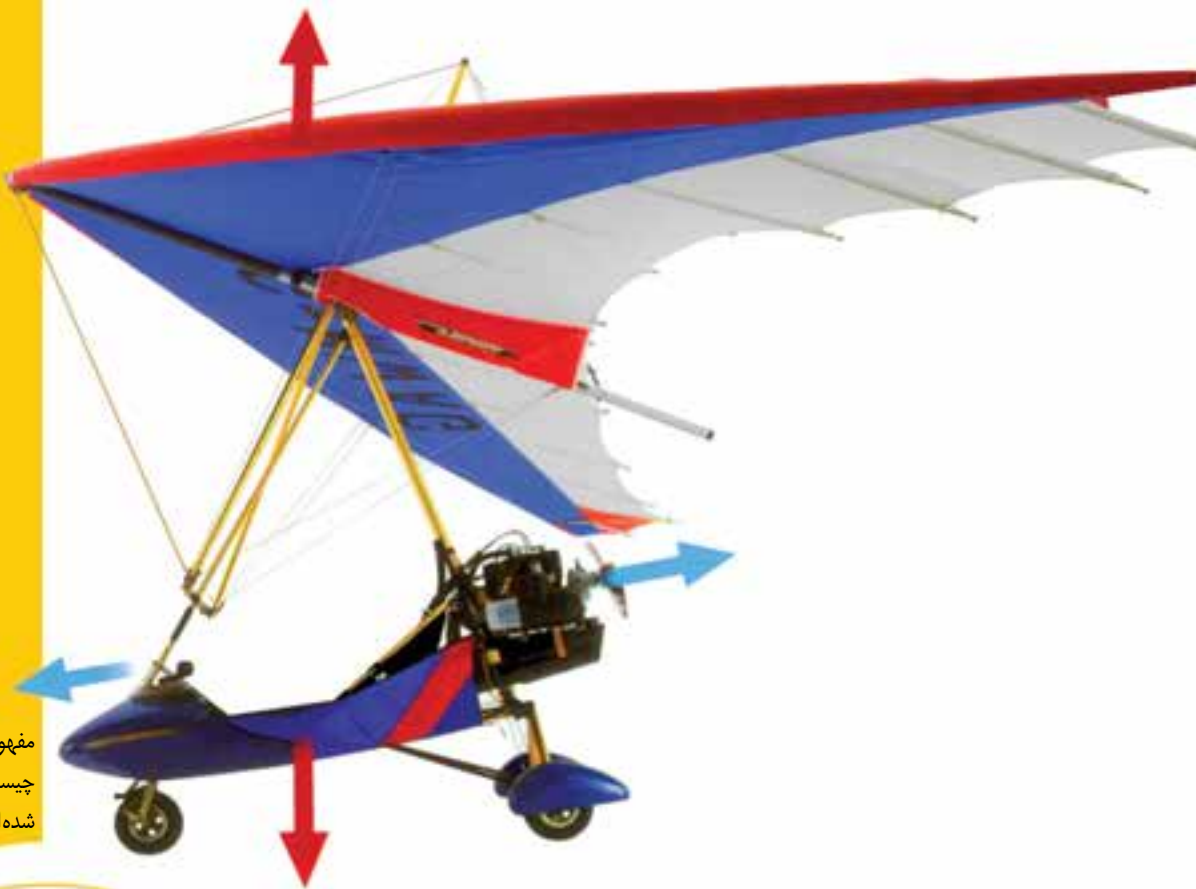


# فصل اول

## نیرو و قانون های نیوتون



مفهوم پیکان های رسم شده روی شکل چیست و چرا در جهت های مختلف رسم شده اند؟

## سیمای فصل

۱-۳ اثرهای نیرو

۲-۳ قانون‌های حرکت نیوتون

۳-۳ قانون‌های نیرو

۴-۳ اندازه حرکت (تکانه)

■ پرسش‌های مفهومی

■ مسئله‌ها



جرم این هواپیمای نظامی 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، سرعت و شتاب تا حدود زیادی صحبت کردیم ولی درباره‌ی این که چگونه جسمی به حرکت در می‌آید یا 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 نخستین دانشمندی 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.

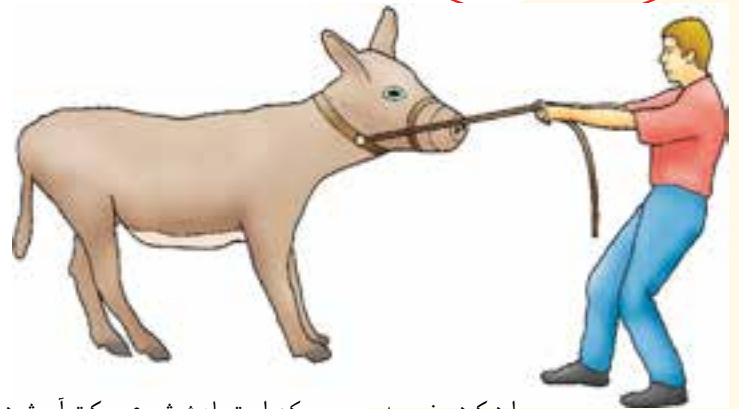
### ۱-۳ اثرهای نیرو

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

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



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



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



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



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



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



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

### ..... فعالیت ۱-۳

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 ۱-۳

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

### ویژگی های 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 ۲-۳ 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 ۲-۳ ب). این تجربه‌ی ساده نشان‌دهنده‌ی برداری بودن نیروست.

