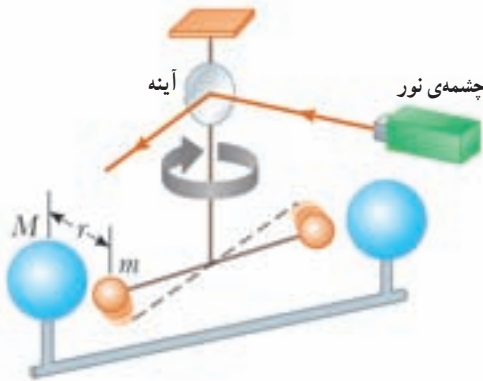


فعالیت ۳-۷

ثابت جهانی G نخستین بار توسط هانری کاوندیش دانشمند انگلیسی با یک آزمایش بسیار دقیق به دست آمد
طرح واره‌ای از تجربه کاوندیش را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۳۴- طرح واره‌ای از آزمایش کاوندیش

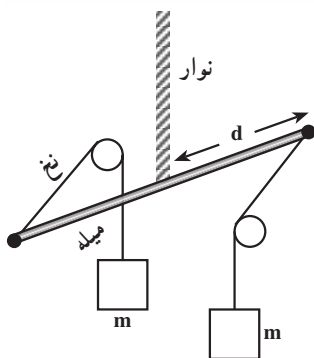
کاوندیش (۱۸۱۰-۱۷۳۱) در سال ۱۷۹۸ با استفاده از ابزاری به نام ترازوی بیچشی کاوندیش توانست به دقت ثابت جهانی را اندازه‌گیری کند. وی مقدار G را $۶/۷ \times ۱۰^{-۱۱} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ به دست آورد که با مقدار پذیرفته شده‌ی امروزی $۶/۶۷۳ \times ۱۰^{-۱۱} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ تفاوت چندانی ندارد. این امر مهارت چشم‌گیر کاوندیش را در انجام آزمایش نشان می‌دهد.

همان‌طوری که در طرح واره نشان داده شده است

نوار انعطاف‌پذیر و درازی از سقف آویزان است. (سقف آزمایشگاه کاوندیش بسیار بلند بود) یک میله‌ی افقی که به دو انتهای آن دو گوی فلزی نصب شده به انتهای نوار آویزان است. به این نوار یک آینه‌ی کوچک چسبیده است و یک باریکه‌ی نور به آینه می‌تابد و بازتاب آن روی یک نقاله می‌افتد (شکل ۳-۳۴).

با قراردادن دو گوی فلزی بزرگ و سنگین (سربی) در فاصله‌ای معین و مساوی از هر کدام از دو گوی کوچک، بین گوی‌های فلزی بزرگ و کوچک نیروی گرانشی پدید می‌آید و باعث چرخش (بسیار بسیار اندک) نوار می‌شود. با اندازه‌گیری میزان چرخش نوار θ (انحراف پرتوی بازتاب 2θ است) و فاصله بین کره بزرگ و کوچک می‌توان G را به دست آورد.

دانستنی



شکل ۳-۳۵

کاوندیش قبلاً ضریب بیچش نوار را با اعمال یک گشتاور موازی محور نوار به دست آورد. فرض کنید مطابق شکل با اعمال یک جفت نیرو نوار را به اندازه α بچرخاند. گشتاور اعمال شده جهت چرخش نوار mgd خواهد بود. بنابراین گشتاور لازم جهت چرخش نوار به اندازه‌ی ۱ رادیان برابر خواهد بود با:

$$\frac{mgd}{\alpha}$$

اگر میزان چرخش نوار در آزمایش کاوندیش θ باشد، آن‌گاه گشتاور اعمال شده

$$\frac{2mgd\theta}{\alpha}$$

برابر خواهد بود با:

چنان چه فاصله‌ی مرکز کره بزرگ از کره کوچک r باشد آن‌گاه:

$$F.r = \frac{2mgd\theta}{\alpha}$$

به این ترتیب با داشتن M ، F ، m جرم گلوله بزرگ، m جرم گلوله کوچک و r فاصله مرکزهای دو گلوله بزرگ و کوچک، G به دست می‌آید.
در آزمایش کاوندیش وقتی دو گلوله فلزی کوچک و بزرگ برهم مماس شده بودند نیروی گرانشی برابر 1.67×10^{-6} N شده بود.

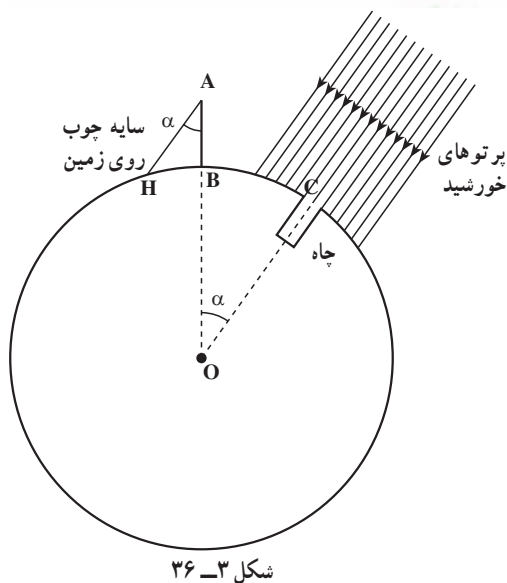
در قسمت دوم فعالیت ۳-۷ مانند قسمت اول هدف، توجه به وسیله دانشمندان با ابزار ساده به شیوه‌های جالب و شگفت‌آور به تاریخ علم است. بسیاری از یافته‌های علمی در زمان‌های گذشته به دست آمده است.

دانستنی



روش کار اراتوستن در محاسبه‌ی شعاع زمین

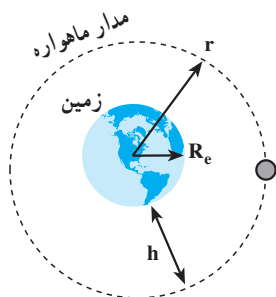
اراتوستن در حدود سه قرن قبل از میلاد با روشی بسیار ساده و تقریبی زیبا توانست محیط زمین را محاسبه کند. وی این کار را با اندازه‌گیری طول سایه‌ی یک برج در اسکندریه، هم‌زمان با تابش عمودی پرتوی خورشید در شهر سوئنه (Syene) انجام داد. در این شهر چاهی عمیق وجود داشت که تصویر خورشید در هنگام ظهر روز اول تابستان درست در آن می‌افتاد. وی گروهی را مأمور کرد تا فاصله‌ی این دو شهر را اندازه‌گیری کنند. در شکل ۳-۳۶ روش کار او نشان داده شده است. در زمانی معین از روز پرتوی خورشید بدون برخورد به دیواره‌ی چاه به کف آن برخورد می‌کرد. درست در این زمان سایه برج در اسکندریه اندازه‌گیری شد.



$$\tan \alpha = \frac{\text{طول سایه برج}}{\text{ارتفاع برج}} = \frac{HB}{AB}$$

با توجه به شکل داریم.

از این جا زاویه‌ی α به دست آمد (مقدار α حدود $7^\circ, 12'$ بود) سپس با داشتن زاویه‌ی مرکزی و فاصله دو شهر (BC)، شعاع زمین محاسبه شد. (زاویه‌ی مرکزی) $\alpha \times R_e$ (شعاع زمین) $BC = R_e$ فاصله‌ی دو شهر اراتوستن محیط زمین را حدود 250000 استادیوم اندازه‌گیری کرد. استادیوم یکای طول در یونان باستان بود هر استادیوم در حدود 160 m است.



فاصله ۳-۳۷

می دانیم ماهواره‌ها به دور زمین تقریباً در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کنند اندازه‌ی سرعت هر ماهواره و شعاع گردش آن به دور زمین ثابت می‌ماند. مدتی که ماهواره یک دور کامل می‌زند دوره نامیده می‌شود که با نماد T نمایش می‌دهند. با استفاده از حرکت ماهواره روشی را برای به دست آوردن شعاع پیشنهاد کنید.

پاسخ: سرعت ماهواره و نیز دوره‌ی گردش آن معلوم است. بنابراین، طول مسیری که در یک دور طی می‌کند، محیط دایره‌ای است که از حاصل ضرب سرعت ماهواره در دوره‌ی آن به دست می‌آید.

$$2\pi r = vT = \text{طول مسیری که در هر دور طی می‌شود}$$

$$r = \frac{v \times T}{2\pi}$$

r فاصله ماهواره از مرکز زمین است. فاصله‌ی ماهواره از سطح زمین را می‌توان با روشی مشابه آن چه در تمرین ۷ صفحه‌ی ۲۹ (استفاده از موج فراصوت) به دست آورد بدین ترتیب مطابق شکل خواهیم داشت:

$$R_e = (r - h)$$

تمرین ۳ - ۳

هدف: معرفی روش‌هایی ساده (بهره‌گیری از قانون‌های نیرو) جهت به دست آوردن کمیت‌هایی که وسیله‌ی اندازه‌گیری برای آن‌ها در دسترس نیست.

$$g = G \frac{M_e}{R_e^2} \Rightarrow M_e = \frac{gR_e^2}{G} = \frac{9.8 \times (6.4 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11}} = 6.016 \times 10^{24} \text{ kg}$$

پاسخ:

دانستنی

شدت میدان گرانشی

قانون گرانش عمومی بیان می‌کند که جسمی که در فاصله‌ای از جسم دیگر قرار گرفته باشد، نیرو وارد می‌شود.

$$\vec{W} = -m \frac{G}{r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$$

این نیرو از رابطه‌ی $\vec{W} = -m \frac{G}{r^2} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$ به دست می‌آید. (بردار $\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$ برداری که در جهت بردار \vec{r} است.)

این میدان یک نیروی مرکزی به وجود می‌آورد که با فاصله نسبت وارون دارد و سبب می‌شود که به هر جسمی که در اطراف ستاره یا سیاره‌ای واقع باشد، نیرو وارد کند. این نیرو را وزن می‌نامیم. توجه به چند نکته اهمیت دارد:

۱- در هر نقطه شدت میدان گرانشی مقدار معینی است. ولی وزن جسم‌های مختلفی که در آن نقطه واقع می‌شوند، متفاوت است (چرا؟) چون هر جسم دارای مشخصه‌ی ویژه خود است که واکنش آن را به میدان گرانشی نشان می‌دهد. این مشخصه است که آن را «جرم گرانشی» می‌نامیم. جرم هر جسم در تمام عالم و در هر آزمون گرانشی

مقدار ثابتی است.

۲- در قانون دوّم نیوتون مفهوم جرم به صورت: $m = \frac{F}{a}$ مطرح می‌شود اما این موضوع که دو معنای جرم

(جرم گرانشی و جرم لختی) با هم چه ارتباطی دارند، موضوع بسیار پراهمیتی است.

۳- فاصله‌ی جسم‌ها بر روی سطح زمین از مرکز گرانی زمین (مرکز میدان گرانشی) بسیار زیاد است (حدود $10^6 m$) و جابه‌جایی‌های معمولی روی کره زمین نسبت به فاصله‌ی جسم‌ها از مرکز زمین ناچیز است. از این رو،

در کارهای روزانه، در عمق و در ارتفاع در دسترس ما، این کمیت مقداری ثابت است $(|g| = 9.8 m/s^2)$ و نیز چون سطح بسیار وسیعی از کره زمین را می‌توان با دقت بسیار، تخت در نظر گرفت، بردارها $\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}$ را با دقت خوب هم‌ارز می‌گیریم. به این ترتیب بردار شدت میدان گرانشی در نزدیک زمین، یک نواخت و پایین سواست.

۴- روشن است که وقتی $W = m_g \cdot g$ (جرم گرانشی) به جسمی وارد می‌شود، به آن جسم شتابی برابر $\vec{a} = \frac{\vec{W}}{m_i}$ می‌دهد (m_i جرم لختی) نسبت بین شدت میدان گرانشی و شتاب جسم در این میدان، بستگی به جرم گرانشی و جرم لختی دارد.

آزمایش‌های بسیار نشانگر این واقعیت است که $\frac{m_i}{m_g}$ برای همه‌ی جسم‌ها با دقت بسیار زیاد برابر ۱ است.

معرفی بیش‌تر جرم گرانشی و جرم لختی: دینامیک نیوتونی مجموعه‌ی اصولی است که به کمک آن‌ها می‌توان حرکت جسم‌های مادی را در یک مسیر معین بررسی کرد. این اصول، رابطه‌ای ریاضی بین عامل خارجی که سبب نوع خاصی از حرکت می‌شود و مشخصه‌ای از جسم که به این عامل‌های مؤثر واکنش نشان می‌دهد، تعریف می‌کند.

نیوتون این عامل مؤثر را نیرو نامید و واکنش اجسام به نیرو را که ناشی از ویژگی عام و انحصاری اجسام است؛ با معیار میزان تأثیر نیرو سنجید و آن را «اینرسی» نامید، اینرسی را لختی ترجمه کرده‌ایم با معنایی نزدیک به کاهلی (تنبلی) یا مقاومت اجسام در برابر تغییر وضعیت.

شتاب تعیین‌کننده‌ی نوع حرکت جسم و متأثر از نیروی وارد بر جسم است. نسبت نیرو به شتاب را «لختی» تعریف می‌کنیم. به این ترتیب جرم هر جسم را برحسب تعریف، استاندارد معینی از لختی (بنا بر سابقه‌ی تاریخی) بیان می‌شود.

این جرم براساس مفاهیم دینامیکی تعریف شده است. اما از همان ابتدا مفهوم لختی با چالشی بنیادی رو به‌رو شد. وقتی نظریه‌ی تأثیر متقابل اجسام و قانون گرانش عمومی تدوین شد، با مفهوم میدان مواجه شدیم. میدان به جسم‌های مادی نیرو وارد می‌کند. چه مشخصه‌ای از جسم مادی موجب می‌شود که جسم تحت تأثیر میدان گرانشی قرار گیرد؟

نیروی گرانی وزن را مشخص می‌کند. در هر نقطه اگر جرمی موجود نباشد، در آن نقطه نیروی وزنی وجود ندارد. اما آیا این جرم همان جرم دینامیکی است؟ این پرسش از زمان نیوتون تا امروز ذهن فیزیکدانان را مشغول کرده است. نیوتون این مشخصه را جرم گرانشی نامید و تلاش کرد آزمایشی طراحی کند تا بتواند تفاوت یا یکسان بودن این دو معنای جرم را بیازماید.

حاصل تجربه‌های نیوتون نشان داد نسبت این دو جرم مقدار ثابتی است. بعدها کاوندیش با دقت بیش‌تر، این آزمون را تکرار کرد و نتیجه‌ی نیوتون را به‌دست آورد.

در اواخر قرن نوزدهم اوتوش (ÖtVÖS) اهل مجارستان نشان داد $\frac{m_i}{m_g}$ با وقت 10^{-7} نسبت ثابتی است. بالاخره بحث اساسی در مورد این مفهوم را انیشتن مطرح کرد و به آن پاسخ داد. نظریه‌ی نسبیت عام تعبیر دینامیکی گرانش است. اساس آن یکی بودن جرم گرانشی و جرم لختی است.

دانستنی

تغییر g

برای سادگی زمین را کره‌ای یکنواخت به جرم M در نظر می‌گیریم. آن‌گاه درک بزرگی نیروی بین زمین و جسمی به جرم m با رابطه‌ی $F = G \frac{Mm}{r^2}$ ساده‌تر می‌شود. شعاع این کره همگن که جرم آن برابر جرم زمین و چگالی آن برابر چگالی زمین است، r شعاع میانگین است.

