فصل ۱۱

نیرو و قانون‌های نیوتون

مفهوم پیکان‌های رسم شده روی شکل چیست و چرا در جهت‌های مختلف رسم شده‌اند؟

سیمای فصل

۳-۱ اثرهای نیرو

۳-۲ قانون‌های حرکت نیوتون

۳-۳ قانون‌های نیرو

۳-۴ اندازه حرکت (تکانه)

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها

جـرم این هواپیمای نظامـی درحین پرواز می‌تواند تا ۲۶۵ تن باشد!

نیرو و قانون‌های نیوتون

در فصل دوم درباره‌ی حرکت اجسام به کمک کمیت‌هایی مانند مکان، جابه‌جایی، سرعت متوسط، سـرعت و شـتاب تا حدود زیادی صحبت کردیم ولی درباره‌ی این‌که چگونه جسـمی به حرکت در می‌آیـد یـا نوع حرکت آن چگونه تغییر می‌کند، بحثی به میان نیامد. در این فصل به بحث درباره‌ی علل حرکت خواهیم پرداخت و برای این منظور مفهوم‌های جرم و نیرو را معرفی می‌کنیم.

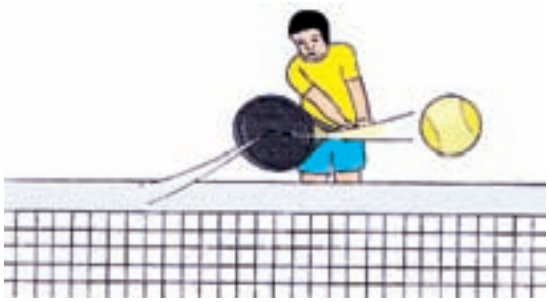
نیوتون نخسـتین دانشـمندی بود که پس از گالیله، به تفصیل و با روش علمی به بررسی حرکت اجسام و علل آن پرداخت. قانون‌های حرکت که بخش اساسی و مهم این فصل را تشکیل می‌دهند به نام قانون‌های نیوتون نام‌گذاری شده‌اند.

۳-۱ اثرهای نیرو

نیرو، یکی از مفهوم‌های مهم برای بررسـی علل حرکت جسـم است. در کتاب‌های علوم دوره‌ی ابتدایی و راهنمایی تا حدودی با این مفهوم آشـنا شده‌اید. برای شناخت و درک بهتر مفهوم نیرو به معرفی اثرهای نیرو بر یک جسم می‌پردازیم. شکل ۳-۱ اثرهای مختلف نیرو را بر یک جسم نشان می‌دهد. به عبارت «ممکن اسـت» در هر جمله توجه کنید، زیرا اعمال نیرو به یک جسـم «ممکن است» سبب تغییر مورد نظر شود.

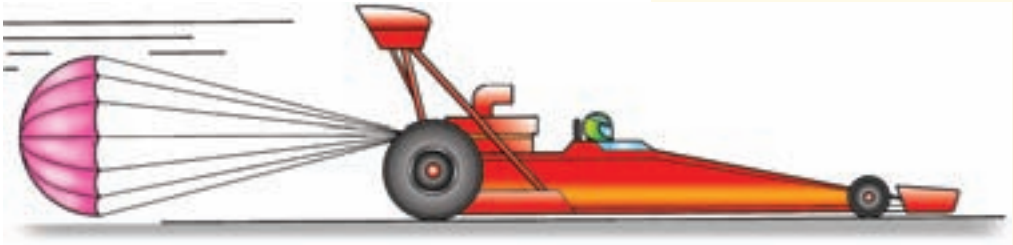
شکل ۳-۱ اثرهای نیرو به شکل‌های بسیار مختلفی همچون هل دادن، کشیدن، پیچاندن و فشار آوردن وجود دارد.

وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث شروع حرکت آن شود.



وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث تغییر جهت آن شود.

وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث سریع‌تر شدن حرکت آن شود.



وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث کند شدن حرکت آن شود.

وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث تغییر شکل آن شود.

وارد کردن نیرو به جسم، ممکن است باعث توقف حرکت آن شود.

فعالیت ۳-۱

سه ورزش متفاوت را انتخاب کنید. برای هر ورزش وضعیتی را توصیف کنید که نیرو وارد شده است و توضیح دهید که این نیرو چه کرده است.

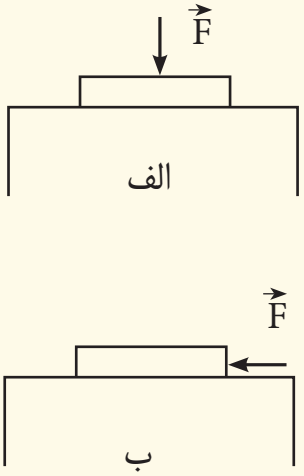
پرسش ۳-۱

با توجه به شکل ۳-۱،پنج حالت متفاوت را که «ممکن است» با وارد کردن نیرو به یک جسم رخ دهد، نام ببرید.

ویژگی‌های نیرو

نیرو کمیتی برداری و دارای اندازه و جهت است. برای مثال اگر کتابی را که در اختیار دارید روی میز قرار دهید و از بالا به آن نیرو وارد کنید، هر اندازه هم که اندازه‌ی نیرو را افزایش دهید کتاب حرکتی نخواهد کرد (شکل ۳-۲ الف) در صورتی که اگر جهت نیرو را تغییر دهید یا آن را به طور مایل یا افقی به کتاب وارد کنید، بسته به بزرگی نیرو، ممکن است کتاب حرکت کند (شکل ۳-۲ ب). این تجربه‌ی ساده نشان‌دهنده‌ی برداری بودن نیروست.

بزرگی یا اندازه‌ی نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. شکل ۳-۳ یک نیروسنج را نشان می‌دهدکه بر حسب یکای نیرو، یعنی نیوتون، درجه‌بندی شده است. نیوتون را با نماد N نشان می‌دهند. برای آن‌که تصوری از اندازه‌ی یک نیرو به دست آورید به مثال‌های شکل ۳-۴ توجه کنید.



شکل ۳-۲ نیرو کمیتی برداری است که علاوه بر بزرگی جهت نیز دارد.

۳-۲ قانون‌های حرکت نیوتون

بررسی حرکت اجسام و یافتن علل آن از قرن‌ها پیش ذهن بشر را به خود مشغول کرده بود به طوری‌که توضیح ارسطویی حرکت که با بسیاری از مشاهده‌های مبتنی بر حس سازگار بود برای مدت ۲۰ قرن مورد پذیرش عام بود.

گالیله با انجام آزمایش و تعمیم ذهنی نتیجه‌های آزمایش نخستین کسی بود که در برداشت ارسطو از علل حرکت تردید کرد و بی‌نیازی حرکت یکنواخت اجسام به نیرو را ارائه داد.

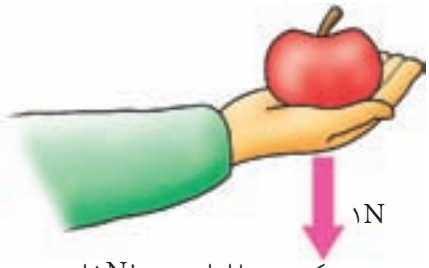
نیوتون، دانشمند انگلیسی پس از بررسی‌های دقیق درباره‌ی حرکت اجسام و با اطلاع از نظرهای دانشمندان قبل از خود سه قانون درباره‌ی حرکت اجسام ارائه کرد.

شکل ۳-۳ درجه‌بندی روی نیروسنج بزرگی نیرو رانشان می‌دهد.

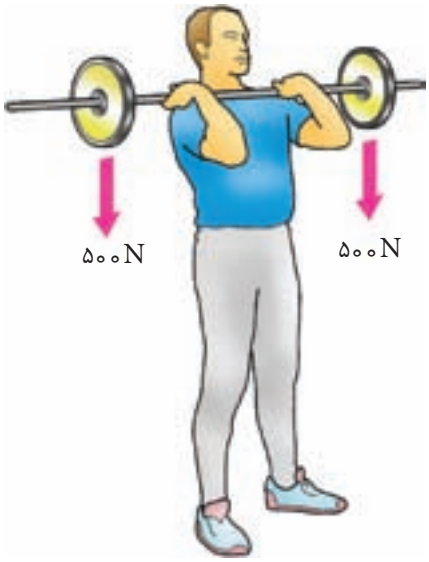
شکل ۳-۴ همه ما تقریباً تصوری از اندازه‌ی کمیت‌هایی مانند طول، جرم و زمان داریم. این شکل‌ها به ما کمک می‌کند تا تصوری از بزرگی یک نیرو نیز به دست آوردیم.