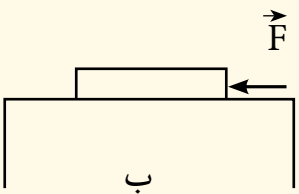
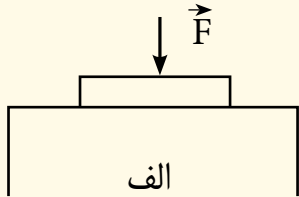
بزرگی یا اندازه‌ی نیرو را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیریم. شکل ۳-۳ یک نیروسنج را نشان می‌دهد که بر حسب یکای نیرو، یعنی نیوتون، درجه‌بندی شده است. نیوتون را با نماد  $N$  نشان می‌دهند. برای آن که تصویری از اندازه‌ی یک نیرو به دست آورید به مثال‌های شکل ۴-۳ توجه کنید.

### ۲-۳ قانون های حرکت نیوتون

بررسی حرکت اجسام و یافتن علل آن از قرن‌ها پیش ذهن بشر را به خود مشغول کرده بود به طوری که توضیح ارسطویی حرکت که با بسیاری از مشاهدات 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 ۲-۳ نیرو کمیتی برداری است که علاوه بر بزرگی جهت نیز دارد.



شکل ۳-۳ درجه‌بندی روی نیروسنج بزرگی نیرو را نشان می‌دهد.



یک پرنده برای برداشتن یک کرم از روی زمین، نیرویی حدود  $0.1N$  لازم دارد

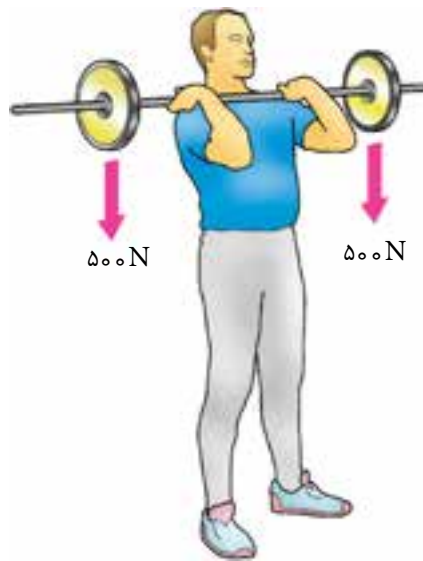
شکل ۳-۴ همه ما تقریباً تصویری از اندازه‌ی کمیت‌هایی مانند طول، جرم و زمان داریم. این شکل‌ها به ما کمک می‌کند تا تصویری از بزرگی یک نیرو نیز به دست آوریم.



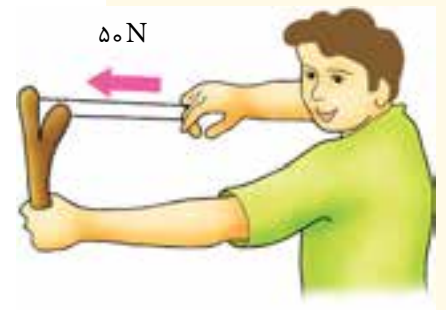
اسکی روی سرایشی نیاز خیلی کمی به نیرو دارد، اما روی سطح زمین ممکن است به نیرویی حدود  $400N$  نیاز باشد.



وزن یک سیب با اندازه متوسط  $1N$  است. اگر شما یک سیب با اندازه متوسط را در دست خود نگه دارید، نیرویی برابر  $1N$  به طرف پایین روی دست خود احساس می‌کنید.



یک ورزشکار در حین وزنه برداری، وزنه‌ای برابر با  $1000N$  را بالا می‌برد.



برای کشیدن کش یک تیرکمان به نیرویی حدود  $50N$  نیاز دارید.



وقتی دری را هل می‌دهید تا باز شود، نیرویی حدود  $10N$  وارد می‌کنید.



موتور یک هواپیما ممکن است نیروی پیش‌رانی حدود  $800000N$  تولید کند.

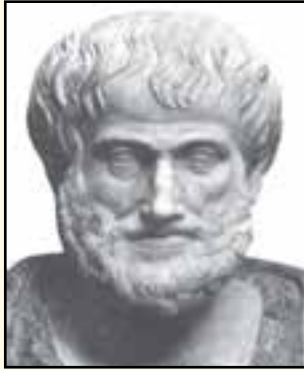


موتور یک ماشین، نیروی پیش‌رانی حدود  $7000N$  باید تولید کند.

## قانون اول نیوتون

قانون اول نیوتون به صورت زیر بیان می شود:

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



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 و تحصیل پرداخت. سپس مربی اسکندر شد. هدف ارسطو سامان بخشی معلومات زمان خود بود. او مشاهده های مهمی انجام داد، نمونه هایی جمع آوری کرد و تقریباً تمام دانش زمان خود را گردآوری، خلاصه و طبقه بندی کرد. او معتقد بود هر جسم حتی برای ادامه ی حرکت یکنواخت، نیاز به نیرو دارد.

هرچند در آزمایشگاه نمی توان شرایطی را فراهم کرد که هیچ نیرویی به جسم وارد نشود، اما امروزه بشر این قانون را در فرستادن سفینه های فضایی به خارج از زمین تا حدودی آزموده است. هرگاه سفینه ای به اندازه ی کافی از زمین دور شود، می تواند 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 می رود. به عبارت دیگر هر جسم، چه در حال سکون باشد و چه در حال حرکت یکنواخت روی خط راست، در صورتی که هیچ نیرویی به آن وارد نشود در همان وضعیت حرکت می ماند. این خاصیت اجسام که میل دارند وضعیت حرکت خود را در نبود نیرو حفظ کنند، لختی نام دارد. از این رو قانون اول نیوتون، قانون لختی نیز نامیده می شود.

## پرسش ۳-۲

وقتی در ماشین ساکنی نشسته ایم و ماشین ناگهان شروع به حرکت می کند، به عقب هل داده می شویم. همچنین اگر در ماشین در حال حرکت نشسته باشیم، هنگام توقف ناگهانی، به جلو پرتاب می شویم. 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 ضربه ی انگشت آن را به سرعت به حرکت در آورید (شکل ۳-۵). نتیجه ی آزمایش را به کمک قانون اول نیوتون شرح دهید.