اگر این جسم در میدان گرانشی زمین رها شود، تحت تأثیر این نیرو با شتابی که آن را «شتاب گرانشی» (با نماد

a_g) می‌نامیم، سقوط می‌کند با به کارگیری قانون دوم نیوتون داریم:

$$F = ma_g$$

تغییرات a_g در مکان‌های مختلف در جدول زیر داده شده است:

مکان (موقعیت)	a_g	ارتفاع برحسب K_m
روی سطح کره‌ی میانگین با شعاع r	۹/۸۳	۰
قله اورست (مرتفع‌ترین نقطه روی زمین)	۹/۸	۸/۸
بلندترین ارتفاع بالون (اوج بالون)	۹/۷۱	۳۶/۶
در محل ارتباط‌های مخابراتی سفینه‌ها	۰/۲۲۵	۳۵۷۰۰

علت این اختلاف را می‌توان به صورت زیر توضیح داد:

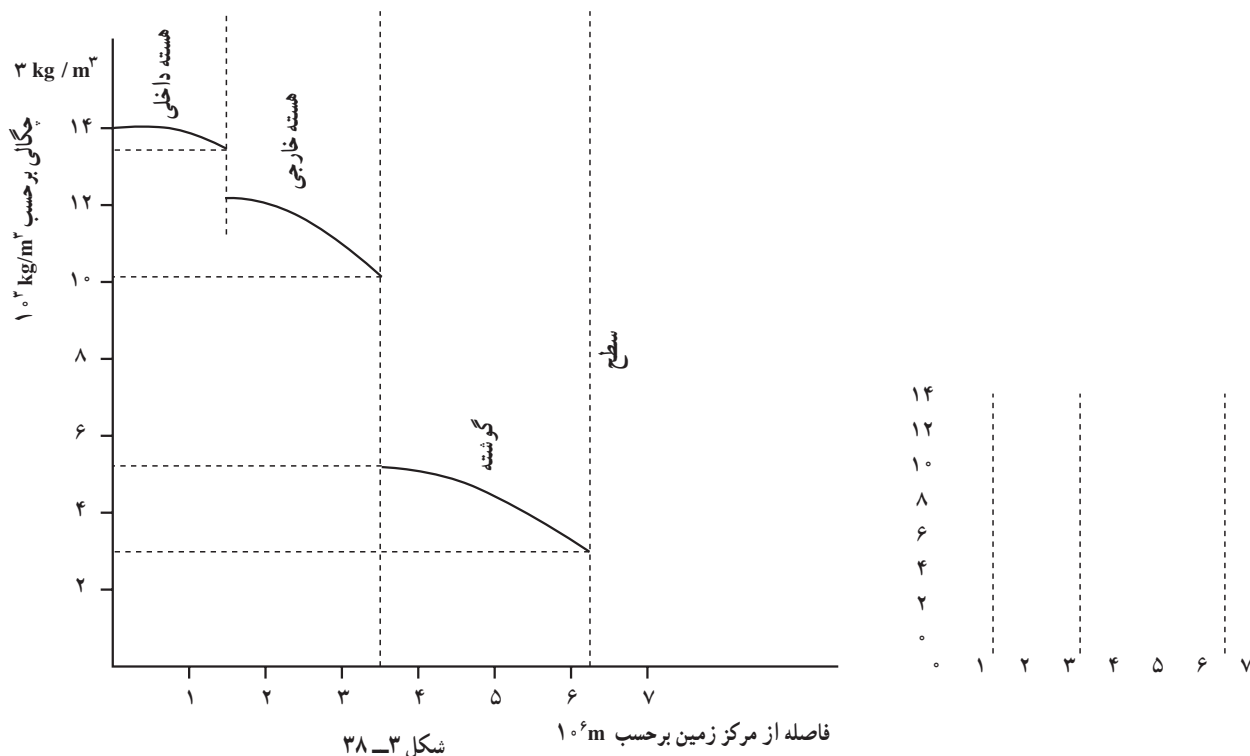
۱- توزیع جرم زمین یکنواخت نیست.

۲- زمین کاملاً کره‌ی نیست.

۳- زمین به دور محور خود می‌چرخد.

از این رو $W = mg$ با نیروی گرانشی $F = G \frac{Mm}{R_e^2}$ یکی نخواهد بود می‌توان هر کدام از این علت‌ها را قدری

عمیق‌تر مورد بررسی قرار داد.



شکل ۳-۳۸

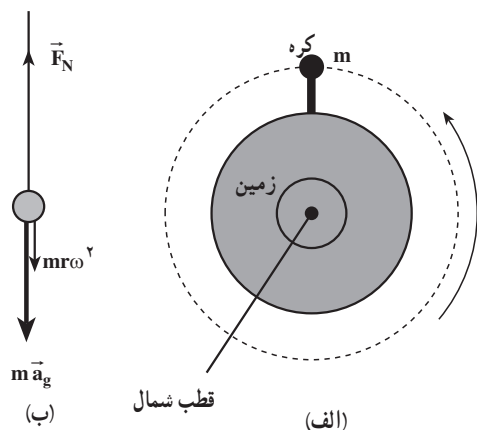
۱- توزیع جرم : چگالی زمین با فاصله از مرکز آن تغییر می کند شکل ۳-۳۸ تغییر چگالی زمین را برحسب شعاع (فاصله از مرکز زمین) نشان می دهد.

به علاوه چگالی بخش خارجی از نقطه ای به نقطه ای دیگر تغییر می کند.

۲- زمین کاملاً کروی نیست : زمین در قطب ها فرورفته و در استوا برآمده است و تقریباً شلجمی شکل است.

بنابراین نقطه های واقع در قطب ها، به مرکز زمین یعنی بخش چگالتر نزدیک ترند.

۳- زمین به دور محور خود می چرخد : محور چرخش زمین در راستای شمال و جنوب است. هر جسم در هر نقطه روی زمین (به جز نقطه هایی که در قطب ها روی محور چرخش واقع اند)، در روی مسیر دایره ای می چرخد.



شکل ۳-۳۹

بنابراین باید برای این نقطه، شتاب مرکز گرای $R\omega^2$ را در نظر گرفت. این شتاب برای هر ذره به جرم m واقع در این نقطه مستلزم وجود نیرویی به سوی مرکز زمین است. حال فرض کنید کره ای به جرم m روی پایه ای در روی خط استوا واقع است در شکل ۳-۳۹ الف. موقعیت جسم m روی سطح زمین نشان داده شده است، محور چرخش زمین عمود بر صفحه ی کاغذ است. شکل ۳-۳۹ ب نمودار نیروهای وارد بر جسم را نشان می دهد. دو نیروی مرکزگرای و گرانشی به سوی مرکز زمین و نیروی

عمودی تکیه‌گاه در جهت مثبت \vec{r} است. مطابق قانون دوم نیوتون داریم:


$$F_N - ma_g = m(-r\omega^2)$$

$$F_N = m(a_g - r\omega^2) \Rightarrow mg = m(a_g - r\omega^2)$$

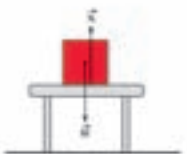
$$g = a_g - r\omega^2$$

اگر جسم m را روی ترازوی فنری قرار دهیم، وزن آن اندازه‌گیری می‌شود. مشاهده می‌کنیم همواره g از a_g کم‌تر است. در خط استوا این اختلاف بیشینه است (حدود 3.4 m/s^2 / 0.34%) با این وجود نسبت به مقدار g قابل چشم‌پوشی است.






نیروی عمودی تکیه‌گاه: جسم را در نظر بگیرید که مطابق شکل (۱۳-۳) روی سطح افقی می‌باشد. حال که قرار دارد. چه نیرویی به جسم وارد می‌شود؟ اگر جرم جسم را m باشد، نیروی وزن $W = mg$ را زمین به جسم وارد می‌کند و آن را به سوی پایین می‌کشد. چرا جسم به پایین حرکت نمی‌کند؟



چون جسم ساکن است، نتایج حرکت آن صفر است (۱۳-۴). از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که بر این نیروهای وارد بر جسم صفر است (۱۳-۵). در نتیجه، باید نیرویی را بر وزن جسم اما در خلاف جهت به آن وارد نمود تا با خنثی کردن نیروی وزن، مانع نتایج گرفتن جسم شود. با توجه به وضعیت جسم در شکل (۱۳-۴) این نیرو توسط میز به جسم وارد می‌شود. در شکل (۱۳-۵) نیروهای وارد بر جسم نشان داده شده‌اند. نیروی N که از طرف میز بر جسم وارد می‌شود را نیروی عمودی تکیه‌گاه می‌نامیم. با استفاده از قانون دوم نیوتون، نتیجه می‌شود:

$F = ma = 0$
 $N - W = 0$
 $N = W$



الکون فرض کنید مطابق شکل (۱۳-۵) نیرویی به اندازه F را به‌طور قائم و رو به پایین بر جسم وارد کنید. آیا نیروی عمودی تکیه‌گاه که میز بر جسم وارد می‌کند، تغییر می‌کند؟ یا روش مشابه قبل، می‌توان به پرسش بالا پاسخ داد. نیروهای وارد بر جسم را در شکل (۱۳-۵) نشان دادیم و چون نتایج جسم صفر است، بنابر قانون دوم نیوتون داریم:

$F = ma = 0$
 $N - F - W = 0$
 $N = F + W$

نیروی عمودی تکیه‌گاه

راهنمای تدریس:

ایجاد انگیزه: برای شروع می‌توان یک اسفنج را روی میز قرار داد ابتدا یک کتاب فیزیک و سپس چندین کتاب فیزیک را روی آن قرار داد. و این پرسش را مطرح کرد.

پرسش: آیا به اسفنج نیرویی وارد می‌شود؟ این نیرو چه نام دارد و در چه جهتی است؟

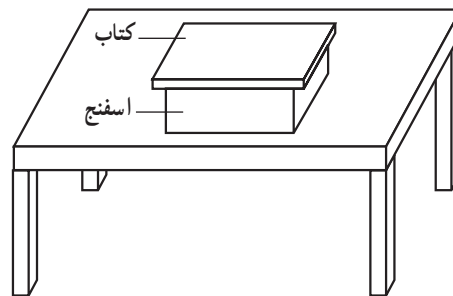
پاسخ: آری، نیروی وزن، از بالا به پایین

پرسش: آیا از طرف اسفنج نیرویی به کتاب (کتاب‌ها)

وارد می‌شود؟ این نیرو در چه جهتی است؟

پاسخ: عمودی و رو به بالاست. این نیرو را «عمودی

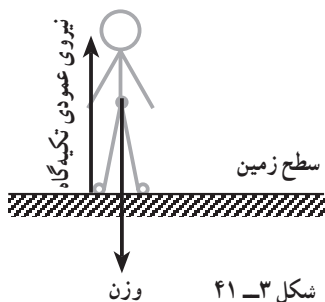
تکیه‌گاه» می‌نامیم.



شکل ۳-۴۰

فعالیت:

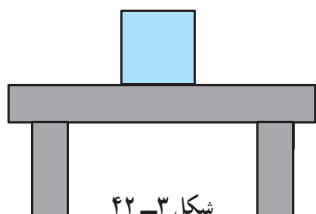
دانش آموزی در کلاس روبه روی تابلو ایستاده است. نیروهای وارد بر او را نام برده و با رسم شکل نمایش دهید. این نیروها از طرف چه جسم هایی بر دانش آموز وارد می شوند؟



شکل ۳-۴۱

پاسخ: نیروی وزن از طرف زمین و نیروی عمودی تکیه گاه از کف زمین به دانش آموز وارد می شود.

حال از دانش آموزان می خواهیم به شکل ۳-۱۲ کتاب توجه کند (یا این که شکل را روی تابلو رسم کنیم)



شکل ۳-۴۲

پرسش: به جسم چه نیروهایی وارد می شود، این نیروها را نام برده روی شکل مشخص کنید:

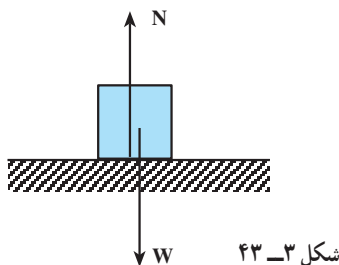
پاسخ: نیروی وزن و عمودی تکیه گاه

تمرین: قانون دوم نیوتون را در مورد این جسم بنویسید.

$$F = ma = 0$$

$$F = N - W = 0 \Rightarrow N = W = mg$$

پاسخ:



شکل ۳-۴۳

۱- یک جعبه (یا وزنه ای) را روی ترازوی فنری قرار دهید. برای جعبه وزن و نیروی عمودی تکیه گاه را تعیین کنید.

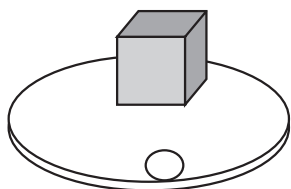
پاسخ: وزن جعبه را ترازو نشان می دهد (به طور مثال 10 N)

$$F = ma = 0 \Rightarrow N - W = ma = 0 \quad N = W = 10\text{ N}$$

۲- روی جعبه در فعالیت ۱ با انگشت نیروی \vec{F} را رو به پایین وارد کنید. (فرض کنید ترازو 15 N نشان دهد) نیروی عمودی تکیه گاه و F را تعیین کنید.

$$F = ma$$

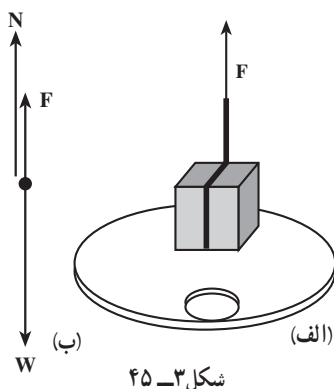
$$N - F - W = 0 \quad N = F + W$$



شکل ۳-۴۴

فعالیت ۳-۸

هدف: محاسبه نیروی عمودی تکیه گاه، می توان فعالیت را مطابق شکل روبه رو نیز مطرح کرد: طنابی به دور جعبه ای پیچیده و آن را روی یک ترازوی فنری قرار می دهیم نیروی وزن را یادداشت می کنیم (10 N) حال با نیروی F طناب را اندکی بالا می کشیم به طوری که جسم ساکن بماند. نیروی عمودی تکیه گاه و نیروی F را تعیین کنید.



شکل ۳-۴۵

پاسخ: مطابق شکل (ب)

$$(N + F - W) = ma = 0 \Rightarrow N = W - F$$

N نیرویی است که ترازو نشان می‌دهد. نیروی وزن قبلاً اندازه‌گیری شده است. و از آن جا نیروی F به دست می‌آید. روشن است که $N < W$ است.

تأکید این نکته ضروری است که نیروی عمودی تکیه‌گاه به کمک قانون دوم به دست می‌آید و رابطه مستقلی برای آن نداریم.

اشتباه رایج: اغلب اتفاق می‌افتد که دانش‌آموز نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه را کنش و واکنش فرض کند. این تصور ناشی از آن است که وقتی جسم روی تکیه‌گاه ساکن است و نیروی دیگری بر جسم وارد نمی‌شود، این دو نیرو هم اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند. لازم است متذکر شویم گرچه این دو نیرو هم اندازه و در خلاف جهت یکدیگرند، ولی هر دو بر یک جسم وارد می‌شوند و می‌توان برای آن‌ها برآیند تعیین کرد درحالی که بین کنش و واکنش برآیند تعیین نمی‌کنیم زیرا بر دو جسم متفاوت وارد می‌شوند.

بنابراین نیروی عمودی تکیه‌گاه افزایش یافته است.

شکل ۳-۱۵

فعالیت ۳-۸

فرض کنید مطابق شکل (۳-۱۵)، طاقی را به دور یک جسم بسته و آن را با نیروی F به سوی بالا بکشیم. اگر جسم همچنان بر سطح میز ساکن بماند، نیروی عمودی تکیه‌گاه وارد بر آن را محاسبه کنید.

نیروی عمودی تکیه‌گاه، یکی از نیروهای است که برای آن قانون نیوتن داریم. پس رابطه‌ای وجود ندارد تا با کمک آن بتوان اندازه این نیرو را محاسبه کرد. همان‌طور که دیدیم، اندازه این نیرو را به کمک قانون دوم نیوتون، محاسبه می‌کنیم.

فعالیت ۳-۹

روی یک ترازوی تری ایستند و عددی را که ترازو در حالت‌های زیر نشان می‌دهد، بخوانند:

- الف - ساکن روی ترازو ایستاده‌اند.
- ب - ضمن آن که روی ترازو ایستاده‌اند، با دست، میزی را که در کنارش قرار دارد، به سمت پایین فشار دهند.
- پ - با دست، میزی را به بالا بکشند.

مشاهده نحوه را یادداشت کنید و به کلاس گزارش دهید.