یک پرنده برای برداشتن یک کرم از روی زمین، نیرویی حدود ۰/۱N لازم دارد

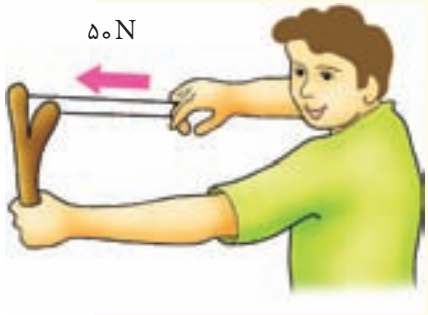
اسکی روی سراشیبی نیاز خیلی کمی به نیرو دارد، اما روی سطح زمین ممکن است به نیرویی حدود ۴۰۰N نیاز باشد.



وزن یک سیب با اندازه متوسط ۱N است. اگر شما یک سیب با اندازه متوسط را در دست خود نگه دارید، نیرویی برابر ۱N به طرف پایین روی دست خود احساس می‌کنید.



یک ورزشکار در حین وزنه برداری، وزنه‌ای برابر با ۱۰۰۰N را بالا می‌برد.



برای کشیدن کش یک تیرکمان به نیرویی حدود ۵۰N نیاز دارید.

وقتی دری را هل می‌دهید تا باز شود، نیرویی حدود ۱۰N وارد می‌کنید.

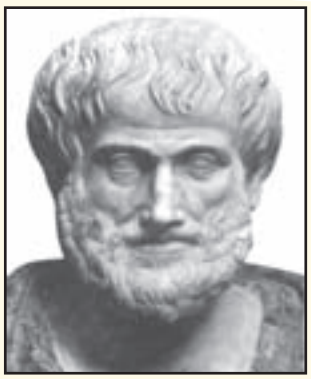
موتور یک ماشین، نیروی پیش‌رانی حدود ۷۰۰۰N باید تولید کند.

موتور یک هواپیما ممکن است نیروی پیش‌رانی حدود ۸۰۰۰۰۰N تولید کند.

قانون اول نیوتون

قانون اول نیوتون به صورت زیر بیان می‌شود:

اگر هیچ نیرویی به جسم وارد نشود، آن جسم به حرکت یکنواخت خود در راستای خط مستقیم ادامه می‌دهد. همچنین اگر جسم در ابتدا ساکن باشد، در حال سکون باقی می‌ماند.



ارسطو(۳۲۲ ق.م–۳۸۴ ق.م) فیلسوف، دانشمند و معلم یونانی پسر یکی از پزشکان پادشاه مقدونیه بود. او در ۱۷ سالگی وارد آکادمی افلاطون شد و در آنجا، تا هنگام درگذشت افلاطون، ۲۰ سال به کار وتحصیل پرداخت. سپس مربی اسکندر شد. هدف ارسطو سامان بخشی معلومات زمان خود بود. او مشاهده‌های مهمی انجام داد، نمونه‌هایی جمع‌آوری کرد وتقریباً تمام دانش زمان خود را گردآوری، خلاصه و طبقه‌بندی کرد. او معتقد بود هر جسم حتی برای ادامه‌ی حرکت یکنواخت، نیاز به نیرو دارد.

هرچند در آزمایشگاه نمی‌توان شرایطی را فراهم کرد که هیچ نیرویی به جسم وارد نشود، اما امروزه بشر این قانون را در فرستادن سفینه‌های فضایی به خارج از زمین تا حدودی آزموده است. هرگاه سفینه‌ای به اندازه‌ی کافی از زمین دور شود، می‌تواند با موتور خاموش و با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه دهد.

گاهی در مورد قانون اول نیوتون تعبیری به صورت «**اگر بر جسمی هیچ نیرویی وارد نشود، جسم مایل است وضعیت حرکت خود را حفظ کند.**» نیز به کار می‌رود. به عبارت دیگر هر جسم، چه در حال سکون باشد و چه در حال حرکت یکنواخت روی خط راست، در صورتی‌که هیچ نیرویی به آن وارد نشود در همان وضعیت حرکت می‌ماند. این خاصیت اجسام که میل دارند وضعیت حرکت خود را در نبود نیرو حفظ کنند، **لَختی** نام دارد. از این‌رو قانون اول نیوتون، **قانون لَختی** نیز نامیده می‌شود.

پرسش ۳-۲

وقتی در ماشین ساکنی نشسته‌ایم و ماشین ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به عقب هُل داده می‌شویم. همچنین اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشیم، هنگام توقف ناگهانی، به جلو پرتاب می‌شویم. این دو وضعیت را به کمک قانون اول نیوتون بررسی کنید.

فعالیت ۳-۲

کارتی را روی لیوانی قرار دهید. یک سکه را روی کارت، وسط لیوان بگذارید و با ضربه‌ی انگشت آن را به سرعت به حرکت در آورید (شکل ۳–۵). نتیجه‌ی آزمایش را به کمک قانون اول نیوتون شرح دهید.

شکل ۳–۵ ضربه‌ی سریع انگشت به کارت، کارت را از زیر سکه پرتاب می‌کند و سکه درون لیوان می‌افتد.

بیش‌تر بدانید

- آزمایش فکری گالیله وقانون اول نیوتون

شبیه‌سازی

- قانون اول نیوتون

قانون دوم نیوتون

بنا بر قانون اول، اگر بر جسمی هیچ نیرویی وارد نشود، جسم یا ساکن می‌ماند یا حرکت یکنواخت بر خط راست خواهد داشت. نتیجه‌ی آشکار قانون اول این است که اگر بر جسم نیرو وارد شود، جسم ساکن نمی‌ماند و حرکت یکنواخت بر خط راست نیز نخواهد داشت. در این صورت وارد کردن نیرو بر جسم به آن شتاب می‌دهد. قانون دوم نیوتون رابطه‌ی شتاب جسم را با نیرویی که به آن وارد می‌شود، بیان می‌کند.

قانون دوم نیوتون به صورت زیر بیان می‌شود:

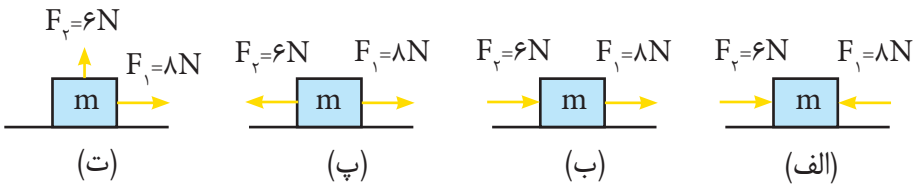
شتاب جسمی به جرم m که نیروی $\vec{F}$ بر آن وارد می‌شود، هم‌جهت و متناسب با نیروی وارد بر آن است و با جرم جسم نسبت عکس دارد. این بیان را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\vec{a}=\frac{\vec{F}}{m}$$

رابطه‌ی بالا را به صورت $\vec{F}=m\vec{a}$ نیز می‌توان نوشت. در این رابطه، $\vec{F}$ **برایند** همه‌ی نیروهایی است که به جسم به جرم m وارد می‌شود و به آن شتاب $\vec{a}$ می‌دهد. یکای نیرو، نیوتون (N) را نیز می‌توان از این رابطه تعریف کرد. اگر در رابطه‌ی $\vec{F}=m\vec{a}$ ، جرم بر حسب کیلوگرم و شتاب بر حسب متر بر مجذور ثانیه قرار داده شود، نیرو بر حسب $kg\cdot m/s^2$ خواهد شد که آن را نیوتون می‌نامیم. بنابراین «یک نیوتون، نیرویی است که اگر به جسمی به جرم $1kg$ وارد شود، به آن شتابی برابر $1m/s^2$ بدهد.»

مثال ۳-۱

نیروهای وارد شده به جسمی به جرم $m=2kg$ در چهار وضعیت متفاوت مطابق شکل ۳-۶ است. بزرگی شتاب جسم را در هر حالت به دست آورید. توجه کنید که نیروهای F_1 و F_2 در راستای افق (محور x) به جسم وارد شده‌اند و تنها در شکل ۳-۶ ت نیروی F_2 در راستای قائم (محور y) است.



شکل ۳-۶

حل: ابتدا برایند نیروهای وارد شده به جسم را در هر حالت پیدا می‌کنیم و سپس با استفاده از قانون دوم نیوتون شتاب جسم را به دست می‌آوریم. (سمت راست را جهت مثبت محور x فرض می‌کنیم.)

