

جرم جسم

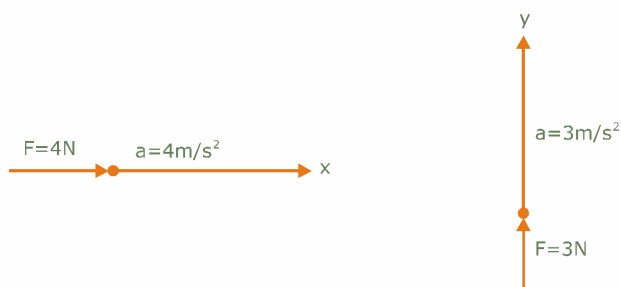
در بخش نیرو، فقط شتابهای یک جسم خاص، یعنی کیلوگرم استاندارد را بررسی کردیم. از اینجا توانستیم نیرو را به طور کمی تعریف کنیم. اما بینیم نیرو بر اجسام دیگر چه اثری می‌گذارد؟ چون جسم استاندارد را دلبخواه انتخاب کرده بودیم، طبیعی است که برای هر جسمی، شتاب مستقیماً متناسب با نیرویی باشد که بر آن وارد می‌شود. پرسش مهمی که باقی می‌ماند این است: اثر یک نیروی یکسان بر اجسام متفاوت چگونه است؟

پاسخ کیفی این سؤال از تجربیات روزمره حاصل می‌شود. نیروهای یکسان، شتابهای متفاوتی به اجسام متفاوت می‌دهند. یک نیروی معین، به توپ بیسبال شتاب بیشتری می‌دهد تا به یک اتومبیل. برای بدست آوردن پاسخ کمی به این پرسش، به روشی برای اندازه‌گیری جرم نیاز داریم، یعنی به روشی برای سنجش خاصیتی از جسم که مقاومت آن را در برابر تغییر حرکتش تعیین می‌کند.

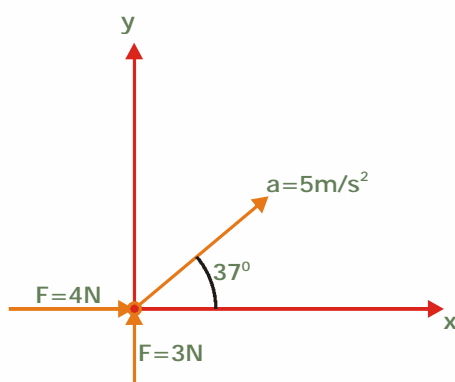
فرض کنید که فنری به جسم استانداردمان (کیلوگرم استاندارد، که خودمان به آن جرم m_0 ، دقیقاً برابر با $1kg$ نسبت دادیم) ببندیم و آن را، چنان بکشیم که شتاب آن a_0 ، مثلاً $2m/s^2$ شود. تغییر طول ΔL فنر را، که متناظر با نیرویی است که از فنر بر جسم وارد می‌شود، دقیقاً اندازه می‌گیریم.

اکنون دو جسم استاندارد یکسان را به فنر می‌بندیم و همان نیروی سابق را به آنها وارد می‌کنیم (یعنی فنر را آنقدر می‌کشیم تا افزایش طول آن به همان اندازه ΔL باشد. شتاب مجموعه دو جسم را اندازه می‌گیریم و می‌بینیم $1m/s^2$ می‌شود. اگر سه جسم استاندارد بکار برده بودیم و همان نیرو را

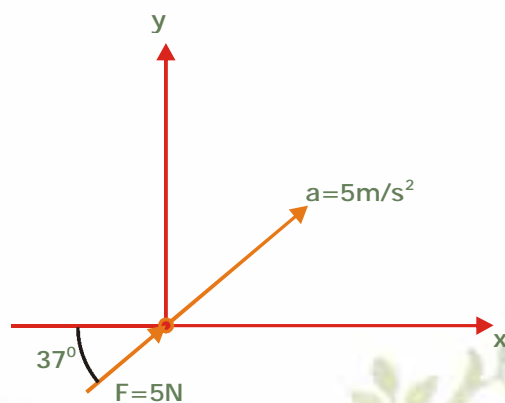
اعمال می‌کردیم، شتاب مجموعه را برابر با $0/667m/s^2$ بدست می‌آوردیم.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (I). (الف) نیروی $4N$ در جهت x ، شتاب $4m/s^2$ در جهت x تولید می‌کند و نیروی $3N$ در جهت y شتاب $3m/s^2$ در جهت y . (ب) اگر دو نیرو با هم اعمال شوند، شتاب برآیند برابر با $5m/s^2$ در جهتی است که نشان داده شده است. (ج) این شتاب را می‌شود با یک نیروی $5N$ در جهت مشخص شده تولید کرد.

از این مشاهدات معلوم می‌شود که به ازای نیروی ثابت، هر چه جرم بزرگتر باشد شتاب کوچکتر می‌شود. از این آزمایش و آزمایشهای مشابه دیگر، نتیجه می‌گیریم که شتابی که یک نیروی معین تولید می‌کند، تناسب معکوس با جرم جسمی دارد که شتاب می‌گیرد. به بیان دیگر: جرم اجسام متناسب با عکس شتابی است که از یک نیروی معین می‌گیرند. به این ترتیب، جرم جسم را می‌توانیم معیاری کمی از مقاومت آن در برابر یک نیروی معین در نظر بگیریم.