مسئله ۳-۴

شخصی به جرم ۵۰ کیلوگرم آسانسوری ایستاده است. نیروی عمودی‌ای که

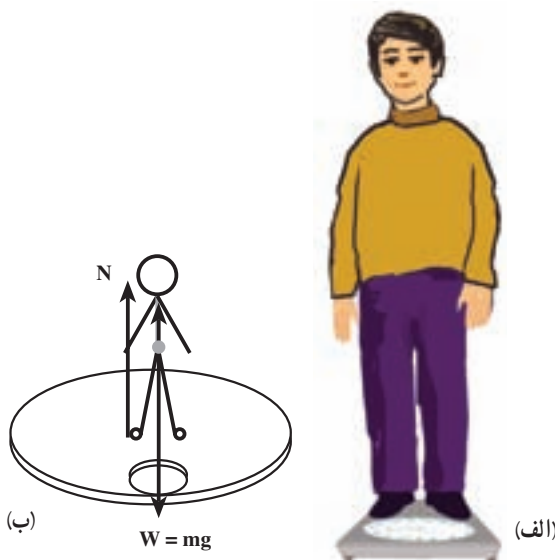
فعالیت ۳-۹

پیشنهاد می‌شود این فعالیت در چند گروه انجام شود.

الف) دانش‌آموز روی ترازو می‌ایستد و عددی را که ترازو نشان می‌دهد یادداشت می‌کند (مطابق آن چه در دانستنی ۲ گفته شد اگر عدد برحسب Kg است می‌توان آن را به N تبدیل کرد)

$$N - W = ma = 0$$

$$N = W$$



شکل ۳-۴۶

ب) قبل از انجام آزمایش از دانش‌آموزان می‌خواهیم پیش‌بینی کنند عددی که ترازو نشان می‌دهد، بیش‌تر یا کم‌تر از حالت قبل است؟ سپس از آنان می‌خواهیم با رسم نیروهای وارد بر شخص برای پاسخ خود دلیل بیاورند.



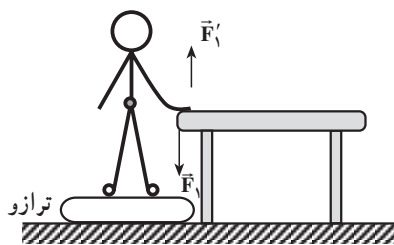
شکل ۳-۴۷

شخصی نیروی \vec{F}_1 به سطح میز وارد می‌کند از طرف میز نیز نیروی \vec{F}'_1 به شخص (رو به بالا) وارد می‌شود. بنابراین نیروهای وارد در شخص عبارتند از:

۱- وزن ۲- عمودی تکیه‌گاه ۳- نیروی \vec{F}'_1 و از آن‌جا مطابق قانون دوم نیوتون داریم:

$$N + F'_1 - W = ma = 0$$

$$N = W - F'_1$$



شکل ۳-۴۸

و نتیجه می‌گیریم آن‌چه ترازو در این وضعیت نشان می‌دهد، کم‌تر از نیروی وزن شخص است.

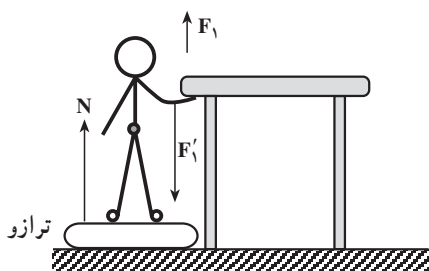
پ) باز از دانش‌آموزان می‌خواهیم ابتدا در مورد عددی که ترازو نشان خواهد داد پیش‌بینی کنند.

شخص نیروی رو به بالای \vec{F}_1 را به میز وارد می‌کند میز نیز نیروی رو به پایین F'_1 را به شخص اعمال می‌کند و با توجه به شکل می‌توان نوشت:

$$a = 0$$

$$N - F'_1 - W = ma = 0 \Rightarrow N = W + F'_1$$

عددی که ترازو نشان می‌دهد بیش‌تر از وزن شخص است.



شکل ۳-۴۹

مثال ۳-۷

هدف: در این مثال می‌خواهیم به دانش‌آموز پیام‌موزیم چگونه نیروی عمودی تکیه‌گاه را هنگامی که جسم دارای حرکت شتاب‌دار است، محاسبه کند.

الف) آسانسور به نفعش وارد می‌گردد. در حالت‌های زیر محاسبه کنید:

الف- آسانسور ساکن است.

ب- آسانسور با سرعت ثابت به طرف بالا در حرکت است.

پ- آسانسور با شتاب 2 m/s^2 به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند.

د- آسانسور 2 m/s^2 به طرف بالا شتاب می‌گیرد.

حلی:

الف- چون آسانسور ساکن است، شتاب حرکت صفر است. نیروهای وارد بر نفعش در شکل (۱۷۷-۳) نشان داده شده است.

$$\sum F = 0$$

$$F = N - W = 0$$

$$N = W = mg$$

$$N = 2 \times 67 = 134 \text{ N}$$

ب- در این حالت نیز شتاب حرکت صفر است و با معادله‌ای مانند حالت الف نتیجه می‌شود که $N = 2 \times 67 = 134 \text{ N}$ است.

پ- در این حالت، شتاب حرکت 2 m/s^2 و به طرف بالا است. با توجه به قانون دوم نیوتون، خواهیم داشت:

$$F = ma$$

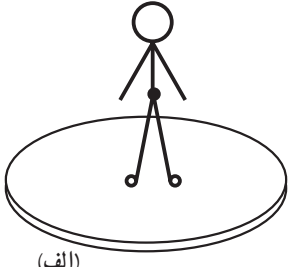
$$N - W = ma$$

$$N - 2 \times 67 = 2 \times 2$$

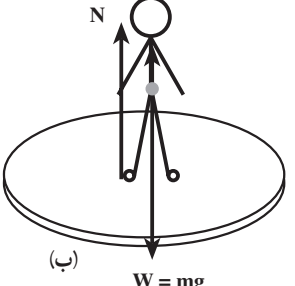
$$N = 134 \text{ N}$$

شکل ۳-۷

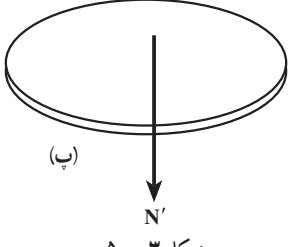
نیروی اصطکاک: در تجربه‌های روزانه دیده‌ایم که اگر صندوق سنگینی روی سطح افقی ساکن باشد، برای به حرکت درآوردن آن باید نیروی بزرگی به آن وارد کنیم و اگر نیروی کوچک‌تری به آن وارد کنیم صندوق ساکن می‌ماند و با آنکه دست از کشیدن آن بخل داریم، جرم متحرک روی سطح افقی



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۳-۵۰

شخصی روی یک ترازوی فنری ایستاده است.

الف) نیروهای وارد بر شخص را رسم کنید.

ب) تعیین کنید واکنش هریک از این نیروها به کجا اثر می‌کند؟

پ) با به کارگیری قانون دوم و سوم نیوتون نشان دهید، عددی که ترازو نشان

می‌دهد، به اندازه‌ی وزن شخص است.

پاسخ: الف) بر شخص دو نیرو وارد می‌شود، یکی وزن از طرف زمین و

دیگری نیروی عمودی تکیه‌گاه، N از طرف ترازو.

ب) واکنش نیروی وزن بر مرکز زمین و واکنش نیروی عمودی تکیه‌گاه بر ترازو

اثر می‌کند (این نیرو را N' می‌نامیم).

(پ) $F = ma$

$a = 0 \Rightarrow N - W = ma = 0 \Rightarrow N = W = mg$

بنا به قانون سوم نیوتون $N = N'$

در نتیجه نیرویی که به ترازو وارد می‌شود برابر N یا mg .

در صورت امکان، با همکاری اعضای گروه خود فعالیت زیر را

خارج از کلاس انجام و به کلاس گزارش دهید. یک ترازو را کف آسانسور بگذارید. ابتدا عددی را که ترازو نشان می‌دهد و سپس عددی را که ترازو در حالت‌های زیر نشان می‌دهد یادداشت کنید.

- (الف) لحظه‌ی حرکت به بالا
 (ب) هنگام توقف در طبقه‌ها
 (ت) لحظه‌ی شروع حرکت هنگام پایین آمدن
 (ث) لحظه‌ی توقف در طبقه‌ها، هنگام پایین آمدن

نیروی اصطکاک

هدف: آشنایی با نیروی اصطکاک و اثرهای آن در کارهای

روزانه

مهارت در محاسبه‌ی نیروی اصطکاک در حالت‌های

سکون و حرکت.

راهنمای تدریس:

ایجاد انگیزه و زمینه:

فعالیت ۱: شخصی یک کامیون سنگین ساکن را هل

می‌دهد و کامیون ساکن می‌ماند.

قانون دوم نیوتون را در مورد این کامیون بنویسند.

پاسخ: $F = ma$ $a = 0 \Rightarrow F = 0$ (برآیند نیروها)

پرسش: آیا نیروی شخص تنها نیروی است که بر جسم

در راستای افق اثر می‌کند؟ توضیح دهید.

پاسخ: خیر اگر چنین باشد، جسم باید حرکتی شتاب‌دار

(هرچند با شتاب بسیار اندک) داشته باشد.

پرسش: چرا با وجودی که شخص بر جسم نیرو وارد

می‌کند، جسم ساکن می‌ماند؟

پاسخ: برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است. بنابراین باید

نیروی در راستای افق در خلاف جهت نیروی شخص به کامیون

وارد شده باشد.

پرسش: به نظر شما این نیرو از کجا بر کامیون وارد

می‌شود؟

پاسخ: از طرف زمین نیروی موازی سطح بر جسم اعمال

می‌شود.

فعالیت ۲: جسمی روی سطح زمین موازی سطح پرتاب



شکل ۳-۵۱

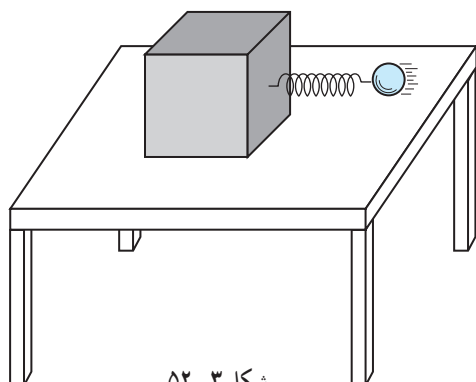
وارد می‌شود. حال با توجه به این فعالیت‌ها و مثال‌های دیگر می‌توان با مثال‌های کتاب به بحث ادامه داد و بالاخره مطابق آنچه در کتاب گفته شده است بگوییم این نیرو را «نیروی اصطکاک» می‌نامیم. و متذکر شویم وقتی جسمی را روی سطحی می‌کشیم (یا هل می‌دهیم) و یا جسم روی سطح حرکت می‌کند. نیروی اصطکاک پدید می‌آید.

می‌کنیم. نظر خود را در مورد حرکت جسم بر روی سطح زمین بیان کنید.

پاسخ: جسم پس از طی مسافتی متوقف می‌شود.

پرسش: چه نیرویی ممکن است موجب توقف جسم بر روی سطح زمین شود؟

پاسخ: نیرویی که از طرف سطح در خلاف جهت به جسم



شکل ۳-۵۲

یک جسم (مکعب چوبی) را به نیروسنجی وصل می‌کنیم. جسم را مطابق شکل روی سطح میز گذاشته و ابتدا با نیروی بسیار اندک جسم را می‌کشیم و به آرامی نیروی کشش را افزایش می‌دهیم تا جسم از حالت سکون خارج شود. بعد آن را به طور یکنواخت روی سطح می‌کشیم. نیرویی را که نیروسنج نشان می‌دهد، در حالت‌های مختلف، یادداشت و در جدول زیر وارد می‌کنیم.

در حرکت یکنواخت	در لحظه‌ی شروع حرکت	در حالت سکون			تعدادی که نیروسنج نشان می‌دهد
		F_1	F_2	F_3	
f_k	f_{smax}				

تمرین پیشنهادی



- با توجه به ارقام جدول جاهای خالی را پر کنید.
- در لحظه‌ی به راه افتادن جسم نیروسنج مقدار را نشان می‌دهد.
- عددی که نیروسنج در حین حرکت نشان می‌دهد از نیروی اصطکاک در لحظه‌ی شروع حرکت است.

پاسخ: بیش‌ترین – کم‌تر

پس از این که زمینه‌ی لازم جهت ارایه مبحث اصطکاک فراهم شد. می‌توان مطابق طراحی کتاب ابتدا اصطکاک ایستایی و سپس اصطکاک جنبشی را مطرح کرد.



جمله‌ی زیر را نقد کنید. «وقتی جسمی را هل می‌دهیم و حرکت نمی‌کند در حقیقت نیروی وارد بر آن از نیروی اصطکاک کم‌تر است.»

پاسخ: چنین نیست اگر نیروی اصطکاک بیش از نیروی وارد بر جسم باشد، جسم در خلاف جهت نیروی وارد بر آن به حرکت درمی‌آید. در حقیقت نیروی اصطکاک هم‌اندازه‌ی نیروی اعمال شده و در خلاف جهت آن است. باید گفت نیروی وارد بر جسم کم‌تر از نیروی اصطکاک در آستانه‌ی حرکت است.

اسنادی آزمایش یافته و بر آن F_1 کشیده است. بازن را با افزایش نیروی F_1 نیروی اصطکاک اسنادی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش نیروی F_1 به حالتی می‌رسد که اگر اندازه آن را F_2 بود، جسم در اسناد حرکت قرار می‌گیرد. این زمان همانند است که اگر اندازه نیروی F_1 از مقدار F_2 انعطاف پذیر نبود، دیگر جسم اسنادی را شروع به حرکت می‌کرد. به نیروی اصطکاک در این حالت، نیروی اصطکاک در اسناد حرکت گفته می‌شود و با F_3 نشان داده می‌شود. شکل ۳-۲۱ را ببینید.

از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که در حالتی اخیر، $F_2 = F_3$ است. از طرف دیگر، آزمایش نشان می‌دهد که اندازه نیروی اصطکاک در اسناد حرکت را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$F_3 = \mu N \quad (3-21)$$

در این رابطه، F_3 نیروی عمودی کشنده است و μ ضریب اصطکاک اسنادی نام دارد. ضریب μ و آزمایش‌های توانایی نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک اسنادی به عامل‌های مانند جنس سطح تماس دو جسم، نوار صافی و زبری آن‌ها و ... بستگی دارد.

نموده کنید که رابطه (3-21) فقط در حالتی درست است که جسم در اسناد حرکت باشد. بازن را با نیروی اصطکاک اسنادی همواره در مقدار F_2 نگه دارید و مقدار F_1 را کم کنید. چه اتفاقی می‌افتد؟

نیروی اصطکاک جنبشی، فرض کنید که جسمی را روی یک سطح افقی هل می‌دهند. اگر دست از هل دادن منتهی گردانند، سرعت آن کاهش یافته و پس از مدتی می‌ایستد. اگر دوباره را که روی یک سطح افقی در حال حرکت است زور کنند، پس از مدتی دوباره می‌ایستد. با توجه به این که نیروی عمودی ضریب اصطکاک جنبشی در خلاف جهت حرکت با جسم وارد شده است. این نیرو اصطکاک جنبشی نام دارد.

آزمایش ۳-۳
معمولی تارچ، یک تریسج، دو قطعه بوب هر چه در دسترس داشته‌باشند.
یک قطعه آهن و یک آهن سائیده
آل یک قطعه بوب را مطابق شکل ۳-۲۲ روی یک سطح افقی قرار دهید و یک تریسج را با آن وصل کرده و به قطعه تریسج را از روی بوب بردارید و آن را

آزمایش ۳-۴

هدف: اندازه‌گیری نیروی اصطکاک جنبشی و بستگی این نیرو با جنس و سطح تماس است. در صورتی که کیفیت تمام سطح‌های مکعب یکسان باشد، جواب آزمایش قسمت ۱ و ۲ یکی خواهد بود. با استفاده از نتیجه‌های این آزمایش می‌توان پاراگراف آخر این مبحث یعنی اصطکاک جنبشی را مطابق کتاب توضیح داد.

مثال ۳-۸

هدف: مهارت در به کارگیری قانون‌های نیوتون و محاسبه نیروی اصطکاک

در شکل ۳-۲۲، F_1 نیروی است که سطح من به جسم وارد می‌کند و F_3 نیروی است که سطح جسم به من وارد می‌کند. این دو نیرو، کشش و واکنشند.