گالیلو گالیله (۱۶۴۲-۱۵۶۴) دردانشگاه پیزا به تحصیل پزشکی پرداخت و سپس به ریاضی تغییر رشته داد. او ابتدا به حرکت علاقمند شد و سپس با معاصران خود،که به نظریه‌های ارسطو در مورد سقوط آزاد معتقد بودند، اختلاف نظر پیدا کرد. سپس برای تدریس راهی دانشگاه پادوا شد و از مبلغان نظریه‌ی جدید کوپرنیکی منظومه شمسی شد. گالیله اولین کسی بود که تلسکوپ دست‌ساز خود را به طرف آسمان شب نشانه رفت وکوه‌هایی را روی ماه و قمرهایی رادر اطراف مشتری کشف کرد. با گسترش اندیشه‌های گالیله، دیری نگذشت که کلیسا با او درگیر شد و به او هشدار دادند که تدریس نکند و دیدگاه‌های کوپرنیکی را دنبال نکند. گالیله نزدیک به ۱۵ سال دیدگاه‌های خود را علنی نکرد، اما پس از انتشار آن‌ها،توسط کلیسا محاکمه و گناهکار شناخته شد و مجبور به اعتراف گردید تا کشف‌های خود را انکار کند. دراین زمان، او که پیرمردی با تن و روانی درهم شکسته بود، محکوم شد برای همیشه در خانه‌ی خود تحت نظر باشد.

شبیه‌سازی

● قانون دوم نیوتون

در وضعیت (الف) داریم

برایند نیروهای وارد بر جسم : $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2 \Rightarrow F=-F_1+F_2=(-8N)+(6N)=-2N$

$F=ma \Rightarrow (-2N)=(2kg)\,a \Rightarrow a=-1m/s^2$

علامت منفی نشان می‌دهد جسم شتابی به بزرگی $1m/s^2$ و در جهت مخالف محور x به دست می‌آورد.

در وضعیت (ب) داریم

برایند نیروهای وارد بر جسم : $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2 \Rightarrow F=F_1+F_2=(8N)+(6N)=14N$

$F=ma \Rightarrow 14N=(2kg)\,a \Rightarrow a=7m/s^2$

در وضعیت (پ) داریم

برایند نیروهای وارد بر جسم : $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2 \Rightarrow F=F_1-F_2=(8N)+(-6N)=2N$

$F=ma \Rightarrow 2N=(2kg)\,a \Rightarrow a=1m/s^2$

در وضعیت (ت) نیروهای F_1 و F_2 بر یک‌دیگر عمودند و با توجه به چگونگی به دست آوردن برایند بردارهای عمود بر هم از فصل اول داریم

برایند نیروهای وارد بر جسم: $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2 \Rightarrow F=\sqrt{F_1^2+F_2^2}=\sqrt{(8N)^2+(6N)^2}=\sqrt{100N^2}=10N$

$F=ma \Rightarrow 10N=(2kg)\,a \Rightarrow a=5m/s^2$

تمرین ۳-۱

بزرگی برایند نیروهای وارد بر جسمی برابر ۱۰N است. اگر جسم شتابی برابر $2m/s^2$ گرفته باشد، جرم آن چقدر است؟

قانون سوم نیوتون

قانون اول نیوتون، وضعیت جسم را در نبود نیرو و قانون دوم، وضعیت آن را وقتی تحت تأثیر نیرو است، توصیف می‌کند. اما این قانون‌ها، مشخص نمی‌کنند که نیروی وارد بر جسم از کجا به آن وارد می‌شود. همان‌طور که تجربه‌های روزانه نشان می‌دهد همواره یک جسم به جسم دیگر نیرو وارد می‌کند. بازیکن فوتبال، با پا به توپ ضربه می‌زند، یعنی پا به توپ نیرو وارد می‌کند. شخصی که جسمی را روی زمین می‌کشد، به آن نیرو وارد می‌کند.نیوتون با بیان قانون سوم، مشخص کرد که نیروی وارد بر یک جسم از طرف جسم دیگر است و افزون بر آن معلوم کرد که وارد کردن نیرو، یک جانبه نیست و همواره عملی دو جانبه است.

قانون سوم نیوتون به صورت زیر بیان می‌شود:

اگر جسم (۱) بر جسم (۲) نیرو وارد کند، جسم (۲) نیز متقابلاً نیرویی بر جسم (۱) وارد می‌کند. اگر نیرویی را که جسم (۱) بر جسم (۲) وارد می‌کند، $\vec{F}$ و نیرویی را که جسم (۲) بر جسم (۱) وارد می‌کند، $\vec{F}'$ بنامیم، این دو نیرو هم‌اندازه، هم‌راستا و در دو سوی مخالف یک‌دیگرند.یعنی $\vec{F}=-\vec{F}'$

ایزاک نیوتون(۱۷۲۷-۱۶۴۲) دانشمند انگلیسی در همان سالی متولد شد که گالیله درگذشت. پدرش چند ماه پیش از تولد او درگذشته بود و او تحت سرپرستی مادر و مادربزرگ خود رشد کرد. درکودکی، هیچ نشانه‌ای از تیزهوشی در او نبود و پس از ۵ سال تحصیل در دانشگاه کمبریج بدون هیچ ویژگی خاصی فارغ‌التحصیل شد. با گسترش طاعون در سراسر انگلستان به مزرعه‌ی مادرش بازگشت و در مزرعه (۲۳-۲۴سالگی) پایه‌های کاری را گذاشت که او را جاودان ساخت. قانون گرانش عمومی را تدوین کرد، حسابان را (که ابزار ریاضی بسیار مهمی است) ابداع کرد، کارهای گالیله را توسعه داد و سه قانون بنیادی حرکت را تدوین کرد، نظریه‌ای در مورد ماهیت نور تنظیم کرد، و به کمک منشور نشان داد که نور سفید از رنگ‌های رنگین‌کمان تشکیل شده است. نیوتون در ۲۸ سالگی استاد کرسی ریاضیات لوکاس شد و در ۱۶۷۲ به عضویت انجمن سلطنتی انتخاب شد. در آنجا اولین تلسکوپ بازتابی جهان را به نمایش گذاشت ودر ۴۳ سالگی کتاب ارزشمند **اصول ریاضی فلسفه‌ی طبیعی** را پس از نزدیک به ۲ سال کار تالیف کرد.

آزمایشگاه مجازی

- نیرو در یک بعد

اگر یکی از این دو نیرو را کنش (عمل) بنامیم، نیروی دیگر واکنش (عکس‌العمل) نامیده می‌شود (شکل ۳-۷). لازم است توجه کنید که تفاوتی ندارد که کدام نیرو را کنش و کدام‌یک را واکنش بنامیم. مفهوم اساسی قانون سوم نیوتون این است که نیروی تک در طبیعت وجود ندارد.

شکل ۳-۷ نیرویی که هر جسم به جسم دیگر وارد می‌کند. این نیروها همواره هم‌اندازه، هم‌راستا و در سوی مخالف یک‌دیگرند.

در اینجا می‌توانیم با توجه به اثرها و ویژگی‌های نیرو که در ابتدای این فصل با آن آشنا شدیم این موضوع را نیز اضافه کنیم که **نیرو اثر متقابل دو جسم بر یک‌دیگر یا بر هم کنش آن‌ها با یک‌دیگر است.**

پرسش ۳-۳

شکل ۳-۸ شخصی را نشان می‌دهد که با پوشیدن کفش‌های چرخ‌دار (اسکیت)، کپسولی دارای گاز کربن دی‌اکسید را به پشت خود بسته و شیر آن را باز کرده است. با استفاده از قانون‌های نیوتون توضیح دهید چرا شخص حرکت می‌کند.

شکل ۳-۸

۳-۳ قانون‌های نیرو

همان‌طور که دیدیم بنا بر قانون دوم نیوتون، شتاب جسمی به جرم m متناسب با برایند نیروهای وارد بر آن از طرف تمام اجسام دیگر است. در نتیجه برای به دست آوردن شتاب یک جسم باید چگونگی بر هم کنش اجسام دیگر را روی آن معین کرد. قانون‌های نیرو رابطه‌ای را که بنا بر آن بر هم کنش صورت می‌گیرد، معین می‌کنند.

قانون گرانش نیوتون: کشف قانون گرانش نیوتون، بعد از قانون‌های حرکت، یکی دیگر از کارهای بزرگ نیوتون است. به کمک این قانون می‌توان وزن اجسام، قانون‌های مربوط به حرکت سیاره‌ها به دور خورشید، حرکت ماهواره‌ها به دور زمین و پدیده‌هایی نظیر جزر و مد را توجیه کرد.

دو جسم به جرم‌های m_1 و m_2 مطابق شکل ۳-۷ در نظر بگیرید. در صورتی‌که فاصله‌ی مرکزهای این دو جسم از یک‌دیگر برابر r و ابعاد دو جسم در مقایسه با r خیلی کوچک باشد، در این صورت آن‌ها را به صورت یک ذره درنظر می‌گیریم. با این نگاه می‌توان خورشید و زمین، یا زمین و ماه را نسبت به یک‌دیگر ذره در نظر گرفت.