شکل ۳-۵ ضربه ی سریع انگشت به کارت، کارت را از زیر سکه پرتاب می کند و سکه درون لیوان می افتد.

### بیش تر بدانید

● آزمایش فکری گالیله و قانون اول نیوتون

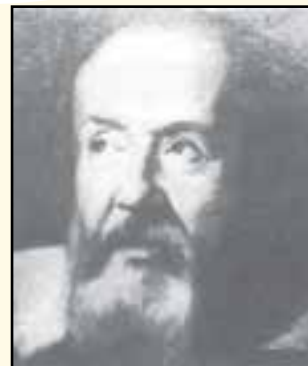
### شبیه سازی

● قانون اول نیوتون

## قانون دوم نیوتون

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

**قانون دوم نیوتون** به صورت زیر بیان می شود:



گالیلو گالیله (۱۶۴۲-۱۵۶۴) در دانشگاه 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 دست ساز خود را به طرف آسمان شب نشانه رفت و کوه‌هایی را روی ماه و قمرهایی را در اطراف مشتری کشف کرد. با گسترش اندیشه‌های گالیله، دیری نگذشت که کلیسا با او درگیر شد و به او هشدار دادند که تدریس نکنند و دیدگاه‌های کوپرنیکی را دنبال نکنند. 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. در این زمان، او که پیرمردی با تن و روانی درهم شکسته بود، محکوم شد برای همیشه در خانه‌ی خود تحت نظر باشد.

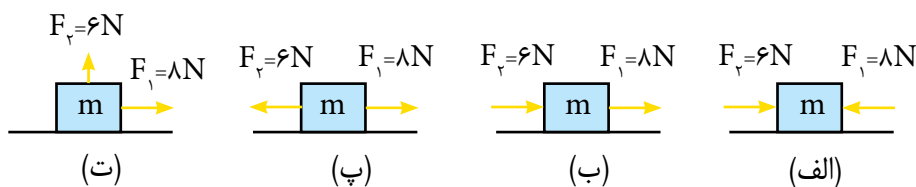
شتاب جسمی به جرم  $m$  که نیروی  $\vec{F}$  بر آن وارد می شود، هم جهت و متناسب با نیروی وارد بر آن است و با جرم جسم نسبت عکس دارد. این بیان را می توان به صورت زیر نوشت

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

رابطه‌ی بالا را به صورت  $\vec{F} = m\vec{a}$  نیز می توان نوشت. در این رابطه،  $\vec{F}$  برآیند همه‌ی نیروهایی است که به جسم به جرم  $m$  وارد می شود و به آن شتاب  $\vec{a}$  می دهد. یکای نیرو، نیوتون (N) را نیز می توان 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  $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$  خواهد شد که آن را نیوتون می نامیم. بنابراین «یک نیوتون، نیرویی است که اگر به جسمی به جرم  $1 \text{ kg}$  وارد شود، به آن شتابی برابر  $1 \text{ m}/\text{s}^2$  بدهد.»

## مثال ۳-۱

نیروهای وارد شده به جسمی به جرم  $m = 2 \text{ kg}$  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  $F_3$  در راستای قائم (محور  $y$ ) است.



شکل ۳-۶

**حل:** ابتدا برآیند نیروهای وارد شده به جسم را در هر حالت پیدا می کنیم و سپس با استفاده از قانون دوم نیوتون شتاب جسم را به دست می آوریم. (سمت راست را جهت مثبت محور  $x$  فرض می کنیم.)

## شبیه سازی



● قانون دوم نیوتون



در وضعیت (الف) داریم

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = -F_1 + F_2 = (-8N) + (6N) = -2N$$

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

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

در وضعیت (ب) داریم

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = F_1 + F_2 = (8N) + (6N) = 14N$$

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

در وضعیت (پ) داریم

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = F_1 - F_2 = (8N) + (-6N) = 2N$$

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

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

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \Rightarrow F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(8N)^2 + (6N)^2} = \sqrt{100N^2} = 10N$$

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

### تمرین ۳-۱

بزرگی برابند نیروهای وارد بر جسمی برابر  $10N$  است. اگر جسم شتابی برابر  $2 m/s^2$  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 می کند. اما این قانون ها، مشخص نمی کنند که نیروی وارد بر جسم از کجا به آن وارد می شود. همان طور که تجربه های روزانه نشان می دهد همواره یک جسم به جسم دیگر نیرو وارد می کند. بازیکن فوتبال، با پا به توپ ضربه می زند، یعنی پا به توپ نیرو وارد می کند. شخصی که جسمی را روی زمین می کشد، به آن نیرو وارد می کند. 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 می شود:

اگر جسم (۱) بر جسم (۲) نیرو وارد کند، جسم (۲) نیز متقابلاً نیرویی بر جسم (۱) وارد می کند. اگر نیرویی را که جسم (۱) بر جسم (۲) وارد می کند،  $\vec{F}$  و نیرویی را که جسم (۲) بر جسم (۱) وارد می کند،  $\vec{F}'$  بنامیم، این دو نیرو هم اندازه، هم راستا و در دو سوی مخالف یک دیگرند. یعنی

$$\vec{F} = -\vec{F}'$$


ایزاک نیوتون (۱۶۴۲-۱۷۲۷) 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 مادر بزرگ خود رشد کرد. در کودکی، هیچ نشانه ای از تیزهوشی در او نبود و پس از ۵ سال تحصیل در دانشگاه کمبریج بدون هیچ ویژگی خاصی فارغ التحصیل شد. با گسترش طاعون در سراسر انگلستان به مزرعه ای مادرش بازگشت و در مزرعه (۲۳-۲۴ سالگی) پایه های 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، نظریه ای در مورد ماهیت نور تنظیم کرد، و به کمک منشور نشان داد که نور سفید از رنگ های رنگین کمان 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 و در ۴۳ سالگی کتاب ارزشمند اصول ریاضی فلسفه ی 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 کدام یک را واکنش بنامیم. مفهوم اساسی قانون سوم نیوتون این است که نیروی تک در طبیعت وجود ندارد.