از آزمایش‌های نظری (3-21) نتیجه می‌شود که اندازه نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازه نیروی عمودی کشنده است. یعنی $F_3 = \mu N$ است. این نیرو به طور محسوس به ضرایب اصطکاک جنبشی بستگی ندارد. ضریب این ضرایب را با μ نشان می‌دهند و به آن ضریب اصطکاک جنبشی می‌گویند.

$$F_3 = \mu N \quad (3-22)$$

مثال ۳-۸
جسمی به جرم 12kg را توسط طنابی که به آن وصل است، روی سطح افقی می‌کشند. اگر راستای طناب افقی و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح تماس دو جسم برابر 0.35 باشد، نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسم چند نیوتون است؟ (اگر برای 9.8m/s^2 بگردانید.)

طناب را بکشند و در جهت راست F_1 نشان داده‌اند. چون جسم در اسناد سطح افقی حرکت می‌کند، از قانون دوم نیوتون نتیجه می‌شود که برآیند نیروهای وارد بر جسم در راستای طناب صفر است.

$$\begin{aligned} N - W &= 0 \\ N - W &= mg \\ N &= (12)(9.8) \\ F_3 &= \mu N \\ F_3 &= (0.35)(12)(9.8) \\ F_3 &= 41.16\text{N} \end{aligned}$$

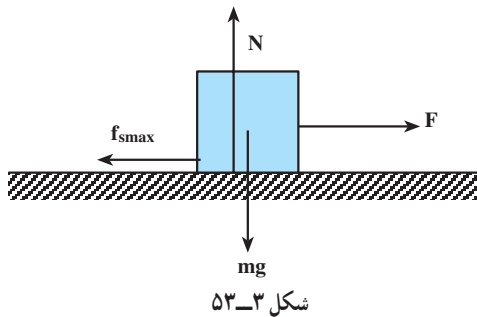
شکل ۳-۲۲

مثال ۳-۹
در مثال ۳-۸ اگر طناب را با نیروی $F = 49\text{N}$ بکشند، تعداد حرکت جسم چقدر خواهد بود؟
طناب از قانون دوم نیوتون برای محاسبه ضرایب اصطکاک می‌کشند.



۱- جسمی به جرم 5Kg مطابق شکل روی سطح افقی قرار دارد. ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح $\mu_s = 0/5$ و ضریب اصطکاک جنبشی $\mu_k = 0/2$ است. نیروی اصطکاک بین جسم و سطح را حساب کنید.

پاسخ: $F - f_s = ma = 0$ (نیروی کشش) جسم در این حالت کشیده نمی‌شود. $F = 0$ ، $f_s = 0$



۲- الف) جسم با چه نیرویی در آستانه حرکت قرار می‌گیرد؟

ب) اگر در این وضعیت به جسم ضربه کوچکی بزنیم با چه شتابی حرکت می‌کند؟

پاسخ: الف) $f_{smax} = \mu_s N$

با توجه به شکل داریم: $N - mg = ma = 0 \Rightarrow N = mg$

$$f_{smax} = \mu_s mg = 0/5 \times 10 \times 5 = 25\text{N}$$

برای آن که جسم به آستانه حرکت برسد باید $F = f_{smax}$ باشد. زیرا: $F - f_{smax} = ma = 0$

ب) وقتی جسم به راه می‌افتد،

$$F - f_k = ma$$

$$f_k = \mu_k N = \mu_k mg = 0/2 \times 10 \times 5 = 10\text{N}$$

$$25 - 10 = 5a \Rightarrow a = 3\text{m/s}^2$$

است). گاهی دانش‌آموز آن را رابطه‌ی برداری فکر می‌کند با این

تصور که در هر دو طرف تساوی کمیت‌های برداری هستند.

۳- از آن جایی که نیروی اصطکاک (ایستایی یا جنبشی)

با نیروی عمودی تکیه‌گاه بستگی دارد برای دانش‌آموز گاهی این

تصور پیش می‌آید که μ_s (یا μ_k) نیز با نیروی عمود متناسب

است. تأکید این نکته که μ_s (یا μ_k) با جنس و کیفیت سطح‌های

تماس بستگی دارد ضروری است و رابطه‌ی $\mu_k = \frac{f_k}{N}$ به معنی

بستگی μ_k با N یا f_k نیست.

اشتباه رایج: گاهی دانش‌آموز رابطه‌ی $f_{smax} = \mu_s N$

را برای اصطکاک ایستایی در همه‌ی حالت‌ها به کار می‌گیرد.

مثلاً در تمرین ۱ نیروی اصطکاک را 25N محاسبه می‌کند. لازم

است متذکر شویم ضریب اصطکاک ایستایی فقط در آستانه‌ی

حرکت تعریف می‌شود. زیرا اصطکاک ایستایی از صفر تا f_{smax}

تغییر می‌کند.

۲- رابطه‌ی $f_k = \mu_k N$ که یک رابطه‌ی جبری است و

نه برداری (زیرا نیروی اصطکاک در حقیقت واکنش افقی سطح

دانستنی



۱- اصطکاک از دیدگاه میکروسکوپی

اصطکاک نوعی نیروی تماسی است که با حرکت نسبی دو جسم که با هم در تماسند مخالفت می‌کند. پدیده‌ی

پیچیده‌ای است که نظریه بنیادی و منسجمی برای آن وجود ندارد، اما ویژگی‌های اصلی مربوط به این پدیده در مورد

سطح‌های خشک و غیر روغنکاری شده نسبتاً ساده و مدت‌هاست که شناخته شده‌اند.

- ۱- نیروی اصطکاک متناسب با نیرویی است که دو جسم را به هم می‌فشارد.
- ۲- نیروی اصطکاک (لغزشی) بستگی محسوسی به مساحت سطح تماس دو جسم ندارد.
- ۳- نیروی اصطکاک (در سرعت‌های کم) مستقل از سرعت است.

جالب است بدانیم ویژگی‌های اول و دوم را اولین بار لئوناردو داوینچی در اوایل قرن شانزدهم میلادی کشف کرد. حدود دو قرن بعد دانشمند فرانسوی دیگری آمونتون به‌طور مستقل هر سه ویژگی را تدوین و منتشر کرد. ویژگی اول با مشاهدات روزانه سازگار است و با نگاه اولیه معقول به نظر می‌رسد. ولی ویژگی دوم قدری عجیب می‌نماید. برای درک ویژگی دوم باید توجه داشت که سطح ظاهری تماس با سطح واقعی تفاوت دارد. همان‌طور

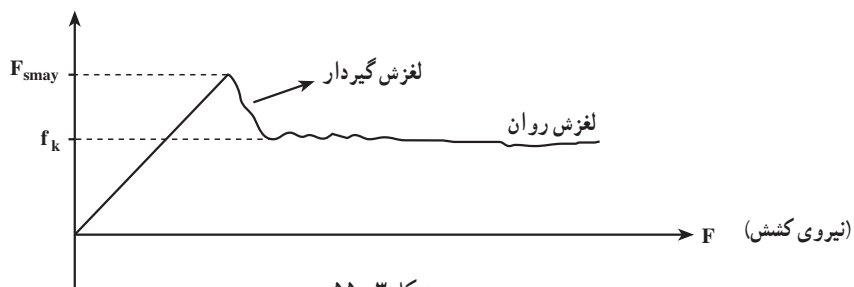


شکل ۳-۵۴- عکسی از یک سطح صیقلی در مقیاس میکروسکوپی

که در شکل می‌بینیم، حتی بهترین سطح‌های صیقلی هم در مقیاس میکروسکوپی واقعاً صاف نیستند. ابعاد این ناهمواری‌ها حدود 10^{-5} mm تا 10^{-4} mm است. دو جسم در واقع فقط در نوک (تپه)‌ها با هم در تماس‌اند که مساحت مجموع این قله‌ها مسلماً بسیار (حدود ده هزار بار) کوچک‌تر از سطح ظاهری است.

حال اگر جسمی به شکل مکعب مستطیل را یک بار از طرف سطح بزرگ‌تر و بار دیگر از طرف سطح کوچک‌تر روی جسم دیگری قرار دهیم. درست است که تعداد قله‌هایی که در تماس با پستی - بلندی‌های جسم دیگر قرار می‌گیرد کم‌تر است، ولی هر یک از قله‌ها تخت‌تر می‌شود (چون فشار بیش‌تری دریافت می‌کنند) یعنی در هر دو حالت بار روی مساحت واقعی یکسان تقسیم می‌شود. به این ترتیب، اصطکاک با آن که به مساحت واقعی تماس بستگی دارد ولی مستقل از مساحت ظاهری است.

در مقیاس ماکروسکوپی طبیعی است فرض کنیم هر اندازه سطح‌ها زبرتر و خشن‌تر باشند، اصطکاک میان آن‌ها بیش‌تر است. سطحی که زبری آن قابل دیدن است، ناهمواری‌هایی در حدود 10^{-2} mm دارد. اگر این سطح‌ها را با سمباده‌کاری صیقل دهیم، اصطکاک میان آن‌ها کم‌تر می‌شود ولی اگر آن‌ها را بیش از حد معینی صیقل بدهیم، اتفاق عجیبی می‌افتد، اصطکاک دوباره افزایش می‌یابد. در توضیح این پدیده چند نظریه موجود است. یکی این که برآمدگی‌های میکروسکوپی در سطح صیقلی به هم «جوش سرد» می‌خورند و در نتیجه نوعی چسبندگی سطحی بین دو جسم پدید می‌آید که برای شکستن این اتصالات (که مدام شکل می‌گیرند) و لغزاندن دو جسم باید انرژی بیش‌تری صرف شود. نظریه دیگری می‌گوید که در اثر مالش دو سطح بسیار صیقلی به یک‌دیگر رایش الکترواستاتیکی پدید می‌آید. در شکل زیر تغییر نیروی اصطکاک را بر حسب نیروی کشش مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۵۵

هر کدام از دو نظریه را بپذیریم می‌توان چنین استدلال کرد که در حرکت فرصت و امکان درگیری کم‌تر از حالت سکون است.

۲- اصطکاک غلتشی

اصطکاک چرخ یا تویی که روی سطحی می‌غلتد، اصطکاک غلتشی نامیده می‌شود. می‌دانیم این نوع اصطکاک از اصطکاک جنبشی لغزشی بسیار کوچک‌تر است. جهت نیروی اصطکاک غلتشی بستگی به این دارد که غلتش آزاد یا واداشته باشد، در غلتش واداشته، (مانند چرخ عقب دوچرخه که به آن نیرو وارد می‌شود و یا چرخ‌های خودرو که نیروی موتور به آن‌ها اعمال می‌شود) چرخ در محل تماس با زمین نیرویی به طرف عقب به جاده وارد می‌کند. (همین نیروست که در جاده‌های خاکی موجب پرتاب سنگ‌ریزه به عقب می‌شود.) جاده هم واکنش این نیرو را که همان اصطکاک است، به خودرو (یا دوچرخه) به طرف جلو وارد می‌کند و در واقع همین نیروست که به خودرو شتاب می‌دهد. در غلتش واداشته نیروی اصطکاک در جهت حرکت چرخ است، (رو به جلو) بیش‌ترین نیرویی که جاده می‌تواند به چرخ وارد کند، نمی‌تواند از حداکثر نیروی اصطکاک ایستایی میان چرخ و جاده بیش‌تر باشد. (اگر نیروی چرخاننده بیش از این باشد، غلتش با لغزش همراه است.)

در غلتش آزاد نیروی اصطکاک غلتشی به عقب اثر می‌کند و حرکت چرخ را کند می‌کند. مثلاً اگر چرخ را روی زمین با یک ضربه بغلتانیم، پس از طی مسافتی می‌ایستد. علت اصطکاک غلتشی آن است که محل تماس جسم غلتان و سطح در اثر فرورفتگی یکی از این دو یا هر دو عملاً گسترده می‌شود و جسم غلتان موقع بیرون آمدن از این «چاله» ضربه‌ای به عقب دریافت می‌کند.

۳- نقش اصطکاک

حضور نیروی اصطکاک در کارهای روزانه‌ی ما گریزناپذیر است. اصطکاک در توقف اجسام نقش عمده دارد (ترمز خودرو). حدود ۲۰ درصد از سوخت مصرف شده در خودروها صرف غلبه بر اصطکاک موتور و مسیر حرکت می‌شود. با این وجود می‌گویند اصطکاک نیرویی مضرّ و ضروری است. وقتی قلم به دست می‌گیریم و با آن می‌نویسیم، وقتی با دست در یک شیشه یا قوطی را باز می‌کنیم و نیروی اصطکاک موجب انجام این کارها می‌شود، راه رفتن و حرکت کردن و با کمک نیروی اصطکاک انجام می‌گیرد.

در سرعت‌های کم، که نیروی اصطکاک بلافاصله بعد از شروع لغزش افت می‌کند اصطکاک به صورت ترکیبی از اصطکاک ایستایی و جنبشی ظاهر می‌شود. در این هنگام یکی از اجسام دچار نوعی حرکت گیردار و مقطع می‌شود (گیرش - لغزش) و معمولاً صدای ناهنجاری تولید می‌کند.

نمونه‌اش حرکت ناپیوسته و بد صدای دری است که لولایش روغن نخورده است. یا حرکت مرتعش بعضی گچ‌های نامرغوب روی تخته که صدایش آدم را از نوشتن بیزار می‌کند. خوشبختانه صدای این نوع اصطکاک‌ها همیشه هم ناهنجار نیست. صدای کشیدن آرشه روی سازه‌های زهی دقیقاً با همین ساز و کار تولید می‌شود.



مثال ۳-۹

هدف: استفاده از قانون دوم نیوتون هنگامی که اصطکاک

نیز در حرکت دخالت داشته باشد.

۳-۴- استفاده از قانون‌های نیوتون در باره‌ی حرکت

در این قسمت راهبردهای حل تمرین‌های دینامیک یک بعدی

گفته شده است.

در هریک از مثال‌های حل شده ۳-۱۰، ۳-۱۱، ۳-۱۲

و ۳-۱۳

از دانش آموز می‌خواهیم با به‌کارگیری راهبردها مثال را

حل کند. هم‌چنین در حل تمرین‌ها برای کسب مهارت لازم،

رعایت این نکته‌ها ضروری است. این راهبردها اصول حل

مسئله‌های دینامیک را به دانش‌آموز یاد می‌دهند.

همان‌طوری که در زیرنویس صفحه ۸۶ کتاب درسی

اشاره شده لازم است مسئله‌هایی مطرح شود که در آن‌ها نیروها یا

در یک راستا یا عمود بر هم باشند. افزودن مسئله‌های خارج از

هدف‌های برنامه درسی اختلال در آموزش ایجاد می‌کند.

مثال ۳-۱۰

هدف: بیان ارتباط مبحث دینامیک و سینماتیک است.

مثال ۳-۱۱

هدف: محاسبه‌ی نیروی اصطکاک و نیز شتاب حرکت

است.

مثال ۳-۱۲

هدف: بیان این موضوع است که وقتی جسم از تکیه‌گاه

جدا می‌شود، نیروی عمودی تکیه‌گاه و بالاخره اصطکاک در

محاسبات وارد نمی‌شود.

مثال ۳-۱۳

یک مثال ترکیبی است. از مبحث سینماتیک و دینامیک

چگونگی استفاده از قانون دوم نیوتون جهت محاسبه ضریب اصطکاک

نیز مطرح می‌شود.





نیرو

نیرو بر هم کنش ذرات موجود در عالم است. از نمونه‌هایش یکی نیروی گرانشی میان خورشید و زمین و دیگری نیروی الکتریکی میان الکترون‌ها و پروتون‌هاست.



شکل ۳-۵۶

در مکانیک نیوتونی، نیرو علت تغییر حرکت اجسام تلقی می‌شود. پس اگر حرکت جسمی تغییر نکند، معنی‌اش این است که نیروی خالصی هم به آن وارد نمی‌شود. این همان مضمون قانون اول نیوتون است. این قانون می‌گوید جسمی که در حالت حرکت یکنواخت باشد، یعنی یا ساکن باشد یا با سرعت ثابت حرکت کند، تا وقتی نیروی خالصی به آن وارد نشود در همین حالت خواهد ماند. نمونه‌ی عملی این قانون، وضعیت فضایی است که در فضای تهی و دور از هر چشمه‌ی گرانشی حرکت می‌کند. این فضاپیما برای ادامه‌ی حرکتش در این حالت، نیازی به راه‌اندازی موتورهای موشکی‌اش ندارد. وقتی به آن سرعت اولیه‌ای داده شود، طبق قانون اول نیوتون می‌تواند با موتورهای خاموش با همان سرعت اولیه راهش را ادامه بدهد.