بنا بر نظریه‌ی گرانش نیوتون، هر دو ذره به جرم‌های m_1 و m_2 به یک‌دیگر نیروی ربایشی وارد می‌کنند. این نیرو در راستای خطی است که آن دو ذره را به هم وصل می‌کند. اندازه‌ی نیرویی که به یکی از دو جرم وارد می‌شود، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

شبیه‌سازی
- قانون سوم نیوتون

بیش‌تر بدانید
- کنش و واکنش بر جرم‌های متفاوت
- خلاصه‌ی سه قانون نیوتون

آزمایشگاه مجازی
- نیروی گرانش

در این رابطه G ثابت جهانی گرانش نام دارد و مقدار آن در SI برابر است با

$$G = ۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,N.m^۲/kg^۲$$

بیش‌تر بدانید

- ترازوی کاوندیش
- نخستین براورد محیط زمین
- وزن و بی‌وزنی

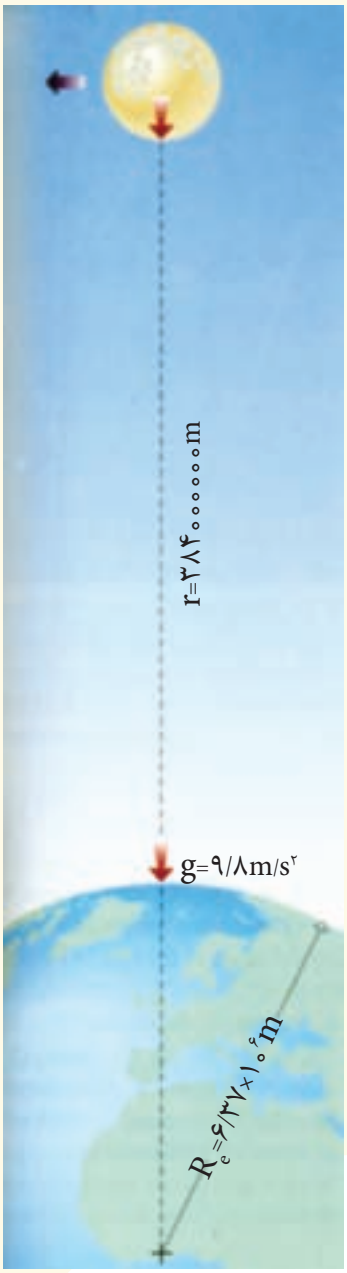
مثال ۳-۲

جرم زمین و خورشید به ترتیب برابر $۶\times۱۰^{۲۴}kg$ و $۲\times۱۰^{۳۰}kg$ است. اگر فاصله‌ی متوسط زمین تا خورشید $۱/۵\times۱۰^{۱۱}m$ باشد، نیروی گرانشی وارد از خورشید بر زمین چقدر است؟

حل: چون فاصله‌ی زمین از خورشید نسبت به شعاع‌های زمین و خورشید بسیار بزرگ‌تر است، زمین و خورشید را می‌توان مانند دو ذره در نظر گرفت(شکل ۳-۹). بنا بر قانون گرانش نیوتون داریم

$$F = G\frac{m_۱m_۲}{r^۲}$$

$$= (۶/۶\times۱۰^{-۱۱}\,N\cdot m^۲/kg^۲)\frac{(۶\times۱۰^{۲۴}kg)\times(۲\times۱۰^{۳۰}kg)}{(۱/۵\times۱۰^{۱۱}m)^۲} = ۳/۵۵\times۱۰^{۲۲}N$$



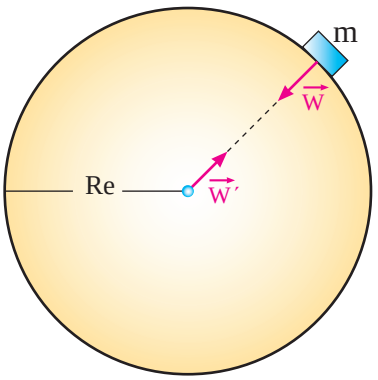
شکل ۳-۹

وزن: نمونه‌ی بارز نیروی گرانش، وزن اجسام روی زمین است که همان نیروی گرانش کره‌ی زمین است که بر آن‌ها وارد می‌شود.

اگر شعاع کره‌ی زمین را با R_e و جرم آن را با M_e نشان دهیم، نیروی گرانشی‌ای که بر جسمی به جرم m در روی کره‌ی زمین (و اطراف زمین) وارد می‌شود از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید

$$W = G\frac{M_em}{R_e^۲}$$

این نیرو که در راستای شعاع کره‌ی زمین و در نتیجه عمود بر سطح آن است همان نیروی وزن جسمی به جرم m است که با حرف W نشان داده می‌شود(شکل ۳-۱۰).



شکل ۳-۱۰ وزن جسم W، نیروی گرانشی وارد از طرف زمین بر جسم است. W' واکنش این نیرو است که از طرف جسم بر زمین وارد می‌شود.

از آنجاکه هنگام سقوط آزاد جسم در نزدیکی سطح زمین شتاب جسم a=g است، نیروی وارد بر جسم هنگام سقوط آزاد F=mg است. از طرفی هنگام سقوط آزاد جسم، تنها نیروی وزن بر جسم وارد می‌شود. یعنی

$$F=W=mg$$

مقایسه‌ی رابطه‌های $W=G\frac{M_e m}{R_e^2}$ و $W=mg$ نشان می‌دهد که

$$g=G\frac{M_e}{R_e^2}$$

یعنی شتاب جاذبه‌ی گرانشی زمین در نزدیکی سطح زمین به جرم اجسامی که به طرف زمین سقوط می‌کنند، بستگی ندارد.

هشدار: جرم و وزن را باهم اشتباه نگیرید. در زندگی روزمره اغلب یکاهای SI برای جرم و وزن را نابجا به‌کار می‌برند. عبارت‌های نادرستی مانند« این جعبه ۴ kg وزن دارد.» تقریباً جهانی‌اند. منظور از بیان این عبارت آن است که جرم جعبه که احتمالاً به طور غیر مستقیم با وزن کردن آن تعیین شده است ۴ kg است. مراقب باشید که ازاین استفاده‌ی سهل انگارانه در کارهای خود اجتناب کنید! در یکاهای SI وزن را (که یک نیرو است) برحسب نیوتون اندازه می‌گیرند درحالی که جرم بر حسب کیلوگرم اندازه‌گیری می‌شود.

مثال ۳-۳

شتاب گرانش را در سطح ماه به دست آورید و آن را با شتاب گرانش در سطح زمین $(g_e=9/8 m/s^2)$ مقایسه کنید. جرم ماه $M_m=7/4\times10^{22} kg$ و شعاع آن $R_m=1/8\times10^6 m$ است.

حل: برای به دست آوردن شتاب گرانش در سطح ماه داریم

$$g_m=G\frac{M_m}{R_m^2}$$

$$=(6/67\times10^{-11} N\cdot m^2/kg^2)\frac{(7/4\times10^{22} kg)}{(1/8\times10^6 m)^2}\simeq 1/6 m/s^2$$

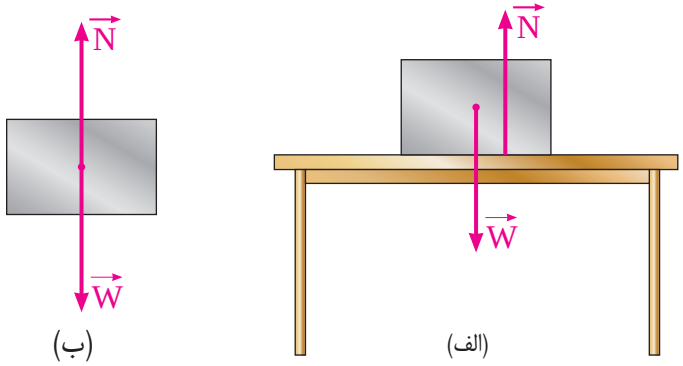
همان‌طور که دیده می‌شود بزرگی شتاب گرانش در سطح ماه تقریباً $\frac{1}{6}$ بزرگی شتاب گرانش در سطح زمین است. یعنی وزن یک جسم در سطح ماه ۶ برابر کوچک‌تر از وزن آن در سطح زمین است.

بیش‌تر بدانید

- نظریه‌ی گرانش اینشتین به زبان ساده
- سیاهچاله‌ها

نیروی عمودی سطح: وقتی روی تشک ایستاده‌اید، با این‌که کره‌ی زمین شما را رو به پایین می‌کشد، ولی سرجای خود ساکن می‌مانید. دلیلش این است که تشک بر اثر وزن شما به سمت پایین تغییر شکل می‌یابد ولی شما را به سمت بالا هل می‌دهد. به همین ترتیب، اگر روی کف اتاق بایستید، کف تغییر شکل می‌دهد (هرچند به میزان بسیار ناچیز) و به شما نیروی رو به بالایی وارد می‌کند.