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

همان‌طور که دیدیم بنا بر قانون دوم نیوتون، شتاب جسمی به جرم  $m$  متناسب با برابری 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 بگیرد. در صورتی که 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 در نظر 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

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

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

شبیه‌سازی

● قانون سوم نیوتون

بیش تر 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

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

### مثال ۳-۲

جرم زمین و خورشید به ترتیب برابر  $6 \times 10^{24} \text{ kg}$  و  $2 \times 10^{30} \text{ kg}$  است. اگر فاصله‌ی متوسط زمین تا خورشید  $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$  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

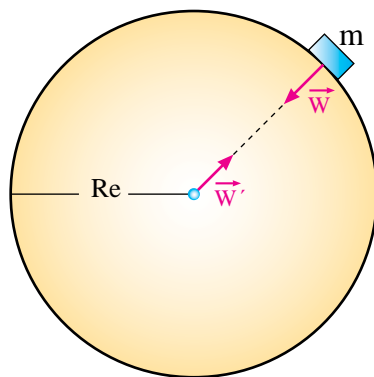
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = (6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2) \frac{(6 \times 10^{24} \text{ kg}) \times (2 \times 10^{30} \text{ kg})}{(1.5 \times 10^{11} \text{ m})^2} = 3.55 \times 10^{22} \text{ N}$$

**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

$$W = G \frac{M_e m}{R_e^2}$$

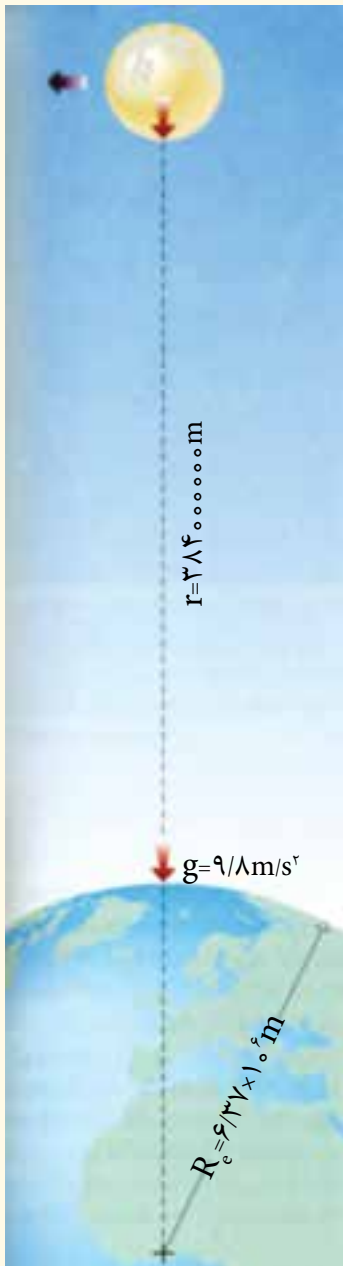
این نیرو که در راستای شعاع کره‌ی زمین و در نتیجه عمود بر سطح آن است همان نیروی وزن جسمی به جرم  $m$  است که با حرف  $W$  نشان داده می‌شود (شکل ۳-۱۰).



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.

#### بیش تر بدانید

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



شکل ۳-۹

از آنجا که 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  $W=mg$  و  $W=G \frac{M_e m}{R_e^2}$  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.

### ..... مثال ۳-۳

شتاب گرانش را در سطح ماه به دست آورید و آن را با شتاب گرانش در سطح زمین

$$R_m=1/8 \times 10^6 \text{ m} \quad \text{و} \quad M_m=7/4 \times 10^{22} \text{ kg} \quad \text{و} \quad g_e=9/8 \text{ m/s}^2$$

است.

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

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

$$=(6/67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2) \frac{(7/4 \times 10^{22} \text{ kg})}{(1/8 \times 10^6 \text{ m})^2} \approx 1/6 \text{ m/s}^2$$

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.

**نیروی عمودی سطح:** وقتی روی تشک ایستاده‌اید، با این که کره‌ی زمین شما را رو به پایین

می‌کشد، ولی سر جای 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 ۳-۱۱ الف

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

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

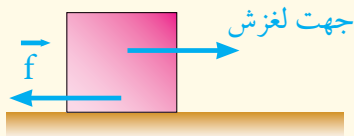
ساکن است باید  $\vec{N} + \vec{W} = 0$  یا  $\vec{N} = -\vec{W}$  باشد.

هشدار: جرم و وزن را باهم اشتباه نگیرید. در زندگی روزمره اغلب یک‌های SI برای جرم و وزن را نابجا به کار 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 از این استفاده‌ی سهل انگارانه در کارهای خود اجتناب کنید! در یک‌های SI وزن را (که یک نیرو است) برحسب نیوتون اندازه می‌گیرند درحالی که جرم بر حسب کیلوگرم اندازه‌گیری می‌شود.

### بیش تر بدانید



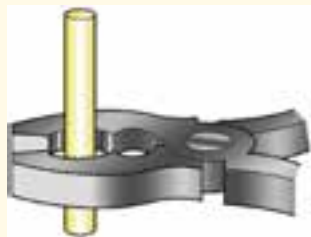
- نظریه‌ی گرانش اینشتین به زبان ساده
- سیاهچاله‌ها



شکل ۳-۱۳ نیروی اصطکاک  $f$  با لغزش جسم روی سطح مخالفت می کند.