بیشتر نیروها را از لحاظ پدیده‌شناسی می‌توان به صورت «جذب» یا «دفع» مدل‌سازی کرد. مثلاً، جاذبه‌ی زمین بر بدن ما همان چیزی است که به صورت وزن خودمان احساس می‌کنیم.

نیروها به آن دسته از کمیات فیزیکی تعلق دارند که به آن‌ها بردار می‌گویند. بردار در مفهوم ساده‌اش کمیتی است که هم مقدار و هم جهت دارد. جهت نیرو مسلماً در توصیف کامل آن اهمیت دارد. مثلاً، برای بلند کردن یک جسم سنگین، لازم است که نیرو را به طرف بالا اعمال کنیم. نیرویی که به طرف پایین اعمال شود، به نتیجه‌ی کاملاً متفاوتی منجر خواهد شد.

به علت ماهیت برداری نیروها، امکان دارد تعدادی نیرو به‌طور همزمان به جسمی اثر کنند ولی حرکت آن را تغییر ندهند. در این صورت، حتماً نیروی خالص صفر است، یعنی بردارهای نیرو یکدیگر را خنثی کرده‌اند، که در این صورت می‌گویند جسم دارای تعادل انتقالی است. تعادل انتقالی ممکن است ایستا (استاتیکی) باشد یا جنبشی (دینامیکی). مثلاً، شاغولی که تحت جاذبه‌ی زمین (به طرف پایین) و کشش نخ (به طرف بالا) ساکن باشد در تعادل ایستاست، و اتومبیلی که با سرعت ثابت در حرکت باشد در تعادل جنبشی است. در این حالت بر اینده‌ی نیروهای وارد بر اتومبیل – نیروی گرانش از زمین، نیروی عمودی ناشی از جاده، نیروی اصطکاک جاده، و مقاومت هوا – صفر است.

اگر نیروی خالصی به جسمی وارد شود، حرکت جسم تغییر می‌کند که این تغییر را به صورت تغییر تکانه‌ی جسم

مشاهده می‌کنیم. برای جسمی که جرمش ثابت بماند، تغییر تکانه به معنی تغییر سرعت است. آهنگ تغییر سرعت را شتاب می‌نامند. شتاب ناشی از نیروی خالصی که به جسمی اثر می‌کند، بستگی به مقاومت جسم در مقابل تغییر حرکت دارد. معیار این مقاومت، کمیتی است که جرم نامیده می‌شود.

رابطه‌ی دقیق میان نیرو، جرم، و شتاب همانی است که به صورت قانون دوم نیوتون (در یکی از شکل‌هایش)

بیان می‌شود:

$$F_{\text{خالص}} = ma$$

کلمه‌ی خالص در این معادله حاکی از آن است که ترکیبی از نیروها به جسمی اثر کند، براینکه این نیروها یا نتیجه‌ی خالص ترکیب آن‌هاست که تغییر حرکت را تعیین می‌کند. این معادله می‌گوید که برای یک جرم معین، هر چه نیروی خالص بزرگ‌تر باشد شتاب حاصل هم به تناسب آن بزرگ‌تر می‌شود. این یک تجربه‌ی آشناست که هر قدر جسمی را شدیدتر هل بدهیم، حرکتش سریع‌تر تغییر می‌کند. از طرف دیگر، اگر بخواهیم به اجسام مختلفی شتاب یکسان بدهیم، از این معادله می‌بینیم که نیروی لازم برای هر جسم باید متناسب با جرم آن باشد. این هم البته جزو تجربیات روزمره ماست که هر چه قدر جسمی سنگین‌تر باشد، تغییر دادن حالت حرکتش دشوارتر است.

این که هر نیرویی معرف بر هم کنش بین دو چیز است، منجر به یکی دیگر از قوانین نیوتون – قانون سوم – می‌شود. این قانون نشان‌دهنده تقارن بر هم کنش است؛ هر جسم بر هم کنش‌کننده یک نیروی مساوی با نیروی وارد بر خودش ولی در خلاف جهت آن به جسم دیگر وارد می‌کند. یک بیان رایج قانون سوم نیوتون این است:

اگر جسم A نیرویی به جسم B وارد کند، جسم B هم همان نیرو را در جهت مخالف به جسم A وارد می‌کند، مثلاً، فرض کنید کودکی اسکیت به پایش بسته و کنار دیواری ایستاده است. اگر این کودک با دست‌هایش نیرویی افقی به دیوار وارد کند، دیوار هم با نیرویی مساوی ولی در جهت معکوس او را هل خواهد داد. در نتیجه حرکت کودک تغییر خواهد کرد، یعنی از حالت سکون به حرکت در خواهد آمد و از دیوار دور خواهد شد.

در یک مدل از نیروها، بر هم کنش میان ذرات مستقیماً (یا بی‌واسطه) صورت می‌گیرد، و این ناشی از خاصیتی از ذرات مثل جرم یا بار الکتریکی آن‌هاست. این مدل که عموماً به کنش از دور معروف است، این پرسش را مطرح می‌کند که ذرات چگونه حضور خود را به ذرات دیگر اعلام می‌کنند. در یک مدل دیگر – نظریه‌ی میدان – به این پرسش چنین پاسخ داده می‌شود که یکی از ذرات، به علت خاصیت مخصوصی که دارد، در اطراف خودش فضای تغییر یافته‌ای ایجاد می‌کند. این فضای تغییر یافته را میدان می‌گویند (که نمونه‌اش میدان گرانشی و میدان الکتریکی است). ذره‌ی دیگر، آن هم به خاطر همان خاصیت مخصوص، با این میدان بر هم کنش می‌کند و به این ترتیب است که نیرو بین دو جسم مبادله می‌شود. مدل دیگری هم هست – نظریه‌ی میدان کوانتومی – که در آن بر هم کنش اجسام بر حسب گسیل و جذب ذرات تبادلی میان آن‌ها توصیف می‌شود. مثلاً، فرض بر آن است که ذرات باردار الکتریکی با هم فوتون مبادله می‌کنند، و همین مبادله‌ی فوتون‌هاست که به نیروی الکترومغناطیسی منجر می‌شود. هر یک از این توصیف‌ها فرمول‌بندی ریاضی مربوط به خود دارد، که رفتار ذرات بر هم کنش‌کننده را در شرایط معینی پیش‌بینی می‌کند.

چنان‌که گفته شد، بر هم کنش میان ذرات (یا میان یک ذره و یک میدان) بستگی به خاصیت ویژه‌ی این ذرات دارد. تا اواخر قرن بیستم، چهار بر هم کنش بنیادی شناسایی شده‌اند: گرانشی، الکترومغناطیسی، هسته‌ای قوی، و هسته‌ای ضعیف.

نیروی گرانشی بر هم کنش جاذبه‌ای است که میان ذراتی که از خاصیت انرژی برخوردارند، عمل می‌کند.

معمولی‌ترین شکل انرژی که به نحو قابل ملاحظه‌ای از نیروی گرانشی متأثر می‌شود، انرژی جرم یا انرژی حالت سکون است؛ به همین علت است که اغلب گرانش را به صورت برهم کنش میان ذرات جرم‌دار توصیف می‌کنند. نیروی گرانشی ذاتاً نیروی ضعیفی است، و آثار قابل مشاهده‌ی این نیرو مستلزم توده‌های خیلی بزرگی از جرم است. این نیرو بلندبرد است، و متناسب با عکس مجذور فاصله‌ی میان توزیع‌های کروی جرم (مثل سیاره‌ها) کاهش می‌یابد. در نظریه‌ی میدان کوانتومی، ذرات میانجی تبادل این نیرو را گراویتون می‌نامند.

نیروی الکترومغناطیسی، برهم کنش جاذبه یا دافعه‌ی میان ذراتی است که خاصیت بار الکتریکی دارند. این نیرو خیلی از نیروی گرانشی قوی‌تر است، و در نتیجه، آثار مشهودی هم بر ذرات میکروسکوپیکی - مانند الکترون و پروتون - و هم بر اجسام ماکروسکوپیکی - مثل پیچه‌های سیم در موتورها - دارد. نیروی الکترومغناطیسی هم بلند - برد است و کاهش آن متناسب با عکس مجذور فاصله‌ی میان چشمه‌های نقطه‌ای است. برهم کنش میان بارهای الکتریکی ساکن نیروی الکتریکی، و برهم کنش میان بارهای الکتریکی متحرک نیروی مغناطیسی است. بار الکتریکی یا مثبت است یا منفی. نیروی الکتریکی میان بارهای همنام از نوع دافعه و برای بارهای ناهمنام از نوع جاذبه است. بارهای الکتریکی متحرک موجب می‌شوند نواحی‌ای در فضا ایجاد شوند که به آن‌ها قطب شمال مغناطیسی و قطب جنوب مغناطیسی می‌گویند. در این جا هم، مثل مورد برهم کنش الکتریکی، قطب‌های مغناطیسی همسان یکدیگر را دفع و قطب‌های مغناطیسی ناهمسان یکدیگر را جذب می‌کنند. در نظریه‌ی میدان کوانتومی، ذره‌ی میانجی تبادل این نیروها هم فوتون است.

نیروی قوی نیروی جاذبه‌ای است که بین ذراتی که خاصیت بار رنگ دارند عمل می‌کند، و این یکی از خواص کوارک‌هاست. به همین دلیل، نیروی قوی را اغلب نیروی رنگ می‌نامند. نقش اصلی نیروی قوی، نگه داشتن کوارک‌ها در کنار هم در ذراتی است که به‌طور کلی هادرون نامیده می‌شوند. نیروی قوی باقی مانده‌ای هم بین هادرون‌های با رنگ خنثی عمل می‌کند، درست همان‌طور که نیروی وان‌دروالس بین دو قطبی‌های با بار خنثی عمل می‌کند. نتیجه‌اش نیروی جاذبه‌ای است که پروتون‌ها را در هسته در کنار هم نگه می‌دارد، یعنی در واقع نیروی دافعه‌ی الکترومغناطیسی بین آن‌ها را خنثی می‌کند. نیروی قوی باقی مانده بسیار کوتاه - برد است، و فقط در محدوده‌ی فواصل از مرتبه‌ی 10^{-15} m عمل می‌کند. در نظریه‌ی میدان کوانتومی، ذرات میانجی تبادل نیروی قوی (نیروی رنگ) را گلوئون می‌نامند.

نیروی ضعیف، در میان چهار برهم‌کنشی که گفتیم، تصورش به صورت عامل کشیدن یا هل دادن از همه مشکل‌تر است. بسیار آموزنده‌تر است که این را، به جای نیرو، به صورت برهم کنش در نظر بگیریم. بارزترین نقش نیروی ضعیف در اثری است که بر ذرات هسته‌ای می‌گذارد، که منجر به تراجهش پروتون‌ها به نوترون‌ها و بالعکس می‌شود. اثر قابل مشاهده‌ی این تراجهش، واپاشی بتا زایی بعدی هسته‌های پرتوزاست. نیروی ضعیف کوتاه‌برد است و در فواصل کوچک نسبت به نوکلئون عمل می‌کند، بنابراین نیرویی است که بهتر است گفته شود در داخل ذره عمل می‌کند تا در میان ذرات. در نظریه‌ی میدان کوانتومی، ذرات میانجی مبادله‌ی این نیرو را W (که بار الکتریکی مثبت یا منفی دارد) و Z (که از لحاظ الکتریکی خنثی است) می‌نامند.

تا نخستین دهه‌های قرن نوزدهم، الکتریسیته و مغناطیس هر یک جدا از دیگری جزو مبادی نیروهای بنیادی طبیعت تلقی می‌شد. در آن زمان هنوز روشن نشده بود که این‌ها دو نمود مختلف از یک نیروی بنیادی واحدند. با کارهای هانس کریستیان اورستد، مایکل فاراده، و جیمز کلرک ماکسول بود که این دو نیرو در قالب نیروی

الکترومغناطیسی با هم یکی شدند. در نیمه‌ی دوم قرن بیستم، فیزیکدان‌های بسیاری تلاش کردند تا نیروهای بیش‌تری را وحدت ببخشند. و هدف‌نهایی‌شان این بود که نشان بدهند همه‌ی نیروها نمودهای یک برهم‌کنش واحداًند. در این رهیافت، در انرژی‌های به‌قدر کافی زیاد، چهار نیروی بنیادی‌ای که در بالا گفتیم از لحاظ نظری از همدیگر تمایزناپذیر خواهند شد. اما در انرژی‌های کمتر، این برهم‌کنش‌ها خاصیت‌های منحصر به خودشان را پیدا می‌کنند و به صورت نیروهایی از انواع مختلف جلوه‌گر می‌شوند. موفقیت‌هایی در وحدت‌بخشی نظری نیروهای الکترومغناطیسی و ضعیف در قالب یک برهم‌کنش الکتروضعیف حاصل شده است.

رده‌ای از نیروها که در بحث بالا صریحاً از آن یاد نشده، نیروهای تماسی است. نمونه‌های نیروی تماسی عبارت‌اند از نیرویی که از دست به کتابی که روی میز می‌لغزد وارد می‌شود، نیروی عمودی‌ای که از کف اتاق به شخصی که روی آن ایستاده وارد می‌شود، نیروی کشش موجود در یک رشته تار، نیروی اصطکاکی که از یخ به قرص‌های لغزنده وارد می‌شود، و از این قبیل. در واقع، همه‌ی این نیروها اساساً الکترومغناطیسی‌اند. وقتی دستی کتابی را روی میزی هل می‌دهد، آنچه موجب تغییر حرکت کتاب می‌شود در واقع نیروی دافعه‌ی الکتریکی بین اتم‌های دست و اتم‌های کتاب است. نیروی عمودی ناشی از کف اتاق هم دافعه‌ی الکتریکی بین اتم‌های کف اتاق و کف پا یا کشش مشخص است. کشش نخ ناشی از جاذبه‌ی میان اتم‌هایی است که نخ را تشکیل داده‌اند. اصطکاک میان قرص‌های لغزنده و یخ ناشی از برهم‌کنش الکترومغناطیسی‌ای است که در هر لحظه هنگام لغزش اتم‌های قرص و اتم‌های یخ از روی همدیگر پدید می‌آید.

بنابراین، در سطح ماکروسکوپیکی، تنها نیروهایی که در تجربیات روزمره مستقیماً با آن‌ها مواجه می‌شویم یکی نیروی گرانشی (برهم‌کنش ما با زمین) است، و دیگری نیروی الکترومغناطیسی (در برهم‌کنش‌های دیگری است که در دور و برمان مشاهده می‌کنیم). برهم‌کنش‌های اشیای ماکروسکوپیکی در واقع به واسطه‌ی نیروهایی است که بین ذرات میکروسکوپیکی تشکیل‌دهنده‌شان وجود دارند. نیروهای قوی و ضعیف (هسته‌ای) در تمام پدیده‌های میکروسکوپیکی دور و برمان دخالت دارند، ولی ما در پدیده‌های قابل مشاهده و روزمره مستقیماً با آن‌ها سروکاری نداریم.

گاهی نیروها را در دو دسته‌ی پایستار و ناپایستار، یا اتلافی، از هم متمایز می‌کنند. نیروی پایستار آن است که اگر به سیستمی اثر کند امکان می‌دهد که انرژی‌های جنبشی و پتانسیل‌طوری به هم تبدیل شوند که مجموع‌شان همواره ثابت بماند. مثلاً، توپی را در نظر بگیرید که به هوا پرتاب شده است و فرض کنید مقاومت هوا هم صفر است؛ در این صورت انرژی مکانیکی سیستم توپ - زمین، یعنی مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل گرانشی این سیستم، در تمام مدت حرکت مقدار ثابتی است - علتش این است که نیروی گرانشی نیروی پایستار است. نیروی الکتریکی هم پایستار است: وقتی الکترونی در تفنگ الکترونی یک تلویزیون شتاب می‌گیرد، مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل الکتریکی آن ثابت می‌ماند.