نیروی وارد از تشک یا کف اتاق روی شما **نیروی عمودی سطح** $\vec{N}$ است. شکل ۳-۱۱الف قطعه‌ای به جرم m را نشان می‌دهد که سطح میزی را به پایین می‌فشارد و بر اثر نیروی گرانشی $\vec{W}$ وارد بر قطعه، آن سطح را اندکی تغییر شکل می‌دهد.(این تغییر شکل ممکن است بسیار بسیار کم و مشاهده‌ی آن نیاز به ابزارهای خاصی داشته باشد.) میز با نیروی عمودی $\vec{N}$، نیرویی رو به بالا بر قطعه وارد می‌کند. شکل ۳-۱۱ ب نیروهای وارد بر قطعه را نشان می‌دهد. چون قطعه روی میز ساکن است باید $\vec{N}+\vec{W}=0$ یا $\vec{N}=-\vec{W}$ باشد.

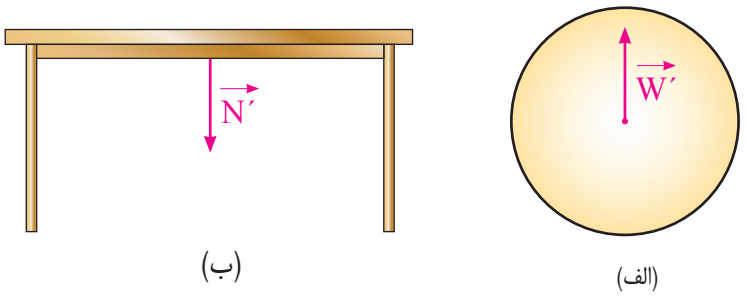


شکل ۳-۱۱ الف- بر قطعه‌ای که روی میزی ساکن است افزون بر نیروی وزن $\vec{W}$، نیروی عمودی سطح $\vec{N}$ از طرف میز به آن وارد می‌شود.
ب- توجه کنید نیروهای $\vec{N}$ و $\vec{W}$کنش و واکنش یک‌دیگر نیستند.

مثال ۳-۴

بنا بر قانون سوم نیوتون، نیروهای عکس‌العمل (واکنش)$\vec{W}$ و $\vec{N}$ را که بر قطعه‌ی شکل ۳-۱۱ وارد شده است پیدا کنید.

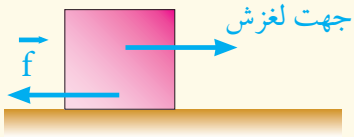
پاسخ: نیروی واکنش وزن$\vec{W}$ به مرکز زمین (شکل ۳-۱۲ الف) و نیروی واکنش$\vec{N}$ به سطح میز (شکل ۳-۱۱ ب) وارد می‌شود. توجه کنید که نیروی کنش$\vec{N}$ به قطعه و نیروی واکنش آن$\vec{N'}$ به میز وارد شده است.



شکل ۳-۱۲

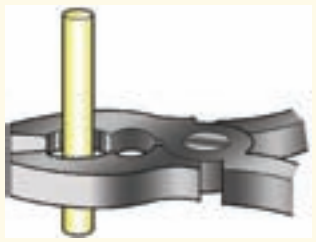
نیروی اصطکاک: اگر جسمی را روی سطحی بلغزانیم یا تلاش کنیم که بلغزانیم، حرکت با مقاومت روبه‌رو خواهد شد. همچنین اگر اتومبیلی را که در مسیر مستقیم در حال حرکت است از دنده خلاص کنیم، حتی بدون گرفتن ترمز پس از طی مسافتی متوقف می‌شود.

مقاومت در برابر حرکت ناشی از **نیروی اصطکاک** $\vec{f}$ یا به طورساده **اصطکاک** است. هرگاه جسم را بکشیم یا هل دهیم این نیرو در امتداد سطح و مخالف با جهت حرکت جسم است (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳ نیروی اصطکاک $\vec{f}$ با لغزش جسم روی سطح مخالفت می‌کند.

این کوهنورد به اصطکاک زیادی بین دست‌هایش وطناب نیازمند است. درغیر این صورت سر می‌خورد.



اصطکاک بین دهانه‌های انبردست ومیله باعث می‌شود که میله بدون لغزش نگه داشته شود.

شکل ۳-۱۴

اصطکاک می‌تواند سودمند باشد. در بعضی موارد، نیروی اصطکاک می‌تواند خیلی سودمند باشد. برای افزایش اصطکاک بین دو سطح، باید سطح‌ها ناهموار و خشک باشند، به‌طوری‌که آن‌ها به یک‌دیگر محکم گیر کنند(شکل ۳-۱۴).

اصطکاک می‌تواند زیان‌بار باشد. در بعضی موارد مایل هستیم که اصطکاک تا حد ممکن کوچک باشد (شکل ۳-۱۵). بنابراین زیاد بودن اصطکاک ممکن است اختلال ایجاد کند.

برای کاهش اصطکاک بین دو سطح، باید سطح‌ها را تا حد ممکن هموار و یک **ماده‌ی روان‌کننده** مانند روغن اضافه کنیم (شکل ۳-۱۶). اصطکاک بین دو سطح باعث تولید گرما می‌شود و این موضوع سبب می‌شود که یکی از دو سطح یا هر دو آن‌ها ساییده شوند. یک ماده‌ی روان‌کننده به کاهش گرما و ساییدگی کمک می‌کند. این موضوع، دلیلی بر اهمیت روغن‌کاری ماشین آلات است.

این اسکی‌باز می‌خواهد اصطکاک بین چوب‌های اسکی او و برف، تاحد ممکن کوچک باشد تا بتواند سریع‌تر برود.

وقتی ماهی شنا می‌کند، بین بدنش وآب اصطکاک وجود دارد. برای کم نگه داشتن اصطکاک، ماهی حالتی هموار وکم مقاومت در برابر آب دارد.

شکل ۳-۱۵

فعالیت ۳-۳

تصور کنید یک روز صبح بیدار می‌شوید و کشف می‌کنید که دیگر نیروی اصطکاک در دنیا وجود ندارد. داستان کوتاهی بنویسید و زندگی را در دنیای بدون اصطکاک شرح دهید.

مطالعه‌ی آزاد

نگاهی دقیق‌تر به نیروی اصطکاک

شکل ۳-۱۷ الف جسمی را نشان می‌دهد که روی سطح افقی ساکن است. نیروی وزن $\vec{W}$ و نیروی عمودی سطح $\vec{N}$ بر آن اثر می‌کنند و جسم به حال سکون است. در شکل ۳-۱۷ ب نیروی افقی و کوچک $\vec{F}$ به‌گونه‌ای بر جسم وارد شده است که جسم ساکن بماند. بنا بر قانون دوم نیوتون چون جسم در این حالت ساکن است، باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین، باید یک نیروی افقی مانند $\vec{f}_s$ به جسم وارد شود تا با خنثی کردن نیروی $\vec{F}$ ، مانع حرکت و شتاب گرفتن جسم شود. در این حالت چون جسم در حال سکون است نیروی $\vec{f}_s$ را نیروی اصطکاک در حال سکون یا نیروی اصطکاک ایستایی می‌نامند.

در شکل ۳-۱۷ پ نیروی افقی $\vec{F}$ بیش‌تر شده است. به طوری‌که باز هم جسم در حال سکون است. همان‌طور که دیده می‌شود نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش یافته است. زیرا بنا بر قانون دوم نیوتون برایند نیروهای وارد بر جسم در این حالت باید صفر باشد.

در شکل ۳-۱۷ ت باز هم نیروی افقی $\vec{F}$ افزایش یافته است. در این حالت نیروی اصطکاک ایستایی به مقدار بیشینه‌ی خود یعنی $\vec{f}_{s,max}$ رسیده است. به نیروی اصطکاک در این حالت نیروی اصطکاک در آستانه‌ی حرکت گفته می‌شود. زیرا به محض این‌که $\vec{F}$ از $\vec{f}_{s,max}$ بیش‌تر

این حلقه گیر کرده است، اصطکاک بین حلقه و انگشت زیاد است.

روان‌کننده اصطکاک را کاهش می‌دهد

با افزودن روان‌کننده‌ای مانند مایع ظرف‌شویی، حلقه به‌راحتی در می‌آید.