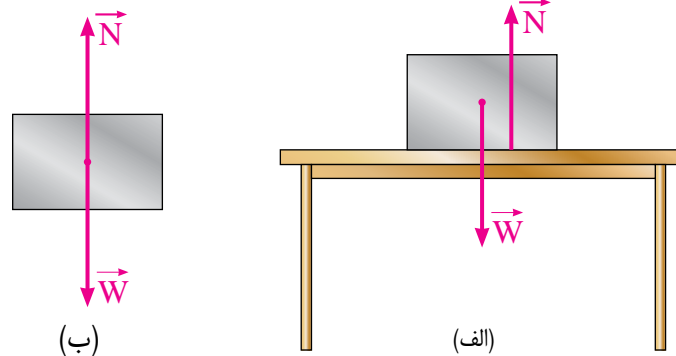


این کوهنورد به اصطکاک زیادی بین دست هایش و طناب نیازمند است. در غیر این صورت سر می خورد.



اصطکاک بین دهانه های انبردست ومیله باعث می شود که میله بدون لغزش نگه داشته شود.

شکل ۳-۱۴

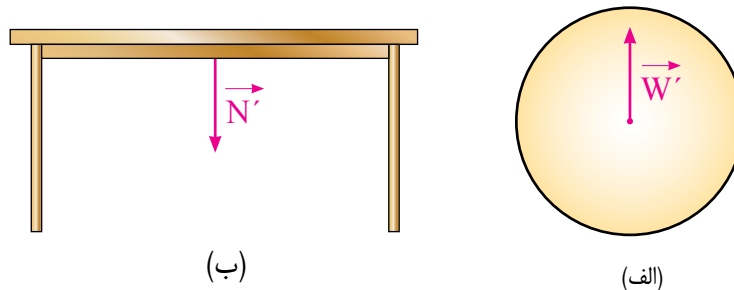


شکل ۳-۱۱ الف- بر قطعه ای که روی میزی ساکن است افزون بر نیروی وزن  $\vec{W}$ ، نیروی عمودی سطح  $\vec{N}$  از طرف میز به آن وارد می شود. ب- توجه کنید نیروهای  $\vec{N}$  و  $\vec{W}$  کنش و واکنش یکدیگر نیستند.

### مثال ۳-۴

بنا بر قانون سوم نیوتون، نیروهای عکس العمل (واکنش)  $\vec{W}$  و  $\vec{N}$  را که بر قطعه ای 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 می شود. 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 روبه رو 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 می شود. مقاومت در برابر حرکت ناشی از نیروی اصطکاک  $f$  یا به طور ساده اصطکاک است. هرگاه جسم را بکشیم یا هل دهیم این نیرو در امتداد سطح و مخالف با جهت حرکت جسم است (شکل ۳-۱۳).

**اصطکاک می تواند سودمند باشد.** در بعضی موارد، نیروی اصطکاک می تواند خیلی سودمند باشد. برای افزایش اصطکاک بین دو سطح، باید سطح ها ناهموار و خشک باشند، به طوری که آن ها به یک دیگر محکم گیر کنند (شکل ۳-۱۴).

**اصطکاک می تواند زیان بار 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 سطح ها را تا حد ممکن هموار و یک ماده ی روان کننده مانند روغن اضافه کنیم (شکل ۳-۱۶). اصطکاک بین دو سطح باعث تولید گرما می شود و این موضوع سبب می شود که یکی از دو سطح یا هر دو آن ها ساییده شوند. یک ماده ی روان کننده به کاهش گرما و ساییدگی کمک می کند. این موضوع، دلیلی بر اهمیت روغن کاری ماشین آلات است.



این اسکی باز می خواهد اصطکاک بین چوب های اسکی او و برف، تا حد ممکن کوچک باشد تا بتواند سریع تر برود.



وقتی ماهی شنا می کند، بین بدنش و آب اصطکاک وجود دارد. برای کم نگه داشتن اصطکاک، ماهی حالتی هموار و کم مقاومت در برابر آب دارد.

شکل ۳-۱۵

### فعالیت ۳-۳

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

### مطالعه ی آزاد

نگاهی دقیق تر به نیروی اصطکاک

شکل ۳-۱۷ الف جسمی را نشان می دهد که روی سطح افقی ساکن است. نیروی وزن  $\vec{W}$  و نیروی عمودی سطح  $\vec{N}$  بر آن اثر می کنند و جسم به حال سکون است. در شکل ۳-۱۷ ب نیروی افقی و کوچک  $\vec{F}$  به گونه ای بر جسم وارد شده است که جسم ساکن بماند. بنا بر قانون دوم نیوتون چون جسم در این حالت ساکن است، باید بر ایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. بنابراین، باید یک نیروی افقی مانند  $f_s$  به جسم وارد شود تا با خشی کردن نیروی  $\vec{F}$ ، مانع حرکت و شتاب گرفتن جسم شود. در این حالت چون جسم در حال سکون است نیروی  $f_s$  را نیروی اصطکاک در حال سکون یا نیروی اصطکاک ایستایی می نامند.

در شکل ۳-۱۷ پ نیروی افقی  $\vec{F}$  بیشتر شده است. به طوری که باز هم جسم در حال سکون است. همان طور که دیده می شود نیروی اصطکاک ایستایی نیز افزایش یافته است. زیرا بنا بر قانون دوم نیوتون بر ایند 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 بیشینه ی خود یعنی  $f_{s,max}$  رسیده است. به نیروی اصطکاک در این حالت نیروی اصطکاک در آستانه ی حرکت گفته می شود. زیرا به محض این که  $\vec{F}$  از  $f_{s,max}$  بیشتر

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



روان کننده اصطکاک را کاهش می دهد



با افزودن روان کننده ای مانند مایع ظرف شویی، حلقه به راحتی در می آید.