با این مشاهده، روش مستقیمی برای مقایسه جرم اجسام مختلف بدست می‌آید: کافی است شتاب اجسام تحت تأثیر یک نیروی معین را بسنجیم و با هم مقایسه کنیم. نسبت جرمهای دو جسم برابر با عکس نسبت شتابهایی است که در اثر آن نیرو کسب می‌کنند، یعنی

$$\frac{m_1}{m_0} = \frac{a_0}{a_1} \quad (\text{به ازای نیروی یکسان})$$

اینجا در واقع داریم شتاب a_1 جسمی به جرم مجهول m_1 را با شتاب a_0 جسم استاندارد به جرم m_0 مقایسه می‌کنیم.

مثلاً، فرض کنید نیرویی اعمال کنیم که به جرم استاندارد شتاب 2 m/s^2 بدهد. همان نیرو را به جسمی به جرم مجهول m_1 وارد می‌کنیم (برای این کار فنر را به همان اندازه ΔL می‌کشیم) و شتاب a_1 را می‌سنجیم، که مثلاً برابر با $0/50 \text{ m/s}^2$ می‌شود. حالا می‌توانیم m_1 را از رابطه بالا بیاوریم. نتیجه می‌شود که

$$m_1 = m_0 \left(\frac{a_0}{a_1} \right) = (1 \text{ kg}) \left(\frac{2 \text{ m/s}^2}{0/50 \text{ m/s}^2} \right) = 4 \text{ kg}$$

شتاب جسم دوم، در اثر همان نیروی وارد بر جسم اول، یک چهارم شتاب جسم اول است؛

بنابراین، جرم آن چهار برابر جرم جسم اول است. این مثال رابطه معکوس میان جرم و شتاب را به ازای نیروی معین، نشان می‌دهد.

آزمایش بالا را برای همین دو جسم تکرار می‌کنیم، اما این بار به هر دو نیروی F' وارد می‌کنیم،

که با F متفاوت است. این نیرو به جسم استاندارد شتاب a'_0 و به جسم مجهول شتاب a'_1 می‌دهد.

خواهیم دید که نسبت شتابها، a'_0/a'_1 ، برابر با همان نسبت آزمایش قبلی است؛ یعنی

$$\frac{m_1}{m_0} = \frac{a_0}{a_1} = \frac{a'_0}{a'_1}$$

مثلاً، فرض کنید نیروی بزرگتری اعمال کنیم، چنانکه فنر به اندازه $1/5\Delta L$ کشیده شود. در این

حالت خواهیم دید که جرم m_0 شتاب $3 m/s^2$ و جرم مجهول m_1 شتاب $0/75 m/s^2$ می‌گیرد. از

اینجا جرم مجهول چنین بدست می‌آید:

$$m_1 = m_0 \left(\frac{a'_0}{a'_1} \right) = (1kg) \left(\frac{3 m/s^2}{0/75 m/s^2} \right) = 4kg$$

که همان مقداری است که در آزمایش قبل بدست آمد. مهم نیست که مقدار نیروی مشترکی که

بکار می‌بریم چقدر باشد، در هر حال مقداری که برای m_1 حاصل می‌شود یکی است. نسبت

جرم m_1/m_0 مستقل از نیروی مشترکی است که اعمال شده است؛ جرم از خواص بنیادی جسم است و

بستگی به مقدار نیرویی که برای مقایسه جرم مجهول با جرم استاندارد بکار رفته است ندارد. پس به

کمک این روش می‌توانیم جرم اجسام را از مقایسه با کیلوگرم استاندارد بدست بیاوریم.

این روش را می‌شود به مقایسه مستقیم جرم هر دو جسمی تعمیم داد. مثلاً، فرض کنید که ابتدا جسم دلبخواه دیگری را به همان روش قبلی با جسم استاندارد مقایسه و جرم آن، مثلاً m_2 ، را تعیین کنیم. اکنون می‌توانیم دو جسم m_1, m_2 را مستقیماً با هم مقایسه کنیم: در اثر نیروی F'' ، شتابهای a_1'', a_2'' بدست می‌آیند. نسبت جرمها که طبق معمول از رابطه

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1''}{a_2''} \quad (\text{به ازای نیروی یکسان})$$

تعریف می‌شود، برابر با همان نسبتی است که از دو جرم m_1, m_2 که مستقیماً از مقایسه با جرم استاندارد بدست آمده باشند، حاصل می‌شود.

با آزمایش دیگری از همین نوع، می‌شود نشان داد که اگر دو جسم به جرمهای m_1, m_2 را به هم ببندیم، جسمی بدست می‌آید که از نظر مکانیکی مثل جسمی به جرم $m_1 + m_2$ رفتار می‌کند. به عبارت دیگر، جرم مانند کمیت‌های اسکالر جمع می‌شود (اسکالر هم هست). یکی از کاربردهای عملی این روش - تعیین جرم اجسام از راه مقایسه شتاب نسبی آنها در اثر نیروی یکسان - اندازه‌گیری دقیق جرم اتمهاست. در این مورد، نیروی مغناطیسی و شتاب شتاب مرکزگراست، اما اصول کار دقیقاً همان است که دیدیم. اگر نیروی مغناطیسی وارد بر دو اتم یکسان باشد، نسبت جرمهای دو اتم برابر با عکس نسبت شتابهای آنهاست. با اندازه‌گیری مقدار انحراف، مثلاً در طیف‌سنج جرمی، می‌شود نسبت دقیق جرم اتمهای مختلف را سنجید و با تعریف C^{12} به عنوان استاندارد، می‌شود مقادیر دقیق برای جرمها بدست آورد.