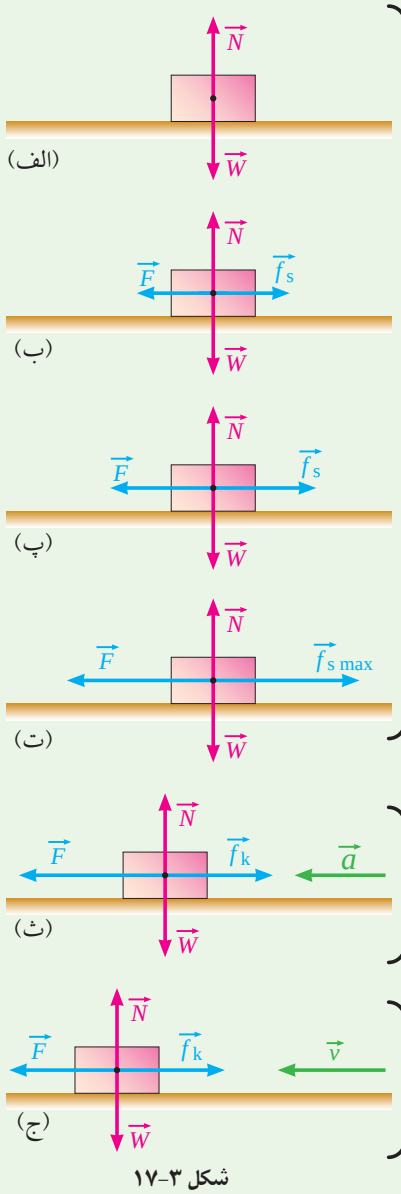
شکل ۳-۱۶

شود جسم شروع به حرکت می‌کند.تجربه نشان می‌دهد بزرگی نیروی اصطکاک در آستانه‌ی حرکت از رابطه‌ی $f_{s,max}=\mu_s N$ به دست می‌آید که در آن μ_s ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد. توجه کنید این رابطه تنها برای حالتی که جسم در آستانه‌ی حرکت باشد به کار می‌رود. بنابراین نیروی اصطکاک ایستایی همواره از $\mu_s N$ کوچکتر و مقدار بیشینه‌ی آن برابر $\mu_s N$ است. یعنی داریم $f_s \leqslant \mu_s N$.

در شکل ۳-۱۷ ث نیروی افقی $\vec{F}$ که اندازه‌ی آن بزرگتر از نیروی اصطکاک در آستانه‌ی حرکت است به جسم وارد شده است. در نتیجه جسم با شتاب $\vec{a}$ شروع به حرکت می‌کند. در هنگام حرکت جسم نیز نیروی اصطکاک به جسم وارد می‌شود که آن را نیروی اصطکاک جنبشی می‌نامند و با $\vec{f}_k$ نمایش می‌دهند. تجربه نشان می‌دهد که بزرگی نیروی اصطکاک جنبشی از رابطه‌ی $f_k=\mu_k N$ به دست می‌آید که در آن μ_k ضریب اصطکاک جنبشی نام دارد.

پس از این‌که جسم شروع به حرکت کرد می‌توانیم اندازه‌ی نیروی افقی $\vec{F}$ را کم کنیم.به طوری‌که هرگاه اندازه‌ی نیروی $\vec{F}$ با اندازه‌ی $\vec{f}_k$ برابر شود، حرکت جسم با سرعت ثابت خواهد بود. (شکل ۳-۱۷ ج)

ضریب اصطکاک ایستایی μ_s و ضریب اصطکاک جنبشی μ_k به عوامل مختلفی از جمله جسم‌های در تماس، میزان صیقلی بودن سطح های در تماس، دما و میزان آلودگی سطح ها بستگی دارد. همچنین ضریب اصطکاک ایستایی از ضریب اصطکاک جنبشی کوچکتر است، یعنی $\mu_k < \mu_s$.



شکل ۳-۱۷

بیش تر بدانید

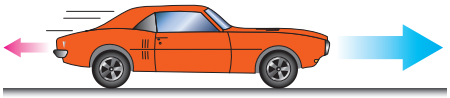
- منشأ فیزیکی اصطکاک

ابو منصور ابوالفتح عبدالرحمان خازنی، ریاضیدان و دانشمند حوزه‌ی علم الحیل (مکانیک) و یکی از ستاره شناسان قرون۵و۶ هجری قمری ایرانی است. درباره ی تاریخ تولد و فوت این دانشمند بزرگ اطلاع دقیقی در دست نیست ولی گفته می شود که وفات او بعد از سال۵۲۵ قمری اتفاق افتاده است. او در مرو می‌زیست و در همین شهر به کسب علم پرداخت و با جهد بسیار در حوزه‌ی دانش پیشرفت کرد.

چنان که در عهد ملک شاه سلجوقی در شهر مرو از ریاضی دانان و منجمان بزرگ به شمار می‌رفت. وی کتاب مشهور خود در نجوم و زیج معتبر سنجری را در روزگار پادشاهی سلطان سنجر تدوین کرد و بنا بر رسوم آن زمان کتاب را به نام سنجر، زیج معتبر سنجری نام گذاری نمود اما در مقابل چیزی از سلطان نپذیرفت. از خازنی کتاب‌های زیر را می‌شناسیم:

- زیج معتبر سنجری یکی از آثار مهم نجوم دوره‌ی اسلامی
- رساله فی آلات العجیبه الرصدیه
- رساله الاعتبار در نجوم نظری
- میزان الحکمه، یکی از مهم ترین آثار مربوط به دانش مکانیک دوره‌ی اسلامی

سرعت حدی: وقتی راننده‌ای پدال گاز اتومبیل ساکنی را فشار می‌دهد، اتومبیل شتاب می‌گیرد. در این حالت تنها نیروی اصطکاک ناشی از سطح تماس لاستیک‌ها با جاده، با حرکت اتومبیل مخالفت می‌کند و نیروی مقاومت هوا وجود ندارد (شکل ۳-۱۸).



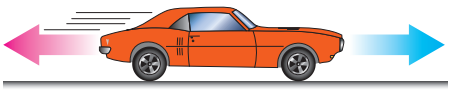
شکل ۳-۱۸ در این حالت نیروی پیش‌ران اتومبیل خیلی بزرگ‌تر از نیروی اصطکاک است و در نتیجه اتومبیل شتاب زیادی می‌گیرد.

با افزایش سرعت اتومبیل، نیروهای اصطکاک ناشی از مقاومت هوا نیز افزایش می‌یابند(شکل ۳-۱۹).

شکل ۳-۱۹ اختلاف نیروی پیش‌ران با نیروهای اصطکاکی خیلی زیاد نیست، در نتیجه شتاب اتومبیل کم‌تر شده است.

سرانجام بزرگی نیروهای اصطکاکی به بزرگی نیروهای پیش‌ران موتور می‌شوند و سرعت اتومبیل به بیشینه‌ی ثابتی می‌رسد که **سرعت حدی** اتومبیل نامیده می‌شود (شکل ۳-۲۰). برای حرکت سریع‌تر از این سرعت، باید موتور اتومبیل را با موتور دیگری که نیروی پیش‌ران بزرگ‌تری تولید می‌کند، جایگزین کنیم یا از اتومبیلی که مقاومت کم‌تری در برابر هوا دارد، استفاده کنیم.

آزمایشگاه مجازی
- نیروها و حرکت

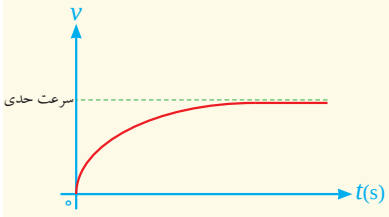


شکل ۳-۲۰ بزرگی نیروها برابر است و در نتیجه اتومبیل بدون شتاب است.

اتومبیلی که مقاومت آن در برابر هوا کم‌تر است راحت‌تر حرکت می‌کند، زیرا طراحی اتومبیل به گونه‌ای است که مقاومت هوا در حین حرکت آن کاهش یافته است (شکل ۳-۲۱).

شکل ۳-۲۱ سرعت حدی این اتومبیل می‌تواند بزرگ‌تر باشد.

شکل ۳-۲۲ نمودار سرعت- زمان اتومبیلی را نشان می‌دهد که از حال سکون، شتاب گرفته است. با افزایش سرعت اتومبیل، شیب نمودار کم‌تر شده است. این نشان می‌دهد که نیروهای اصطکاکی افزایش یافته‌اند و شتاب اتومبیل در حال کاهش است.



شکل ۳-۲۲

۳-۴ اندازه حرکت (تکانه)

اندازه حرکت یا تکانه در گفتگوی روزمره دارای معنی‌های مختلفی است اما در فیزیک فقط دارای یک معنی دقیق است. اندازه حرکت یک کمیت برداری است که آن را با نماد $\vec{P}$ نشان می‌دهند و برابر است با

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

که در آن m جرم ذره و $\vec{v}$ سرعت آن است. چون m همیشه عددی مثبت است، رابطه‌ی تکانه نشان می‌دهد که $\vec{P}$ و $\vec{v}$ همواره هم‌جهت‌اند. یکای اندازه حرکت در SI، کیلوگرم- متر بر ثانیه (kg.m/s) است.