از طرف دیگر، حالا فرض می‌کنیم مقاومت هوا بر توپ مؤثر باشد. مقاومت هوا موجب افزایش انرژی داخلی توپ و هوا می‌شود، یعنی دمای آن‌ها را بالا می‌برد. این انرژی از همان انرژی کل جنبشی به اضافه‌ی پتانسیل تأمین می‌شود، یعنی این مجموع به علت مقاومت هوا کاهش می‌یابد. پس مقاومت هوا یک نیروی ناپایستار است - چون موجب می‌شود که مقداری از انرژی به انرژی داخلی تبدیل شود. به همین ترتیب، اصطکاک میان کتاب لغزنده و سطح میز هم موجب افزایش دمای کتاب و سطح میز می‌شود. قدری از انرژی جنبشی وابسته به حرکت کتاب به انرژی داخلی سیستم تبدیل می‌شود. پس اصطکاک هم نمونه‌ی دیگری از نیروهای ناپایستار است.

نیروهای بین ذرات ذاتاً پایستارند - نیروهای بنیادی ای که در بالا گفتیم به شرطی که فرض کنیم بین زوجی از ذرات عمل می‌کنند پایستارند. اما اگر برهم‌کنش این نیروها با ماده‌ی اطراف را هم به حساب بیاوریم، امکان دارد نیروهای ناپایستار هم وارد عمل شوند. در هر دو مورد مقاومت هوا و اصطکاک که در بالا گفتیم، جسم مورد نظرمان در واقع با ماده‌ی اطراف برهم‌کنش دارد و در نتیجه امکان دارد که انرژی وابسته به آن به انرژی داخلی ماده‌ی پیرامون تبدیل شود.

دانستنی



نیروی عمودی (تکیه‌گاه)

چرا کف اتاق نمی‌گذارد به طرف پایین سقوط کنیم؟ از لحاظ مفهومی، با در نظر گرفتن اتم‌های هر یک از این دو جسم (پای ما و کف اتاق) و مقاومت‌شان در مقابل تراکم اتمی و با استفاده از اصل عدم قطعیت می‌توان به چنین پرسشی پاسخ گفت. اما برای پاسخ به پرسش‌هایی از این قبیل، باید برهم‌کنش‌های کوانتومی بین پا و کف اتاق را به دقت تحلیل کنیم - که حتی برای پیشرفته‌ترین رایانه‌ها هم کار دشواری است. بنابراین، فیزیکدان‌ها برای ساده کردن مسئله، یک نیروی ماکروسکوپیکی به نام نیروی عمودی تعریف می‌کنند که همه‌ی این برهم‌کنش‌های اتمی پیچیده را در بر می‌گیرد و اثر جمعی‌شان را توصیف می‌کند.

اسم این نیرو را برای این عمودی گذاشته‌اند که به‌طور عمود بر سطح جسم وارد می‌شود. این نیرو از جمله‌ی نیروهای تماسی است، به این معنی که فقط تا وقتی وجود دارد که دو جسم با هم در تماس باشند. در مثال بالا، کف اتاق در جهت عمود بر سطح آن نیروی عمودی به پای ما وارد می‌کند. پای ما هم، بنا به قانون سوم نیوتون، در جهت عمود بر کف خودش نیروی عمودی بر کف اتاق وارد می‌کند.

نیروی عمودی وابسته به نیروهای دیگر است. وقتی کتابی به جرم 5kg روی یک میز تخت و افقی (در سطح دریا در کره‌ی زمین) قرار داشته باشد، میز نیروی عمودی برابر با 49N به این کتاب وارد می‌کند. اما اگر ما هم کتاب را با نیروی 20N به پایین فشار بدهیم، نیروی عمودی ناشی از میز به کتاب هم به 69N افزایش پیدا می‌کند.

یکی از عادی‌ترین مواردی که با نیروی عمودی روبه‌رو می‌شویم، وقتی است که روی ترازوی حمام می‌ایستیم تا خودمان را وزن کنیم. در واقع، این ترازو نیروی عمودی‌ای را که خودش به ما وارد می‌کند اندازه می‌گیرد. این نیروی عمودی، که از قضا در این مورد درست برابر وزن ماست، مانع از آن می‌شود که ما به پایین‌تر از صفحه‌ی ترازو «سقوط» کنیم. در واقع، وقتی جسمی را اصطلاحاً بی‌وزن می‌گوییم که نیروی عمودی بین آن و جسم دیگر صفر شود. مثلاً، اگر بگذاریم میزی که کتابی روی آن است از ارتفاعی سقوط کند، نیروی عمودی بین میز و کتاب صفر می‌شود. در این صورت، می‌گوییم که میز و کتاب در حال سقوط آزادند. فضانوردانی که در شاتل فضایی به دور

زمین می‌گردند هم در حال سقوط آزادند. بنابراین، اگر بتوانیم نیروی عمودی وارد بر فضاوردی را که بر صندلی‌اش «نشسته» است اندازه بگیریم، خواهیم دید که صفر است.

از نیروی عمودی برای محاسبه‌ی شتاب‌های گرانشی‌ای که بر خلبانان در پروازهای آکروباتی اثر می‌کند، بسیار استفاده می‌شود. مثلاً، امروزه هواپیماهای جت قدرت‌مند می‌توانند شتاب‌هایی در حدود ۸ تا ۹ برابر شتاب گرانی g ایجاد کنند. اما خلبان نوعی، بدون تجهیزات خاص یا آمادگی فیزیکی، فقط می‌تواند ۳ تا ۴ g را به‌طور مداوم تحمل کند. بنابراین، برای خلبان خیلی اهمیت دارد که بداند کشش چند g را تحمل می‌کند. عدد g یا مضرب شتاب گرانی‌ای که خلبان حس می‌کند برابر با نیروی عمودی وارد بر خلبان تقسیم بر وزن اوست. خلبان هواپیمای F-۱۶، در یک حلقه‌زنی پشت و رو (با شعاعی در حدود ۸۲۵m)، معمولاً بخش پایینی حلقه را با سرعت هوایی 350 m/s (۱۸۰ گره) طی می‌کند. خلبان در این نقطه شتاب ۵ g را تحمل می‌کند. به عبارت دیگر، در این نقطه نیروی عمودی وارد بر خلبان به پنج برابر وزن او افزایش می‌یابد.

دانستنی

وزن

وزن هر جسم نیرویی است که از جسم پر جرم دیگری مثل سیاره، ماه، یا سیارک بر جسم موردنظر وارد می‌شود. مثلاً، در مورد زمین، نیرویی است که اجسام را به طرف زمین می‌کشد و نمی‌گذارد که در فضا به پرواز دربیایند. وزن هر جسم متناسب با جرم آن است و بستگی به موقعیت جسم دارد؛ و بنابراین یک خاصیت بیرونی (عرضی) جسم است. معنی «وزن» برای علم‌پیشگان و غیر علم‌پیشگان خیلی فرق می‌کند. برای علم‌پیشه، تعریف دقیق این است که وزن کمیتی برداری است و با $W = mg$ بیان می‌شود، که در آن m جرم جسم و g شتاب سقوط آزاد جسم است. با آن که سطح زمین چارچوب مرجع لخت نیست، بردار g را می‌توان با تقریب خوبی از قانون نیروی گرانشی به‌دست آورد؛ مقدار این بردار در سطح زمین در حدود 9.8 m/s^2 و جهت آن به طرف مرکز زمین است.



شکل ۳-۵۷

وزن اجسام نوعاً با ترازوی فنری مدرج تعیین می‌شود. اما چون وزن با جرم متناسب است، ترازوهای فنری را می‌شود هم برحسب یکای وزن و هم برحسب یکای جرم مدرج کرد. ترازوی فنری برای تعیین وزن ممکن است به سادگی ترازوی حمام باشد. یک روش دیگر این است که ابتدا جرم جسم را به وسیله‌ی ترازوی حساسی که آن را با جرم معلومی مقایسه می‌کند، تعیین کنیم و بعد وزن جسم را با استفاده از معادله‌ی بالا محاسبه کنیم. یکای وزن در دستگاه SI نیوتون است (N) که از ترکیبی از یکاهای اصلی جرم (kg)، طول (m)، و زمان (s) به دست می‌آید. یک نیوتون نیرویی است که برای دادن شتاب 1 m/s^2 به جسمی به جرم 1 kg لازم است. یکای رایج وزن در ایالات متحده آمریکا پاوند (lb) است که مساوی است با $4/448 \text{ N}$.

با آن که وزن برای علم‌پیشگان تعریف خیلی دقیقی دارد، اما در کاربرد روزمره‌اش با مفاهیمی بسیار متفاوت روبه‌رو می‌شویم. اصطلاح «وزن» در تمام تاریخ مکتوب برای بیان کمیت معیار مهمی به کار رفته است. یونانیان در خرید و فروش و تجارت کالا از وزنه‌هایی به عنوان معیار مشترک استفاده می‌کردند. مبادله‌ی پول، سنگ‌های قیمتی، و فلزاتی مانند طلا و نقره برحسب وزنه‌های معیار صورت می‌گرفت. رومی‌ها هم شبیه به همین وزنه‌های استاندارد را در تمام اروپا رایج کردند. اما روش مشترک برای اندازه‌گیری، این بود که کالاهای موضوع داد و ستد را با جرم‌های معلومی مقایسه کنند. چنین روشی این خوبی را داشت که دیگر لازم نبود معیارهای تجاری برحسب طول و عرض جغرافیایی تنظیم شوند. امروزه بیش‌تر کشورهای جهان دستگاه متریک را پذیرفته‌اند و یکای جرم در دستگاه SI، یعنی کیلوگرم، جای پاوند را در مبادلات کالا گرفته است.

فضانوردی را در روی زمین در نظر بگیرید که وزن خودش برابر 170 lb و وزن کوله‌پشتی‌اش، که حاوی وسایل ضروری است، برابر 80 lb است. جرم فضانورد، چه در زمین باشد چه در ماه، یا حتی در شرایط «بی‌وزنی»، یکی است. اما در ماه وزن هر جسم یک ششم وزن آن در زمین است. بنابراین، در کره‌ی ماه، وزن این فضانورد فقط 28 lb و وزن کوله‌پشتی‌اش هم در حدود 13 lb است. عضلات فضانورد که در روی زمین می‌توانند (با قدری دشواری) خودش و کوله‌اش را حرکت بدهند مسلماً در ماه برای حمل باری که در مجموع چیزی در حدود 41 lb است مشکلی نخواهند داشت. گواه خوبش فیلم کوتاهی است که از راه رفتن فضانوردان سفینه‌ی آپولو (ی ناسا) در سطح ماه تهیه شده، و آن‌ها را به هنگام نمونه‌برداری و اجرای آزمایش‌ها در آن‌جا نشان می‌دهد. در واقع، این فضانوردان می‌بایست مواظب بوده باشند که خیلی تند نروند و زیاد به بالا جهش نکنند، چون اگر احتمالاً می‌افتادند و به «زمین» می‌خوردند ممکن بود لباس مخصوص فضایی‌شان پاره شود و بالقوه به حادثه‌ی مرگباری بی‌انجامد.

بی‌وزنی وضعیتی است که در آن وزن، یا وزن ظاهری، جسم تقریباً صفر است. از آن‌جا که در این موارد تقریباً همیشه مقداری نیروی گرانشی یا شتاب گرانشی هنوز حضور دارد، بعضی علم‌پیشگان ترجیح می‌دهند که به جای «بی‌وزنی» از اصطلاح میکروگرانی استفاده کنند. در هر حال، به دو طریق می‌شود به چنین وضعیتی رسید. یکی این که جسم در محلی واقع شود که به قدر کافی از همه‌ی چشمه‌های نیروی گرانشی دور باشد، چنان‌که در یک چارچوب مرجع لخت وزن آن تقریباً به صفر برسد. دیگر این که بگذاریم جسم همراه با محیط دور و برش در میدان جاذبه‌ی گرانشی سقوط آزاد داشته باشد. نمونه‌ای از این مورد اخیر، وضعیت فضانوردی است که در پایگاهی فضایی همراه با خود پایگاه در مداری به دور زمین می‌چرخد. اگر این فضانورد سعی کند در این پایگاه روی صفحه‌ی ترازویی بایستد، هیچ نیروی خالصی بین او و ترازو وجود ندارد و در نتیجه وزن ظاهری‌اش صفر است. درست مثل این است

که جسمی را که روی ترازوی حمام قرار گرفته است همراه با خود ترازو از پنجره به بیرون بیندازیم، و بخواهیم که در موقع سقوط هم وزن جسم را به کمک ترازو به دست آوریم.

دانستنی



بی وزنی

وزن، نیروی گرانی وارد بر جسم است. این نیرو در جهت رو به پایین است و موجب می‌شود که جسم سقوط کند. مگر این که نیروی رو به بالایی آن را خنثی کند. وقتی می‌گوییم «وزنه‌ای که پرتاب می‌شود در روی زمین ۱۶ پوند (یا تقریباً ۷۲ نیوتون) وزن دارد»، منظور این است که زمین این وزنه را با نیروی ۷۲ نیوتونی به سمت خود می‌کشد. جرم جسم اغلب با وزن آن اشتباه می‌شود. اگر به طور سرسری صحبت کنیم، جرم مقدار «ماده‌ای» است که جسم از آن ساخته می‌شود. به طور دقیق‌تر، جرم مقاومت جسم در مقابل شتاب‌گیری است. جرم یکی از خواص ذاتی جسم است، که به مکان استقرار آن بستگی ندارد. وزن جسم با جرم آن متناسب است، اما مقدار آن به مکان جسم بستگی دارد، زیرا گرانی در مکان‌های مختلف شدت‌های متفاوتی دارد. در ارتفاع ۶۴۰۰ کیلومتری زمین، وزنه‌ی پیش‌گفته فقط در حدود ۱۸ نیوتون وزن دارد. در عمق فضا، بسیار دور از زمین و دور از سایر منابع بزرگ گرانی، وزن آن وزنه و وزن ذرات زیر اتمی، کوه‌ها، یا اشخاص همگی صفر است؛ یعنی همه‌ی آن‌ها بی‌وزن‌اند.



شکل ۳-۵۸

هنگامی که به بی‌وزنی می‌اندیشیم، نخست به رهایی از سطح زمین یا رهایی از قید گرانی، فکر می‌کنیم. اما این تنها یکی از وجوه بی‌وزنی است. پرنده‌ای که در حال پرواز است، از قیود سطح زمین رهایی یافته است ولی بی‌وزن نیست. زمین هم چنان این پرنده را به پایین می‌کشد؛ پرنده هنوز همان وزنی را دارد که وقتی روی شاخه‌ی درختی نشسته بود داشت. در هوا یا روی شاخه، بر پرنده نیروهای روبه بالایی وارد می‌شود که نیروی وزن رو به پایین را خنثی می‌کند، و در نتیجه پرنده را از سقوط حفظ می‌کند. روی شاخه‌ی درخت، پرنده این نیروها را از فشار رو به بالای شاخه بر پاهای خود حس می‌کند؛ در هوا این نیروها که چندان بدهی نیستند از [فشار] هوای متحرکی پدید می‌آیند که رو به بالا بر بال‌های پرنده وارد می‌شوند. بال‌ها، بدن پرنده را نگه می‌دارند. بدن، سر او را نگه می‌دارد و همین‌طور تا آخر. هر بخشی از بدن پرنده وزنی دارد و باید نیروی رو به بالایی این وزن را خنثی کند.

در محیط بدون گرانی، هر قسمت از بدن پرنده بی‌وزن است. هیچ قسمتی از بدن پرنده هیچ قسمت دیگری را «نگه نخواهد داشت». اگر ما مثلاً در فضای خارج بی‌وزن باشیم، همه‌ی قسمت‌های بدن ما بی‌وزن خواهند بود و به علت فقدان برهم‌کنش‌های عادی میان قسمت‌های مختلف بدن احساس عجیبی به ما دست می‌دهد. ستون فقرات ما بر اثر وزن قسمت بالای بدن روی قسمت پایین‌تر، تحت فشار نخواهد بود؛ محل مایع گوش میانی تغییر خواهد کرد، و همین‌طور توزیع خون نیز در بدن تفاوت خواهد داشت.

