چوب بیسبال به آن ضربه زده شده است، نشان می‌دهد. تغییر تکانهٔ توپ و نیروی خالص متوسط وارد بر آن را به دست آورید.



۲-۴ نیروی گرانشی

۳۷. دو جسم در فاصلهٔ ۲۰m از هم، یکدیگر را با نیروی گرانشی کوچک 1×10^{-8} N ، جذب می‌کنند. اگر جرم یکی از اجسام ۵۰kg باشد، جرم جسم دیگر چقدر است؟

۳۸. ماهواره‌ای به جرم ۶۰۰kg در مداری دایره‌ای به ارتفاع ۲۸۰۰km کیلومتر از سطح زمین، به دور آن می‌چرخد. ($M_e= 5/98\times10^{24}$ kg ، $R_e=6400$km و $G=6/67\times10^{-11}$ Nm^2/kg^2)

الف) نیروی گرانشی وارد بر ماهواره

ب) شتاب ماهواره

پ) تندی ماهواره

۳۹. الف) در چه ارتفاعی از سطح زمین، وزن یک شخص به نصف مقدار خود در سطح زمین می‌رسد؟

ب) اگر جرم ماهواره‌ای ۲۵۰kg باشد، وزن آن در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین چقدر خواهد شد؟

$M_{ماه}= 7/36\times10^{22}$ kg و $M_{خورشید}= 1/99\times10^{30}$ kg ، فاصله زمین تا خورشید، $149/6\times10^{6}$ km = فاصله زمین تا ماه $3/84\times10^{5}$ km=

۴۰. الف) شتاب گرانشی ناشی از خورشید در سطح زمین چقدراست؟

ب) شتاب گرانشی ناشی از ماه در سطح زمین چقدر است؟

۴۱. الف) سفینه ای به جرم $3/00\times10^{4}$kg در وسط فاصلهٔ بین زمین و ماه قرار دارد. نیروی گرانشی خالصی را که از طرف زمین و ماه به این سفینه در این مکان وارد می‌شود به دست آورید (از داده های مسئله‌های قبل استفاده کنید).

ب) در چه فاصله‌ای از زمین، نیروی گرانشی ماه و زمین برسفینه، یکدیگر را خنثی می‌کنند؟