شکل ۳-۱۶

بیش تر بدانید



منشأ فیزیکی اصطکاک

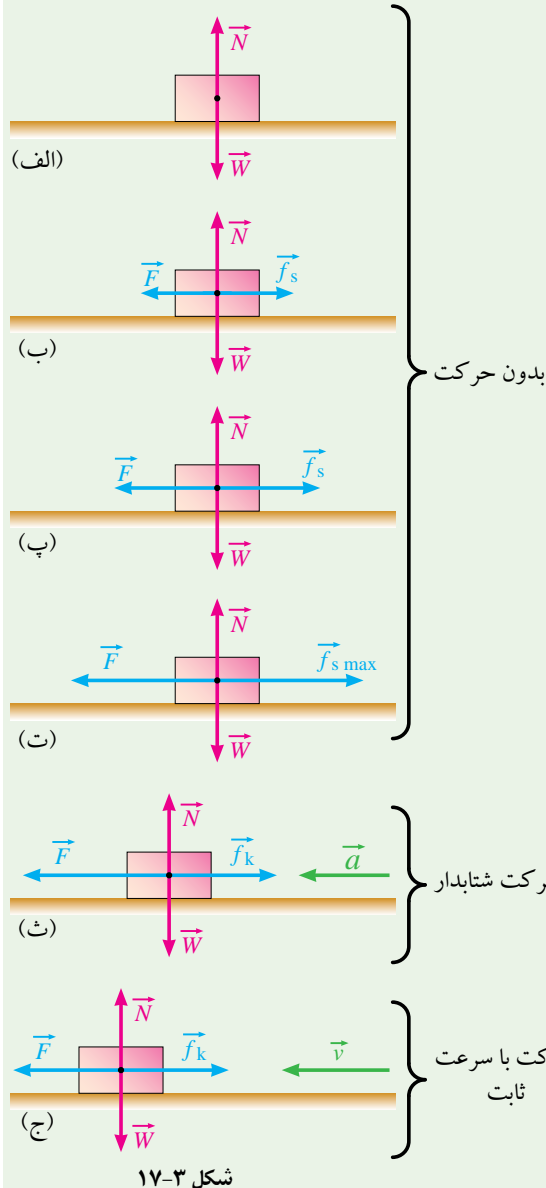


ابو منصور ابوالفتح عبدالرحمان خازنی، ریاضیدان و دانشمند حوزه ی علم الحیل (مکانیک) و یکی از ستاره شناسان قرون ۵ و ۶ هجری قمری ایرانی است. درباره ی تاریخ تولد و فوت این دانشمند بزرگ اطلاع دقیقی در دست نیست ولی گفته می شود که وفات او بعد از سال ۵۲۵ قمری اتفاق افتاده است. او در مرو می زیست و در همین شهر به کسب علم پرداخت و با جهد بسیار در حوزه ی دانش پیشرفت کرد.

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

- زیج معتبر سنجرى یکی از آثار مهم نجوم دوره ی اسلامی
- رساله فی آلات العجیبه الرصدیه
- رساله الاعتبار در نجوم نظرى
- میزان الحکمه، یکی از مهم ترین آثار مربوط به دانش مکانیک دوره ی اسلامی

شود جسم شروع به حرکت می کند. تجربه نشان می دهد بزرگی نیروی اصطکاک در آستانه ی حرکت از رابطه ی  $f_{s,max} = \mu_s N$  به دست می آید که در آن  $\mu_s$  ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد. توجه کنید این رابطه تنها برای حالتی که جسم در آستانه ی حرکت باشد به کار می رود. بنابراین نیروی اصطکاک ایستایی همواره از  $\mu_s N$  کوچک تر و مقدار بیشینه ی آن برابر  $\mu_s N$  است. یعنی داریم

$$f_s \leq \mu_s N$$


شکل ۳-۱۷

در شکل ۳-۱۷ ث نیروی افقی  $\vec{F}$  که اندازه ی آن بزرگ تر از نیروی اصطکاک در آستانه ی حرکت است به جسم وارد شده است. در نتیجه جسم با شتاب  $\vec{a}$  شروع به حرکت می کند. در هنگام حرکت جسم نیز نیروی اصطکاک به جسم وارد می شود که آن را نیروی اصطکاک جنبشی می نامند و با  $\vec{f}_k$  نمایش می دهند. تجربه نشان می دهد که بزرگی نیروی اصطکاک جنبشی از رابطه ی  $f_k = \mu_k N$  به دست می آید که در آن  $\mu_k$  ضریب اصطکاک جنبشی نام دارد.

پس از این که جسم شروع به حرکت کرد می توانیم اندازه ی نیروی افقی  $\vec{F}$  را کم کنیم. به طوری که هرگاه اندازه ی نیروی  $\vec{F}$  با اندازه ی  $f_k$  برابر شود، حرکت جسم با سرعت ثابت خواهد بود. (شکل ۳-۱۷ ج) ضریب اصطکاک ایستایی  $\mu_s$  و ضریب اصطکاک جنبشی  $\mu_k$

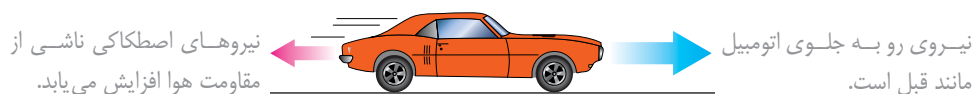
به عوامل مختلفی از جمله جسم های در تماس، میزان میقلى بودن سطح های در تماس، دما و میزان آلودگی سطح ها بستگی دارد. همچنین ضریب اصطکاک ایستایی از ضریب اصطکاک جنبشی کوچک تر است، یعنی  $\mu_k < \mu_s$ .

**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).



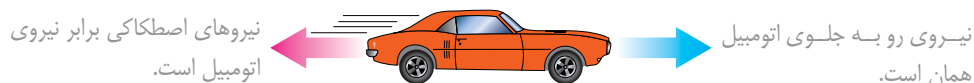
شکل ۳-۱۸ در این حالت نیروی پیش‌ران اتومبیل خیلی بزرگ‌تر از نیروی اصطکاک است و در نتیجه اتومبیل شتاب زیادی می‌گیرد.