غیر از حواس بدنی، تغییرات بسیار زیادتری نیز به وجود خواهد آمد. ما با فرایندهای روی سطح زمین آشنا هستیم ولی غالباً به نقش گرانی، به علت جدایی‌ناپذیری آن، پی‌نمی‌بریم. در محیطی که بی‌وزنی حاکم است، گیاهان رو به بالا رشد خواهند کرد (اصلاً «رو به بالا» معنی نخواهد داشت)؛ مایعات در ته ظرف قرار نمی‌گیرند (واژه‌ی «ته») فاقد معنی خواهد بود. دود حاصل از شعله‌ی شمع رو به بالا نخواهد رفت؛ در واقع در نبود گرانی، جریان‌های جابه‌جایی هوا که شعله را تغذیه می‌کند ماهیت بسیار متفاوتی خواهد داشت، و با وضعیت قائم شعله روبه‌رو نخواهیم شد (واژه‌ی «قائم» مفهومی نخواهد داشت).

البته برای دسترسی به بی‌وزنی، حتماً لازم نیست که به اعماق فضا سفر کنیم. اگر از سکوی شیرجه به پایین بپریم، از زمانی که سکو را ترک می‌کنیم تا لحظه‌ای که به سطح آب می‌رسیم در حال «سقوط آزاد» هستیم؛ هر قسمت از بدن در حال سقوط آزاد است و با شتاب 9.81 m/s^2 به سمت پایین می‌رود. هیچ قسمتی تندتر یا کندتر از قسمت‌های دیگر سقوط نمی‌کند، و بنابراین هیچ نیرویی بین قسمت‌ها وجود ندارد. این دقیقاً همان مجموعه‌ی برهم‌کنش‌هایی است که اگر در فضای بیرونی بودیم، وجود می‌داشت. این وضعیت تنها به بدن انسان محدود نمی‌شود. اگر در حال سقوط آزاد ظرفی حاوی مایع در دست می‌داشتیم، این مایع ترجیحاً به ته ظرف نمی‌رفت. هم مایع و هم ظرف در حال سقوط آزاد هستند. در واقع هیچ پدیده‌ای که بتواند میان سقوط آزاد و بی‌وزنی تمایز بگذارد، وجود ندارد. در نظریه‌ی کلاسیکی گرانش آیزاک نیوتون، این را به عنوان پیامدی از این واقعیت چشم‌گیر در نظر می‌گیریم که همه‌ی اجسام، مستقل از جرم و ترکیب خود، به‌طور یکسان سقوط می‌کنند (اصل هم‌ارزی). در نظریه‌ی نوین گرانش که آلبرت اینشتین مطرح کرد، این ارتباط بسیار اساسی‌تر است. در توصیف اینشتینی گرانش، در دستگاه مرجعی که سقوط آزاد می‌کند وزن ناپدید می‌شود، درست همان‌طور که نیروی گریز از مرکز در دستگاه مرجعی که دوران نمی‌کند ناپدید می‌شود. هم نیروی گریز از مرکز و هم نیروی وزن وارد بر جسم با جرم آن متناسب‌اند، و هر دوی آن‌ها را اکنون نیروهای حقیقی به حساب نمی‌آوریم، به همین دلیل، توجیه‌پذیر است که بی‌وزنی در دستگاهی را که آزادانه سقوط می‌کند مترادف با بی‌وزنی در عمق فضای بدون گرانی بگیریم.

یکی از پیامدهای هم‌ارزی دستگاه‌های مرجع در حال سقوط آزاد با بی‌وزنی، این است که فضانوردان و آزمایش‌های علمی را می‌توان در هواپیمایی که با شیرجه از ارتفاع زیاد سقوط آزاد می‌کند در معرض بی‌وزنی قرار داد. فضانوردان در درون هواپیما شناوراند، درست مثل این که در عمق فضا هستند. البته چنین شیرجه‌ای فقط برای زمان نسبتاً کوتاهی می‌تواند دوام یابد. فضانوردان و آزمایش‌های علمی را برای آن که مدت زمان طولانی‌تری در حالت بی‌وزنی باشند، در پروازهای مداری قرار می‌دهند. هنگامی که ماهواره‌ها در مدار قراردارند، به طرف زمین در حال سقوط آزاد هستند و این وضعیت هم ارز با استقرار در محیط‌های بی‌وزنی است. این مطلب نه به دلیل کاهش نسبی گرانی در ارتفاع مدار است، بلکه به دلیل این است که آن‌ها بخشی از دستگاه در حال سقوط آزاد هستند.

اگر با تأمین گرانش در ایستگاهی فضایی بتوانیم محیطی مشابه زمین پدید آوریم، محیطی قابل استفاده خواهد بود. گرانی واقعی با شدت درخور توجه را فقط با جرم اجسام بسیار بزرگ نجومی می‌توان تولید کرد. اما براساس تشابه میان نیروهای وزن و گریز از مرکز (به ویژه از این نظر که هر دو متناسب با جرم‌اند)، جانشین مفیدی [برای وزن] به دست می‌آید. فضای مسکونی درون ایستگاه فضایی را علی‌الاصول می‌توان از این نظر به شکل چنبره‌ای توخالی ساخت. اگر این چنبره با آهنگ مناسبی دوران کند، نیروی گریز از مرکز رو به بیرونی را می‌توان تولید کرد که مساوی با نیروی وزن رو به پایین موجود در سطح زمین باشد. ساکنان ایستگاه فضایی، چنبره‌ای به شعاع 1000 m را که هر دقیقه یک بار دور بزند، درست مشابه زمین خواهند یافت.



حل تمرین‌های فصل سوم

تمرین‌های فصل سوم

۱- در هر یک از نیروهای زیر، شکل ساده‌ای از جسم را رسم کرده و نیروهای وارده بر آن را نشان دهد:

الف- جسمی که در هوا در حال سقوط است.
 ب- جسمی که روی یک سطح شیب‌دار به حال سکون قرار دارد.
 پ- زبانی که به دیوار صاف تکیه داده شده است.

۲- در هر یک از نیروهای زیر، نیروهای وارده بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

الف- ستاره زرهه در حال گردش به دور خورشید.
 ب- تویی که به دیوار برخورد می‌کند.
 پ- قالی ساکن بر آب یک دریاچه.
 ت- جراحانی که از یک معلق آویزان است.

۳- دو جسم به جرم‌های m_1 و m_2 که روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارند - تحت تأثیر نیروهای یکسان شروع به حرکت می‌کنند. اگر بعد از گذشت زمان t ، سرعت آن‌ها به ترتیب v_1 و v_2 شود، نسبت $\frac{m_1}{m_2}$ را محاسبه کنید.

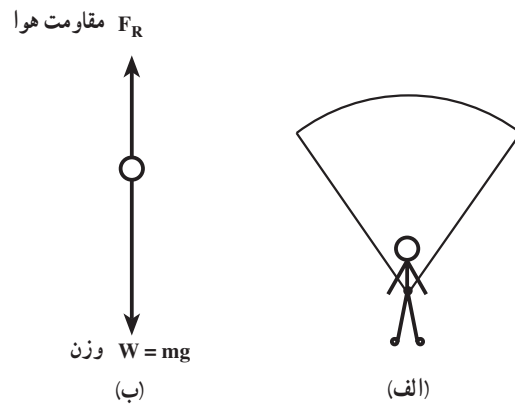
۴- آیا ممکن است که یک جسم در نزدیکی زمین با شتابی بزرگتر از g رو به پایین حرکت کند؟ یک دونه‌ای به جرم m با شتاب $2g$ شروع به پایین می‌کند و t ثانیه با این شتاب می‌دود.

الف- نیروی که این شتاب را به دونه می‌دهد، محاسبه کنید و توضیح دهید که این نیرو از سوی چه جسمی به دونه وارد می‌شود؟
 ب- واکنش نیروی را که در قسمت الف محاسبه کردید، به چه جسمی وارد می‌شود؟
 ۵- گیرنده نجات در کومیل چگونه در حادثه‌ها، سرشتیان کومیل را از وارده شدن صدمه‌هایی احتمالی حفظ می‌کند؟
 ۶- کومیلی به جرم m در حال سکون روی چاه‌ای افقی شروع به حرکت می‌کند و بعد از طی مسافت s با شتاب ثابت، سرخشی به $2g$ می‌رسد. برآیند نیروهای وارده بر کومیل را در این حرکت محاسبه کنید.
 ۸- کومیلی به جرم m با سرعت v روی چاه‌ای افقی و صاف در حرکت است. در یک لحظه راننده ترمز می‌گیرد و کومیل پس از طی مسافت s می‌ایستد.

هدف این پرسش کسب مهارت در ترسیم نیروها بر روی جسم است.

(الف)

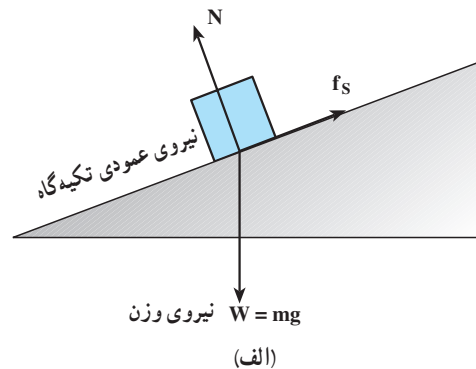
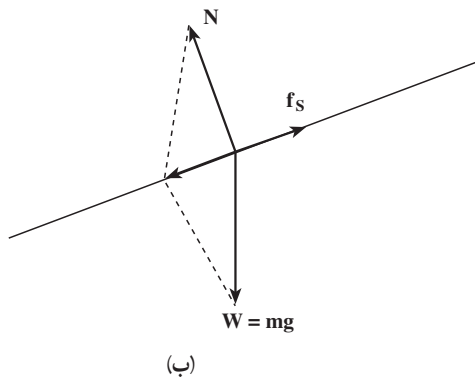
می‌توان یک چترباز یا هر جسم دیگر را در هنگام سقوط در هوا در نظر گرفت .



شکل ۳-۵۹

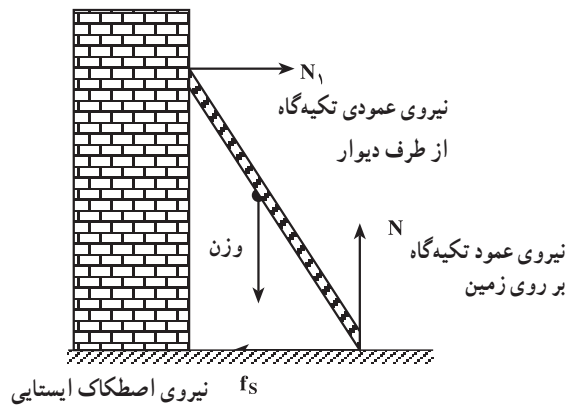
(ب) توجه :

در این تمرین منظور تجزیه نیروها و جای‌گزینی مؤلفه‌ها نیست. فقط هدف آن است که سه نیروی در حال تعادل در عمل نمایش داده شود (البته می‌توان گفت برآیند هر دو نیرو هم اندازه و در خلاف نیروی سوم است)



شکل ۳-۶۰

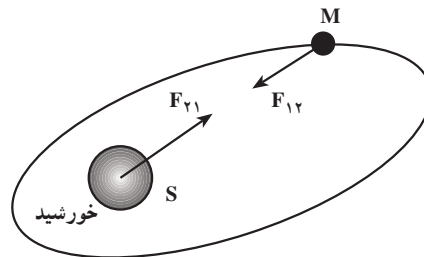
پ) در این تمرین نیز تشخیص نیروهای وارد بر جسم و مهارت در ترسیم درست نیروها مورد نظر است. (اگر دیوار اصطکاک داشته باشد با بالای زردبان نیروی f_s' رو به بالا وارد می شود)



شکل ۳-۶۱

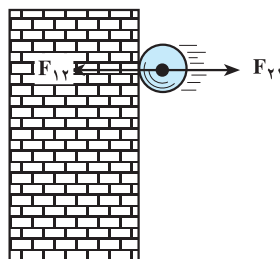
۲- در این تمرین هدف تعیین نیروهای وارد بر جسم و واکنش آن‌هاست.
(الف)

$F_{۲۱}$ نیرویی که خورشید بر زهره وارد می کند
 $F_{۱۲}$ نیرویی که زهره بر خورشید وارد می کند (واکنش نیروی $F_{۲۱}$)

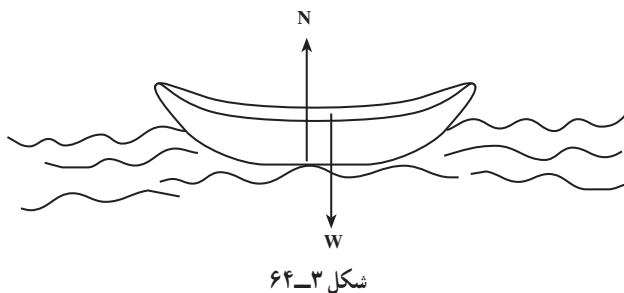


شکل ۳-۶۲

ب) $F_{۲۱}$ نیرویی که توپ به دیوار وارد می کند و $F_{۱۲}$ نیرویی که دیوار به توپ وارد می کند (واکنش نیروی $F_{۲۱}$)



شکل ۳-۶۳



پ) بر قایق دو نیرو وارد می‌شود
 ۱) نیرویی که از طرف زمین به قایق وارد می‌شود (وزن قایق، واکنش این نیرو به مرکز زمین وارد می‌شود).

۲) نیرویی که از طرف آب به قایق وارد می‌شود.

این نیرو نیروی شناوری نام دارد. واکنش این نیرو به آب وارد می‌شود.

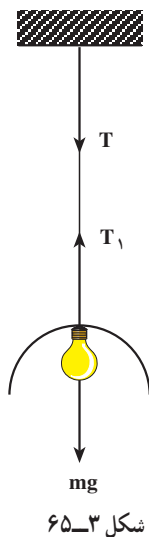
ت) به چراغ دو نیرو وارد می‌شود:

۱) نیروی وزن که از طرف زمین بر جسم وارد می‌شود واکنش این نیرو از طرف جسم به

مرکز زمین اعمال می‌شود.

۲) نیرویی که از سوی طناب به جسم وارد می‌شود واکنش این نیرو به طناب وارد

می‌شود.



۳- هدف این تمرین مهارت در به کارگیری رابطه‌ی $F = ma$ و استنباط رابطه تغییر سرعت جسم (شتاب) با جرم جسم است.

$$F_1 = m_1 a_1 = m_1 \frac{\Delta v_1}{\Delta t}$$

$$F_2 = m_2 a_2 = m_2 \frac{\Delta v_2}{\Delta t}$$

$$F_1 = F_2 \Rightarrow m_1 \frac{v_1 - 0}{t} = m_2 \frac{v_2 - 0}{t}$$

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1}{m_2}$$

۴- هدف این تمرین بررسی اثر یک نیروی خارجی (علاوه بر وزن) بر شتاب حرکت جسم در میدان گرانش زمین است.

پاسخ: آری هنگامی که بر جسم نیرویی رو به پایین در هنگام سقوط اعمال شود مثلاً وقتی از یک هواپیمای جنگی موشکی به هدف زمینی شلیک می‌شود، شتاب در آغاز حرکت بیش از g است.

۵- هدف‌های این تمرین عبارت‌اند از :

- ۱- تشخیص نیروی وارد بر اجسام وقتی روی سطح زمین حرکت می‌کنند.
 - ۲- برآورد و مقایسه شتاب حرکت جسم با شتاب ناشی از این حرکت بر زمین
- پاسخ :

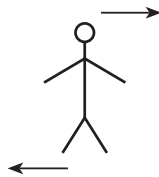


$$F = ma = 60 \times 5 = 300 \text{ N}$$

شکل ۳-۴۶

این نیرو را زمین به دهنده می‌دهد.

دهنده با پا به زمین ضربه می‌زند، واکنش آن را از طرف زمین نیز دریافت می‌کند. واکنش



زمین در امتداد افق شخص را به طرف جلو پرتاب می‌کند.