مثال ۳-۵

ذره‌ای به جرم ۱mg و با سرعت ثابت ۱۰m/s در امتداد محور x در حرکت است. اندازه حرکت (تکانه‌ی) این ذره چقدر است؟

حل : جرم ذره در SI برابر است با:

$$m = ۱mg = ۱\times۱۰^{-۳}g = ۱\times۱۰^{-۳}\times۱۰^{-۳}kg = ۱۰^{-۶}kg$$

چون ذره در امتداد محور x در حرکت است، راستای اندازه حرکت آن نیز در همین امتداد است. بنابراین بزرگی اندازه حرکت ذره برابر است با:

$$P = mv = (۱۰^{-۶}kg)\times(۱۰m/s) = ۱۰^{-۵}kg.m/s$$

شبیه‌سازی

- اصطکاک وتغییر دما
- نقش کیسه‌ی هوا در اتومبیل

قانون دوم نیوتون بر حسب اندازه حرکت: بنا بر قانون دوم نیوتون داریم

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

اگر برایند نیروهای وارد بر جسم ثابت باشد، شتاب حرکت جسم نیز ثابت خواهد. در این صورت می‌توان نوشت

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = m\frac{(\vec{v}_۲ - \vec{v}_۱)}{\Delta t}$$

رابطه‌ی بالا را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v}_۲ - m\vec{v}_۱}{\Delta t} = \frac{\vec{P}_۲ - \vec{P}_۱}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$$

رابطه‌ی $\vec{F} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$ بیان قانون دوم نیوتون بر حسب اندازه حرکت نامیده می‌شود. به این ترتیب قانون دوم نیوتون را به صورت زیر نیز می‌توان بیان کرد

برایند نیروهای وارد بر جسم برابر است با آهنگ تغییر اندازه حرکت جسم

مثال ۳-۶

گلوله‌ای به جرم ۲۰g با سرعت ۵۰m/s در امتداد افق به دیواری برخورد می‌کند و در همان امتداد در دیوار فرو می‌رود. اگر گلوله پس از برخورد با دیوار به مدت ۰/۰۵ ثانیه در دیوار پیش برود، نیروی متوسط وارد بر گلوله از طرف دیوار چقدر است؟

حل: سرعت جسم پیش از برخورد به دیوار $v_1=50m/s$ و پس از فرو رفتن در دیوار و متوقف شدن برابر $v_2=0$ است. بنابراین تغییر سرعت گلوله در مدت $\Delta t=0/05s$ برابر $\Delta v=v_2-v_1=-50m/s$ است. بنابراین نیروی متوسط وارد بر گلوله برابر است با

$$\overline{F}=m\frac{\Delta v}{\Delta t}=(0/02kg)\frac{(-50m/s)}{0/05s}=-20N$$

علامت منفی نشان می‌دهدکه نیرو در خلاف جهت حرکت گلوله به آن وارد شده است. به همین جهت گلوله پس از مدت کوتاهی متوقف شده است.

بیش تر بدانید

- افزایش تکانه‌ی یک جسم
- کاهش تکانه‌ی یک جسم

فعالیت عملی

- مقایسه‌ی تکانه‌ی چند جسم مختلف

مطالعه‌ی آزاد

قانون پایستگی اندازه حرکت

در صورتی‌که هیچ نیرویی به ذره یا جسمی وارد نشود یا برایند نیروهای وارد بر ذره صفر باشد، شتاب جسم نیز صفر خواهد بود و ذره با سرعت ثابت حرکت خواهد کرد. پس در این شرایط می‌توان گفت اندازه حرکت ذره ثابت می‌ماند. یعنی

$$\vec{F}=0\Rightarrow\frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}=0\Rightarrow\Delta\vec{P}=0\Rightarrow\vec{P}_2=\vec{P}_1$$

حال فرض کنید به جای ذره، سامانه‌ای شامل مجموعه‌ای از ذره‌ها در اختیار داشته‌ایم و اگر هیچ نیرویی از بیرون به این سامانه وارد نشود یا برایند نیروهای خارجی وارد بر این سامانه صفر باشد (یعنی سامانه منزوی باشد) و همچنین هیچ ذره‌ای وارد سامانه یا از آن خارج نشود (یعنی سامانه بسته باشد)، در این صورت برای این سامانه نیز نتیجه می‌گیریم اندازه حرکت کل سامانه نمی‌تواند تغییر کند. این نتیجه قانون پایستگی اندازه‌ی حرکت نامیده می‌شود که آن را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\vec{P}_1=\vec{P}_2$$ (سامانه‌ی بسته‌ی منزوی)

به عبارت دیگر این معادله حاکی از آن است که برای سامانه‌ی بسته‌ی منزوی داریم

اندازه‌ی حرکت کل در لحظه‌ی بعدی t_2 = اندازه‌ی حرکت کل در لحظه‌ی اولیه‌ی t_1

توجه: اندازه‌ی حرکت را نباید با انرژی اشتباه گرفت. ممکن است در یک سامانه‌ی بسته‌ی منزوی اندازه‌ی حرکت پایسته باشد ولی انرژی پایسته نباشد.

پرسش‌های مفهومی

۱- یک اتومبیل ویژه‌ی مسابقه، موتور پر قدرتی دارد اما از مواد بسیار سبک و مستحکمی ساخته شده است. ویژگی‌های این اتومبیل را بر پایه‌ی رابطه‌ی F=ma توضیح دهید.

۲- توپی را به هوا پرتاب می‌کنیم. شکلی رسم کنید و نیرو(ها)ی وارد به توپ را در حالی‌که بالا می‌رود نشان دهید.

۳- هرگاه بادکنکی را باد کنیم و سپس آن را رها کنیم مشاهده می‌شود که در حالی‌که هوای درون بادکنک تخلیه می‌شود بادکنک بر خلاف جهت خروج هوا حرکت می‌کند. درشکل ۳-۲۳ حرکت موشک با یک بادکنک مقایسه شده است. به کمک قانون‌های نیوتون حرکت هر یک را شرح دهید. به جهت خروج هوا از بادکنک یا گازهای داغ از موشک توجه کنید.

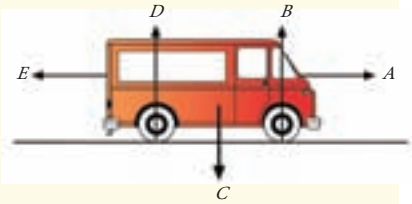
شکل ۳-۲۳

۴- مطابق شکل ۳-۲۴ نیروهای A، B، C، D و E به اتومبیل وارد شده‌اند.

الف) با انتخاب یکی از نیروهای A تا E جمله‌های زیر را کامل کنید.

نیروی ..... نیرویی است که رو به جلو از طرف موتور به اتومبیل وارد می‌شود.

نیروی..... نیرویی است که رو به عقب از طرف مقاومت هوا به اتومبیل وارد می‌شود.



شکل ۳-۲۴

ب) اندازه‌ی نیروهای A و E می‌تواند تغییر کند. مقدار نیروی A با نیروی B را در حالت‌هایی که در جدول زیر داده شده است، با هم مقایسه کنید.

مقایسه‌ی نیروها / نوع حرکت اتومبیل	نیروی A کوچک‌تر از نیروی E است	نیروی A مساوی نیروی E است	نیروی A بزرگ‌تر از نیروی E است
ساکن است			
شتابدار تندشونده			
سرعت ثابت			
شتابدار کندشونده			

پ) در چه زمانی نیروی E مساوی صفر است؟

ت) اتومبیل مشکلی پیدا می‌کند و در هر ثانیه یک قطره روغن از آن روی جاده می‌ریزد. در نمودار زیر قطره‌های روغن ریخته شده از اتومبیل هنگام حرکت روی جاده نشان داده شده است.

W X Y Z

نوع حرکت اتومبیل را در نقطه‌های زیر توضیح دهید.

۱. از نقطه‌ی W تا X

۲. از نقطه‌ی X تا Y

۳. از نقطه‌ی Y تا Z

۵- الف) اصطکاک چیست و چه می‌کند؟

ب) دو وضعیت را بیان کنید که در آن‌جا وجود اصطکاک اهمیت دارد.

پ) دو وضعیت را بیان کنید که کم کردن اصطکاک تا حد ممکن مهم است.

ت) دو راه برای افزایش و دو راه برای کاهش اصطکاک بین دو سطح بیان کنید.