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



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

سرانجام بزرگی نیروهای اصطکاک 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.



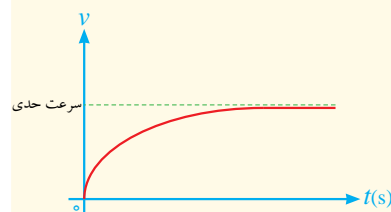
شکل ۳-۲۰ بزرگی نیروها برابر است و در نتیجه اتومبیل بدون شتاب است.

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 اصطکاک 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  $1\text{mg}$  و با سرعت ثابت  $10\text{m/s}$  در امتداد محور  $x$  در حرکت است. اندازه حرکت (تکانه‌ی) این ذره چقدر است؟  
**حل :** جرم ذره در SI برابر است با:

$$m = 1\text{mg} = 1 \times 10^{-3}\text{g} = 1 \times 10^{-3} \times 10^{-3}\text{kg} = 10^{-6}\text{kg}$$

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:

$$P = mv = (10^{-6}\text{kg}) \times (10\text{m/s}) = 10^{-5}\text{kg.m/s}$$

#### شبیه‌سازی



- اصطکاک و تغییر 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 برآیند نیروهای وارد بر جسم ثابت باشد، شتاب حرکت جسم نیز ثابت خواهد. در این صورت می‌توان نوشت

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = m \frac{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t}$$

رابطه‌ی بالا را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{\vec{P}_2 - \vec{P}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$$

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

برآیند نیروهای وارد بر جسم برابر است با آهنگ

تغییر اندازه حرکت جسم

### مثال ۳-۷

گلوله‌ای به جرم  $20\text{g}$  با سرعت  $50\text{m/s}$  در امتداد افق به دیواری برخورد می‌کند و در همان امتداد در دیوار فرو می‌رود. اگر گلوله پس از برخورد با دیوار به مدت  $0.05\text{s}$  ثانیه در دیوار پیش برود، نیروی متوسط وارد بر گلوله از طرف دیوار چقدر است؟

**حل:** سرعت جسم پیش از برخورد به دیوار  $v_1 = 50\text{m/s}$  و پس از فرو رفتن در دیوار و متوقف شدن برابر  $v_2 = 0$  است. بنابراین تغییر سرعت گلوله در مدت  $\Delta t = 0.05\text{s}$  برابر  $\Delta v = v_2 - v_1 = -50\text{m/s}$  است. بنابراین نیروی متوسط وارد بر گلوله برابر است با

$$\vec{F} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = (0.02\text{kg}) \frac{(-50\text{m/s})}{0.05\text{s}} = -20\text{N}$$

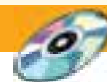
علامت منفی نشان می‌دهد که نیرو در خلاف جهت حرکت گلوله به آن وارد شده است. به همین جهت گلوله پس از مدت کوتاهی متوقف شده است.

#### بیش‌تر 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 برابند 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

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

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 برابند 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

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

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.

## پرسش های مفهومی

۱- یک اتومبیل ویژه مسابقه، موتور پر قدرتی دارد اما از مواد بسیار سبک و مستحکمی ساخته شده است. ویژگی های این اتومبیل را بر پایه ی رابطه ی  $F=ma$  توضیح دهید.

۲- توپی را به هوا پرتاب می کنیم. شکلی رسم کنید و نیرو(ها)ی وارد به توپ را در حالی که بالا می رود نشان دهید.

۳- هرگاه بادکنکی را باد کنیم و سپس آن را رها کنیم مشاهده می شود که در حالی که هوای درون بادکنک تخلیه می شود بادکنک بر خلاف جهت خروج هوا حرکت می کند. در شکل ۳-۳

حرکت موشک با یک بادکنک مقایسه شده است. به کمک قانون های نیوتون حرکت هر یک را شرح دهید. به جهت خروج هوا از بادکنک یا گازهای داغ از موشک توجه کنید.

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

(الف) با انتخاب یکی از نیروهای A تا E جمله های زیر را کامل کنید.

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

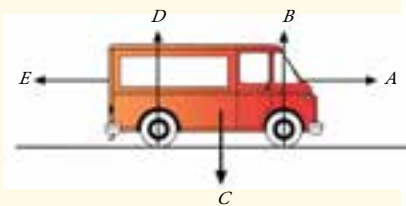
نیروی ..... نیرویی است که رو به عقب از طرف مقاومت هوا به اتومبیل وارد می شود.

(ب) اندازه ی نیروهای A و E می تواند تغییر کند. مقدار نیروی A با نیروی B را در حالت هایی

که در جدول زیر داده شده است، با هم مقایسه کنید.



شکل ۳-۲۳



شکل ۳-۲۴

نیروی A بزرگ تر	نیروی A مساوی	نیروی A کوچک تر	مقایسه ی نیروها
از نیروی E است	نیروی E است	از نیروی E است	نوع حرکت اتومبیل
			ساکن است
			شتابدار تندشونده
			سرعت ثابت
			شتابدار کندشونده

(پ) در چه زمانی نیروی E مساوی صفر است؟

(ت) اتومبیل مشکلی پیدا می کند و در هر ثانیه یک قطره روغن از آن روی جاده می ریزد. در نمودار زیر قطره های روغن ریخته شده از اتومبیل هنگام حرکت روی جاده نشان داده شده است.



نوع حرکت اتومبیل را در نقطه های 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 چتر باز می‌شود به طوری که سرانجام به سلامت به زمین می‌رسد.