۶- هدف این تمرین مطالعه‌ی خاصیت لختی در برخی از رخداد‌های روزانه است وقتی سرنشین خودرو روی صندلی نشسته است، کاملاً به دستگاه وصل نشده است (یک پارچه نیست) بنابراین در ترمز ناگهانی سرنشین بنابر خاصیت لختی در مسیر حرکت به راه خود ادامه می‌دهد و به طرف شیشه جلو پرتاب می‌شود. کمربند ایمنی سرنشین را با دستگاه یک پارچه می‌کند و شتاب حرکت سرنشین در رخداد‌های ناگهانی شتاب خودرو می‌شود. (همراه وسیله‌ی نقلیه شتاب می‌گیرد)

۷- هدف این تمرین مهارت در به کارگیری مطالب مربوط در فصل ۲ در حل مسأله‌های دینامیک است.

$$v^2 - v_0^2 = 2a(\Delta x)$$

چون از حال سکون حرکت می‌کند $v_0 = 0$ و $400 = 2a(100)$

$$a = 2 \text{ m/s}^2$$

$$F = ma$$

$$m = 2 \times 1000 = 2000 \text{ Kg}$$

$$F = 2000 \times 2 = 4000 \text{ N}$$

۸- هدف این تمرین کسب مهارت در یافتن ارتباط بین نیروی

وارد بر دستگاه و چگونگی حرکت جسم است.

$$v = 72 \text{ Km/h} = \frac{72 \times 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(\Delta x)$$

الف) در توقف $v = 0$

$$0 - 20^2 = 2a(125)$$

$$a = \frac{-400}{250} = \frac{-8}{5} = -1.6 \text{ m/s}^2$$



شکل ۳-۶۷

کتاب: بنابر حرکت اوجیل من از زیر
 سبب نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر اوجیل را مشخصه کنید.
 ۹- اوجیل به دور ۱۰۰ دور در ثانیه از نظر به مسافت شروع به حرکت می‌کند و پس از
 ۱۰ ثانیه متوقف می‌شود.

کتاب: زمان توقف اوجیل را در اوجیل
 سبب نیروی در به جلو که به اوجیل وارد می‌شود را در صورتی که نیروی اصطکاک
 جنبشی در حالت حرکت اوجیل ۲۵۰ N باشد مشخصه کنید.
 ۱۰- در مثال ۳-۲۲ چهار نیروی
 که به یک هواپیمای در حال پرواز وارد
 می‌شود، نشان داده شده است.

نیروی وزن
 نیروی سبب
 نیروی اصطکاک
 نیروی پیشرانه

زادگی این نیروها را در مواجبت‌های زیر بیان کنید.
 الف) هواپیمای در یک زاویه پرواز است و با سرعت ثابت پرواز می‌کند.
 ب) هواپیمای در حال ترمز کردن است و ارتفاع آن کم می‌شود.
 ج) هواپیمای در حال ترمز کردن است و ارتفاع آن کم می‌شود.
 ۱۱- یک هواپیمای به جرمی که در آن ۱۰۰۰۰ کیلوگرم است، ۱۰۰۰ کیلوگرم را که به آن
 وارد می‌کند در هر یک از حالت‌های زیر مشخصه کنید.
 ک) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.
 د) جسم در راستای عمود بر سطح ۳۰ درجه شروع حرکت کند.
 ه) جسم در راستای عمود بر سطح شروع حرکت کند.
 ۱۲- جسمی را با سرعت افقی ۱۰۰ m/s از روی سطح افقی برانید می‌کنید. ضربه اصطکاک
 جنبشی بین جسم و سطح بر آن ۱۰۰ N است.
 ک) به جسم پس از چیدن چند مسافت می‌رسد.
 سبب اثر ضربه دیگری که وارد بر سرعت آن می‌شود را در هر دو صورت مشخصه کنید.
 الف) برای همان سطح و زمان مورد نیاز، ضربه و مسافت چیده شده آن چند بر آن می‌شود.
 ۱۳- وزنه‌ای به جرم ۱۰۰ kg را به آنگاه عمودی به طول ۱۰۰ m که ثابت آن ۱۰۰ N/m است

$$F = ma = 1200 \times (-1/6) = -1920 \text{ N} \quad (\text{ب})$$

۹- الف)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12 - 0}{8} = 1.5 \text{ m/s}^2$$

$$F = ma = 900 \times 1.5 = 1350 \text{ N}$$

ب) اگر نیروی رو به جلو را با F_T نشان دهیم، با نوشتن قانون دوم نیوتون خواهیم داشت:

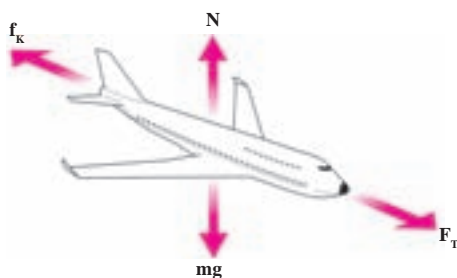
$$F_T - f_k = ma$$

$$F_T - 450 = 1350 \Rightarrow F_T = 1800 \text{ N}$$

۱۰- الف) در آن صورت برآیند نیروهای وارد بر هواپیما در راستای افق و نیز در امتداد قائم صفر است.

نیروی وزن $N = mg$ نیروی بالابر، و

نیروی مقاومت هوا $F_T = F_R$ نیروی جلوبر



شکل ۳-۶۸

ب) در این صورت: (نیروی وزن) > (نیروی بالابر) و (مقاومت هوا) > (نیروی جلوبر)

پ) در این حالت: (نیروی وزن) < (نیروی بالابر) و نیز (مقاومت هوا) < (نیروی جلوبر)

۱۱- الف) چون جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت می‌کند، تنها نیروی وارد بر آن در امتداد افق نیرویی است که آن را به جلو حرکت می‌دهد.

$$F = ma$$

$$F = 5 \times 2 = 10 \text{ N}$$

ب) چون فرض شده است سطح دارای اصطکاک است بنابراین در راستای افق دو نیرو بر جسم اثر می‌کند یکی

نیرویی که آن را به جلو حرکت می‌دهد و دیگری نیروی اصطکاک

$$F - f_k = ma$$

نیروی اصطکاک را از رابطه $f_k = \mu_k N$ به دست می‌آوریم.

$$N - mg = 0$$

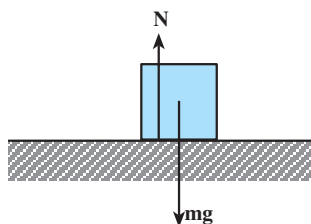
$$N = mg$$

$$f_k = \mu_k mg$$

$$F - \mu_k mg \Rightarrow F = \mu_k mg + ma$$

$$F = 0.2 \times 5 \times 10 + 5 \times 2 = 20 \text{ N}$$

در این حالت



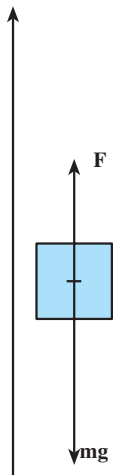
شکل ۳-۶۹

$$F - mg = ma$$

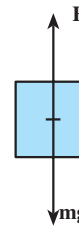
$$F = mg + ma$$

$$F = 5 \times 10 + 5 \times 2 = 60 \text{ N}$$

y



شکل ۳-۷۱



(ب)

شکل ۳-۷۰

(ت) جهت مثبت محور y را جهت مثبت انتخاب می‌کنیم.

$$F - mg = ma$$

حرکت رو به پایین است و $a = -2 \text{ m/s}^2$

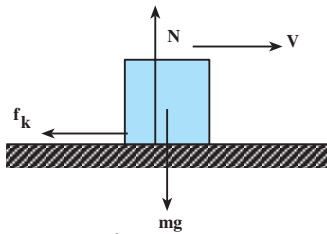
$$F = mg + ma = 5 \times 10 + 5 \times (-2)$$

$$F = 40 \text{ N}$$

۱۲- هدف تمرین در قسمت (الف) بررسی حرکت وقتی نیروی مؤثر نیروی اصطکاک باشد.

در این جا ممکن است بار دیگر به دانش آموز گوشزد کنیم که نیرویی که جسم را پرتاب می‌کند، در مسیر حرکت

موجود نیست.



شکل ۳-۷۲

هدف تمرین در قسمت (ب) بررسی رابطه‌ی شتاب کند شدن با جرم و سرعت

است. در این جا تنها نیروی اصطکاک بر جسم اثر می‌کند.

$$f_k = ma$$

پاسخ الف:

برای محاسبه نیروی اصطکاک، نیروی عمودی تکیه‌گاه را به دست می‌آوریم.

در راستای قائم داریم:

$$N - mg = 0 \Rightarrow N = mg$$

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow f_k = \mu_k mg$$

$$-ma = \mu_k mg$$

جهت نیروی f_k منفی است بنابراین:

$$a = -\mu_k g = -0.2 \times 10 = -2 \text{ m/s}^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(\Delta x)$$

$$v = 0 \text{ در توقف } 0 - 10^2 = -2 \times 2 \times \Delta x \Rightarrow \Delta x = 25 \text{ m}$$

پاسخ ب: رابطه $a = -\mu_k g$ نشان می‌دهد که شتاب کند شدن مستقل از جرم است و از آن جا داریم:

$$a = 0.2 \times 10 = 2 \text{ m/s}^2$$

$$-2 \times 2^2 = -2 \times 2 (\Delta x_2)$$

$$\Delta x_2 = 10 \text{ m}$$

به عبارت دیگر چون شتاب کند شدن تغییر نمی‌کند، وقتی سرعت اولیه ۲ برابر باشد، مسافت توقف ۴ برابر

$$v_0' = 2v_0 \quad \Delta x_0' = \frac{v_0'^2}{2a} = \frac{4v_0^2}{2a} = 2(\Delta x_0)$$

می‌شود.

می‌بینیم و فاصله از سقف یک آسانسور آوزان می‌کند. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

الف - آسانسور ساکن است.

ب - آسانسور با سرعت ثابت 2 m/s رو به پایین در حرکت است.

ج - آسانسور با شتاب ثابت 2 m/s^2 از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

۱۲ - جسمی به جرم 2 kg روی یک سطح افقی به حال سکون قرار دارد (شکل ۳۲-۳). به جسم نیروی افقی 4 N وارد می‌کنیم.

الف - به ازای $F = 12\text{ N}$ جسم ساکن می‌ماند. نیروی اصطکاک 2 N دارد و آن جقدر است.

ب - به ازای $F = 20\text{ N}$ جسم در آنساخته حرکت قرار می‌گیرد و با ضریب اصطکاک بسیار کوچکی شروع به حرکت می‌کند و پس از 1 m مسافت 2 m را می‌پیماید. ضریب اصطکاک ایستایی و جنبشی را محاسبه کنید.

۱۵ - الف - نیروی گرانش را که زمین بر ماه وارد می‌کند، محاسبه کنید.

ب - نیروی گرانش ماه بر زمین جقدر است؟

۱۶ - جرم زمین $6 \times 10^{24}\text{ kg}$ ، جرم ماه $7.4 \times 10^{22}\text{ kg}$ ، فاصله‌ی ماه از زمین $3.8 \times 10^8\text{ m}$ و $G = 6.67 \times 10^{-11}\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ را بکار بگیرید.

۱۷ - برای یک راننده، با داشتن مسافت توقف، اوجیل او اهمیت دارد. علامت زیر گراهی به ما می‌گوید که کل مسافت توقف، دو قسمت دارد (شکل ۳۲۸-۳):

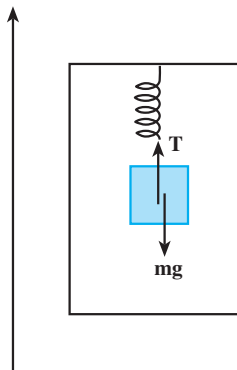


الف - دو عامل مؤثر در مسافت فکر کردن را نام ببرید.

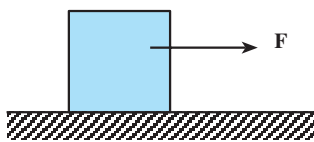
ب - سه عامل مؤثر در مسافت ترمز را نام ببرید.

پس از زمان واکنش راننده‌ای 0.4 s است. در طی این زمان، اوجیل 22 m/s طی می‌کند. سرعت اوجیل را حساب کنید.

متن با این سرعت راننده ترمز می‌کند و اوجیل پس از 1.9 m متوقف می‌شود. شتاب کاهش یافته اوجیل را حساب کنید.



شکل ۳-۷۳



شکل ۳-۷۴

۱۳ - هدف این تمرین بررسی نیرویی است که جسم به تکیه‌گاه (وزن ظاهری) اعمال می‌کند.

الف) $T - mg = ma = 0$ (نیروی کشش)

$$T = mg = 20\text{ N}$$

$$T = k(\Delta L)$$

$$k = 20 \frac{\text{N}}{\text{cm}} = \frac{20\text{ N}}{10^{-2}\text{ m}} = 2000\text{ N/m}$$

$$20 = 2000(\Delta L) \quad \Delta L = 0.01\text{ m} = 1\text{ cm}$$

$$L = 12\text{ cm} + 1\text{ cm} = 13\text{ cm}$$

ب)

چون سرعت ثابت است $a = 0$ ، $T - mg = 0$

$$T = 20\text{ N}$$

$$20 = 2000(\Delta L) \Rightarrow \Delta L = 0.01\text{ m}$$

$$L = 12\text{ cm} + 1\text{ cm} = 13\text{ cm}$$

پ) $T - mg = ma$

چون جهت حرکت رو به پایین است،

$$T - mg = ma \quad (a = -2)$$

$$a = -2\text{ m/s}^2$$

$$T = 2 \times 10 + 2(-2) = 16\text{ N}$$

$$T = k(\Delta L)$$

$$16 = 2000(\Delta L) \Rightarrow \Delta L = 0.008\text{ m}$$

$$\Delta L = 0.008 \times 100 = 0.8\text{ cm}$$

$$L = 12 + 0.8 = 12.8\text{ cm}$$

ت)

$$T - mg = ma$$

$$T = mg + ma = 2 \times 10 + 2 \times 2 = 24\text{ N}$$

$$T = k(\Delta L) \quad \Delta L = \frac{T}{k} = \frac{24}{2000} = 0.012\text{ m} = 1.2\text{ cm}$$

$$L = 12 + 1.2 = 13.2\text{ cm}$$

۱۴ - هدف در این مسأله به طور کامل مهارت در

حل مسأله‌ها در هنگام تأثیر نیروی اصطکاک ایستایی و جنبشی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف) چون جسم ساکن است $a = 0$

$$F - f_s = 0 \quad f_s = F = 15 \text{ N}$$

ب) چون جسم در آستانه‌ی حرکت است. $f_s = f_{s \max}$ و در نتیجه

$$\mu_s = \frac{f_{s \max}}{N} \quad N = mg$$

$$\mu_s = \frac{20}{50} = 0.4$$

جسم با ضربه کوچکی به راه می‌افتد، در این جا متذکر می‌شویم نیروی کوچک را وارد محاسبه نمی‌کنیم. بلکه آن را عامل تغییر وضعیت جسم محسوب می‌کنیم. وقتی جسم به راه می‌افتد نیروی اصطکاک، نیروی اصطکاک جنبشی است. با توجه به قانون دوم نیوتون داریم:

$$F - f_k = ma$$

$$2x = \frac{1}{2} at^2 \quad \text{برای محاسبه شتاب داریم:}$$

$$32 = \frac{1}{2} \times a \times 64 \Rightarrow a = 1 \text{ m/s}^2$$

$$20 - f_k = 5 \Rightarrow f_k = 15 \text{ N}$$

$$f_k = \mu_k N \Rightarrow \mu_k = \frac{15}{50} = 0.3$$

$$F_{em} = G \frac{M_e m_m}{r^2} \quad \text{و} \quad r = 4 \times 10^8 \text{ m} \quad -15$$

$$F_{em} = 6.6 \times 10^{-11} \frac{6 \times 10^{24} \times 7.4 \times 10^{22}}{(4 \times 10^8)^2}$$

$$= 6.6 \times 10^{-11} \frac{7.4 \times 6 \times 10^{46}}{64 \times 10^{16}}$$

$$= 4.58 \times 10^{19} \text{ N}$$

نیروی گرانشی ماه بر زمین نیز همین مقدار است.

۱۶- الف) ۱- تصمیم‌گیری راننده با دیدن رخدادی فکر می‌کند که چگونه عمل کند.

۲- زمانی که فرمان صادر شده از مغز به عضو (پا) جهت اجرا می‌رسد (حدود ۰/۱ ثانیه)

ب) سرعت اولیه، شتاب ترمز (نیروی ترمز) کیفیت سطح جاده و لاستیک‌ها

ب) در زمان واکنش راننده، خودرو حرکت یکنواخت دارد.

$$\Delta x_1 = vt \quad v = \frac{24}{0.6} = 40 \text{ m/s}$$

در زمانی که راننده ترمز می‌کند، خودرو حرکت کندشونده دارد. در لحظه‌ی توقف

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - 40}{1} = -40 \text{ m/s}^2 \quad v = 0$$