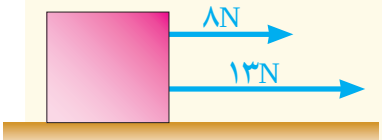
۶- چتر بازی از هواپیمایی بیرون می‌پرد. پس از مدت کوتاهی چتر او باز می‌شود. توضیح دهید باز شدن چتر چگونه باعث کاهش اندازه حرکت چترباز می‌شود به‌طوری‌که سرانجام به سلامت به زمین می‌رسد.

مسئله‌ها

۱- در مکان خاصی وزن جسمی به جرم ۱kg برابر با ۱N است. وزن جرم‌های زیر در آن‌جا چقدر است؟

الف) ۱۰۰g ب) ۵kg پ) ۵g

۲- نیروهای وارد بر جسمی به جرم ۲kg که در امتداد افق در حرکت است مطابق شکل ۳-۲۵ است. شتاب جسم چقدر است؟



شکل ۳-۲۵

۳- جسمی به جرم ۵۰۰g روی سطح افقی بدون اصطکاکی بانیروی ثابت F روی خط راست کشیده می‌شود و در مدت ۲s مسافت ۸m را می‌پیماید.

الف) شتاب حرکت جسم چقدر است؟

ب)مقدار نیروی F را حساب کنید.

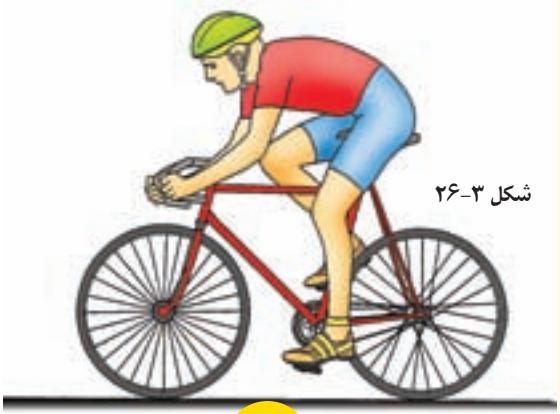
۴- دوچرخه سواری روی جاده‌ای صاف از حالت سکون و با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند (شکل ۳-۲۶) و در مدت ۱۰s سرعت او به ۵m/s می‌رسد. کمیت‌های زیر را حساب کنید.

الف) شتاب حرکت دوچرخه‌سوار.

ب) سرعت متوسط دوچرخه‌سوار در مدت ۱۰s.

پ) مسافت پیموده‌شده در مدت ۱۰s.

سرانجام، بااین‌که دوچرخه‌سوار شدیداً رکاب می‌زند، سرعتش پس از رسیدن به مقداری بیشینه، زیاد نشده و شتاب حرکت او صفر می‌شود.


شکل ۳-۲۶

ت) سرعت بیشینه‌ی دوچرخه‌سوار چه نامیده می‌شود؟

ث) این رویداد را بر حسب نیروهای وارد بر دوچرخه‌سوار توضیح دهید.

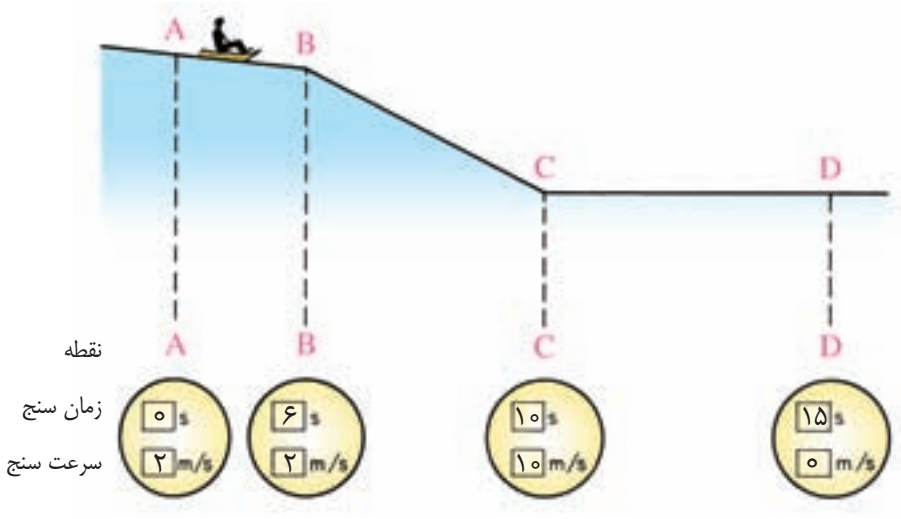
شکل ۳-۲۷

۵- بـرای آزمایش کمربند ایمنی یـک اتومبیل، آدمکی را به جرم ۵۵kg انتخاب می‌کنند و با کمربند ایمنی روی صندلی می‌نشـانند (شکل ۳-۲۷). پیش از آن‌که اتومبیل به یک دیوار آجری برخورد کند، سرعت آن ۳۵m/s است. در این موقعیت کمربند ایمنی به آدمک اجازه می‌دهد تنها مسافتی برابر ۶۰cm با حرکت شتابدار و با شتاب ثابت روی صندلی به طرف جلو حرکت کند.

الف) شتاب کندشونده‌ی آدمک را به دست آورید.

ب) مقدار نیرویی را که کمربند ایمنی به آدمک وارد می‌کند حساب کنید.

۶- شـخصی با یک سـورتمه از سـطح شـیبداری پایین می‌آید. جرم کل شخص و سورتمه برابر با ۱۰۰kg اسـت. زمان و سـرعت او همزمان با وسـیله‌ای (زمان‌سنج- سرعت‌سنج) که به سـورتمه متصل است اندازه‌گیری می‌شود. مقدارهای اندازه‌گیری شده در نقطه‌های A،B،C و D در شکل ۳-۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۸

الف) در هر بخش، نوع حرکت سورتمه را توضیح دهید.

ب) متوسط نیروی وارد شده به سورتمه را در فاصله‌ی CD حساب کنید.

۷- سـرعت دوچرخه‌سواری برابر با ۵m/s اسـت. در مدت ۵ ثانیه سرعت او به ۷m/s افزایش پیدا می‌کند.

شکل ۳-۲۹

شبیه‌سازی

- حرکـت ماهـواره (در ارتبـاط بـا مسئله‌ی ۸)

الف) شتاب دوچرخه‌سوار چقدر است؟

ب) در شـکل ۳-۲۹ جرم دوچرخه‌سوار با دوچرخه‌اش ۸۰kg است. نیرویی که از طرف جاده رو به جلو به دوچرخه وارد می‌شود برابر با ۳۰N است. اگر شتاب دوچرخه‌سوار برابر با مقدار قسمت (الف) باشد، نیروی مقاومت باد R را به دست آورید.

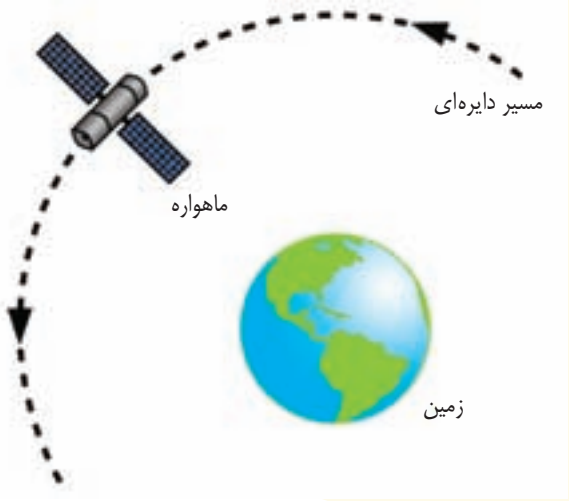
۸- شکل ۳-۳۰ مسیر ماهواره‌ای را به دور زمین نشان می‌دهد.

الـف) بـرای این‌که ماهواره در مسـیر دایره‌ای دور زمیـن حرکت کند، لازم اسـت نیرویی به طرف زمین به ماهواره وارد شود. به این نیرو که جهت آن به طرف مرکز زمین اسـت، نیروی مرکزگرا نیز گفته می‌شود. توضیح دهید بـرای حرکت ماهواره در مداری اطراف زمین، ایـن نیروی مرکزگرا از کجا تأمین می‌شود.

ب) اگـر جرم ماهواره بیش‌تر شـود نیـروی مرکزگـرای لازم چه تغییری می‌کند؟

پ) اگر ماهواره در مداری به فاصله‌ی ۶۰۰ کیلومتری سطح زمین در حرکت باشـد و جرم ماهواره ۴۰۰kg باشـد، بزرگی نیروی مرکزگرای وارد شده به ماهواره چقدر است؟ جرم زمین $۶\times۱۰^{۲۴}kg$ و شعاع آن ۶۴۰۰km است.

(فرض کنید همه‌ی جرم زمین در مرکزآن متمرکز باشد.)



شکل ۳-۳۰