### مسئله‌ها

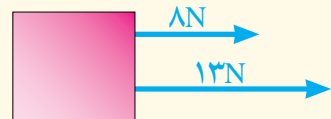
۱- در مکان خاصی وزن جسمی به جرم  $1\text{ kg}$  برابر با  $1\text{ N}$  است. وزن جرم‌های زیر در آن‌جا چقدر است؟

پ)  $5\text{ g}$

ب)  $5\text{ kg}$

الف)  $100\text{ g}$

۲- نیروهای وارد بر جسمی به جرم  $2\text{ kg}$  که در امتداد افق در حرکت است مطابق شکل ۲۵-۳ است. شتاب جسم چقدر است؟



شکل ۲۵-۳

۳- جسمی به جرم  $500\text{ g}$  روی سطح افقی بدون اصطکاکی بانیروی ثابت  $F$  روی خط راست کشیده می‌شود و در مدت  $2\text{ s}$  مسافت  $8\text{ m}$  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 ۲۶-۳) و در مدت  $10\text{ s}$  سرعت او به  $5\text{ m/s}$  می‌رسد. کمیت‌های زیر را حساب کنید.

الف) شتاب حرکت دوچرخه‌سوار.

ب) سرعت متوسط دوچرخه‌سوار در مدت  $10\text{ s}$ .

پ) مسافت پیموده‌شده در مدت  $10\text{ s}$ .

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



شکل ۲۶-۳

ت) سرعت بیشینه ی دوچرخه سوار چه نامیده می شود؟  
ث) این رویداد را بر حسب نیروهای وارد بر دوچرخه سوار توضیح دهید.



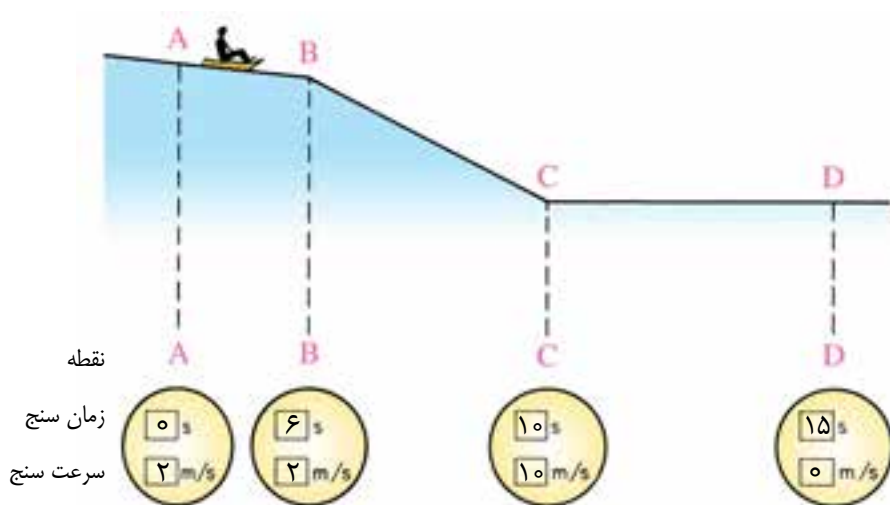
شکل ۳-۲۷

۵- برای آزمایش کمربند ایمنی یک اتومبیل، آدمکی را به جرم  $55\text{kg}$  انتخاب می کنند و با کمربند ایمنی روی صندلی می نشانند (شکل ۳-۲۷). پیش از آن که اتومبیل به یک دیوار آجری برخورد کند، سرعت آن  $35\text{m/s}$  است. در این موقعیت کمربند ایمنی به آدمک اجازه می دهد تنها مسافتی برابر  $60\text{cm}$  با حرکت شتابدار و با شتاب ثابت روی صندلی به طرف جلو حرکت کند.

الف) شتاب کندشونده ی آدمک را به دست آورید.

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

۶- شخصی با یک سورتمه از سطح شیب داری پایین می آید. جرم کل شخص و سورتمه برابر با  $100\text{kg}$  است. زمان و سرعت او همزمان با وسیله ای (زمان سنج - سرعت سنج) که به سورتمه متصل است اندازه گیری می شود. مقدارهای اندازه گیری شده در نقطه های  $A, B, C, D$  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 فاصله ی CD حساب کنید.

۷- سرعت دوچرخه‌سواری برابر با  $5\text{m/s}$  است. در مدت ۵ ثانیه سرعت او به  $7\text{m/s}$  افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۳-۲۹

### شبیه‌سازی



● حرکت ماهواره (در ارتباط با مسئله‌ی ۸)

الف) شتاب دوچرخه‌سوار چقدر است؟

ب) در شکل ۳-۲۹ جرم دوچرخه‌سوار با دوچرخه‌اش  $80\text{kg}$  است. نیرویی که از طرف جاده رو به جلو به دوچرخه وارد می‌شود برابر با  $30\text{N}$  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.

الف) برای این که ماهواره در مسیر دایره‌ای دور زمین حرکت کند، لازم است نیرویی به طرف زمین به ماهواره وارد شود. به این نیرو که جهت آن به طرف مرکز زمین است، نیروی مرکز‌گرا نیز گفته می‌شود. توضیح دهید برای حرکت ماهواره در مداری اطراف زمین، این نیروی مرکز‌گرا از کجا تأمین می‌شود.

ب) اگر جرم ماهواره بیش‌تر شود نیروی مرکز‌گرای لازم چه تغییری می‌کند؟

پ) اگر ماهواره در مداری به فاصله‌ی  $600$  کیلومتری سطح زمین در حرکت باشد و جرم ماهواره  $400\text{kg}$  باشد، بزرگی نیروی مرکز‌گرای وارد شده به ماهواره چقدر است؟ جرم زمین  $6 \times 10^{24}\text{kg}$  و شعاع آن  $6400\text{km}$  است.

(فرض کنید همه‌ی جرم زمین در مرکز آن متمرکز باشد.)



شکل ۳-۳۰