

قانون سوم نیوتن:

نیروهای وارد بر یک جسم از اجسامی ناشی می‌شوند که محیط آن جسم را تشکیل می‌دهند. اگر نیروهای وارد بر جسم دیگری را که قبلاً جزء محیط جسم اول بوده است بررسی کنیم، خود جسم اول هم جزئی از محیط جسم دوم و منشأ بخشی از نیروهای وارد بر جسم دوم خواهد بود. بنابراین، هر تک نیرویی در واقع بخشی از برهمکنش متقابل میان دو جسم است. آزمایش نشان می‌دهد که اگر جسمی بر جسم دیگری نیرو وارد کند، همیشه جسم دوم هم نیرویی بر جسم اول وارد می‌کند. به علاوه، معلوم می‌شود که همواره اندازه این دو نیرو یکسان و جهت آنها مخالف هم است. پس هیچ نیرویی به صورت تک نیروی مجزا نمی‌تواند وجود داشته باشد.



$$F_{AB} = -F_{BA}$$

شکل (I) - قانون سوم نیوتن. جسم A نیروی F_{BA} را بر جسم B وارد می‌کند. در این حال، جسم B هم باید

نیروی F_{AB} را بر جسم A وارد کند و $F_{AB} = -F_{BA}$ است.

فرض کنید که چنین نمی‌بود. دو جسم B, A را در نظر بگیرید. که از محیط منزویند و فرض کنید که A نیرویی بر B وارد می‌کند اما B نیرویی بر A وارد نمی‌کند. در این صورت نیروی کل وارد بر مجموعه $A + B$ غیر صفر می‌شد و جسم مرکب می‌بایست شتاب می‌گرفت. اگر چنین چیزی در کار بود، چشمه بی‌پایانی از انرژی می‌داشتیم که می‌توانست $A + B$ را، بی‌هیچ هزینه‌ای در فضا حرکت بدهد:

قایقهای بادبانی می توانستند با دمیدن نفس مسافران به بادبانهایشان حرکت کنند و سفینه های فضایی می توانستند با فشاری که فضاوردان بر دیواره هایشان وارد می کردند شتاب بگیرند. ناممکن بودن این چیزها نتیجه ای از قانون سوم نیوتن است.

به دلخواه، یکی از نیروهای برهمکنش بین دو جسم را نیروی "عمل" و دیگری را نیروی "عکس العمل" می نامیم. قانون سوم نیوتن، در شکلی که از قدیم رایج بوده است، چنین بیان می شود:

هر عملی، عکس العملی به همان اندازه و در خلاف جهت عمل دارد.

در روایت جدیدتری از قانون سوم، به نیروی متقابلی که دو جسم به هم وارد می کنند پرداخته می شود:

وقتی دو جسم به یکدیگر نیرو وارد کنند، این دو نیرو هم اندازه و در جهت های مخالف هم هستند. برای صورت بندی ریاضی این تعریف، فرض کنید در شکل (1) جسم A نیروی F_{BA} را به جسم B وارد می کند؛ آزمایش نشان می دهد که جسم B هم نیروی F_{AB} را به جسم A وارد می کند. (به ترتیب زیروندها توجه کنید؛ نیرو بر جسمی وارد می شود که با زیروند اول مشخص شده است و این نیرو را جسمی وارد می کند که با زیروند دوم مشخص شده است.) این را می شود به شکل یک معادله برداری نوشت:

$$F_{AB} = -F_{BA} \quad (1)$$

توجه کنید که عمل و عکس العمل همواره بر دو جسم مختلف اثر می کنند؛ تفاوت زیروندهای اول در دو طرف معادله هم یادآور همین است. اگر این دو نیرو بر یک جسم اثر می کردند، نیروی خالص وارد بر آن جسم صفر می شود و حرکت شتابداری وجود نمی داشت.

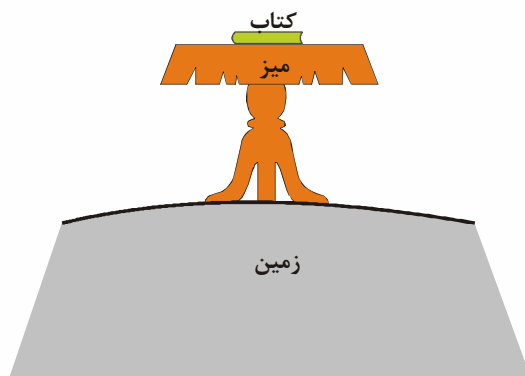
هنگامی که چوب بیسبال به توپ می خورد، چوب نیرویی بر توپ وارد می کند. (عمل) و توپ هم نیرویی هم اندازه و در خلاف جهت بر چوب وارد می کند. هنگامی که فوتبالیستی توپ را شوت می کند، پا نیرویی بر توپ وارد می کند (عمل) و توپ هم نیرویی هم اندازه و در خلاف جهت بر پا وارد می کند. هنگامی که دارید سعی می کنید اتومبیل وامانده ای را هل بدهید، می توانید حس کنید که اتومبیل هم شما را به عقب هل می دهد. در هر مورد، اگر هدف ما بررسی دینامیک یکی از دو جسم باشد - مثلاً فقط توپ بیسبال - تنها یکی از زوج نیروهای عمل - عکس العمل را در نظر می گیریم؛ نیروی دیگر به جسم دیگری وارد می شود و فقط وقتی به آن نیاز داریم که بخواهیم دینامیک آن جسم دیگر را بررسی کنیم. در مثالهای زیر می بینیم که قانون سوم چگونه عمل می کند:

1. ماهواره ای که در مدار زمین است. شکل (II) ماهواره ای را نشان می دهد که به دور زمین می گردد. تنها نیروی وارد بر آن F_{SE} است، نیرویی که از (جاذبه گرانشی) زمین بر ماهواره وارد می شود. عکس العمل متناظر با این نیرو کجاست؟ این نیرو F_{ES} است، نیروی ناشی از جاذبه گرانشی ماهواره که بر زمین وارد می شود.

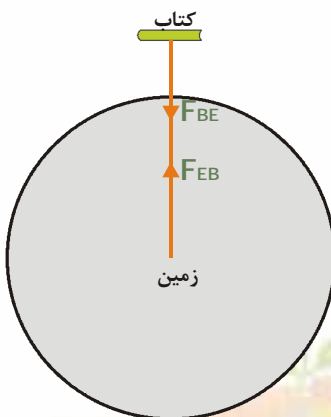


شکل (II). ماهواره ای در مدار زمین. نیروهایی که در شکل می بینید یک زوج عمل - عکس العملند. توجه کنید که این دو نیرو بر دو جسم مختلف اثر می کنند.

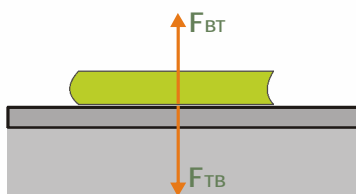
شاید فکر کنید که ماهواره به این کوچکی نمی تواند جاذبه گرانشی قابل ملاحظه‌ای بر زمین وارد کند، اما این کار را می کند، درست همانطور که لازمه قانون سوم نیوتن است. اگر فقط اندازه دو نیرو را در نظر بگیریم، می دانیم که $F_{ES} = F_{SE}$. (به خاطر دارید که اندازه هر برداری مثبت است) نیروی F_{ES} باعث می شود که زمین شتاب بگیرد، اما چون جرم زمین خیلی زیاد است، این شتاب آنقدر کوچک است که آشکار نمی شود.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (III) - (الف) کتابی روی میز در حالت سکون است؛ خود میز هم نسبت به زمین ساکن است. (ب) کتاب و زمین نیروهای گرانشی بر هم وارد می‌کنند، که یک زوج عمل - عکس‌العمل هستند. (ج) میز و کتاب نیروهای تماسی عمل - عکس‌العمل بر هم وارد می‌کنند.

2. کتابی که روی میز، ساکن است. شکل (III) الف کتابی را نشان می‌دهد که روی میزی، به حالت سکون، قرار دارد. زمین کتاب را با نیروی F_{BE} به طرف پایین می‌کشد، اما کتاب شتاب نمی‌گیرد چون این نیرو با نیروی تماسی F_{BT} خنثی می‌شود. این نیرو با نیروی اول هم اندازه و در جهت مخالف آن است و میز آن را بر کتاب وارد می‌کند.

F_{BT}, F_{BE} هم اندازه و در جهت مخالف هم هستند، اما زوج عمل - عکس‌العمل نیستند. چرا؟ چون هر دو بر یک جسم - به کتاب - وارد می‌شوند. این دو نیرو همدیگر را خنثی می‌کنند و به همین علت است که شتاب کتاب صفر است.

هر یک از این دو نیرو البته باید در جایی یک نیروی عکس‌العمل متناظر هم داشته باشد. این عکس‌العملها کجا هستند؟ عکس‌العمل F_{BE} نیروی F_{EB} است، نیروی (گرانشی) وارد بر زمین از طرف کتاب. شکل (III) ب این زوج عمل - عکس‌العمل را نشان می‌دهد.

شکل (III) ج عکس‌العمل F_{BT} را نشان می‌دهد، که نیروی F_{TB} است، یعنی نیروی تماسی که کتاب بر میز وارد می‌کند. زوجهای عمل - عکس‌العمل این مسئله، که کتاب هم در آنها دخیل است و

اجسامی که این نیروها بر آنها اثر می‌کنند، عبارتند از:

زوج اول: $F_{BE} = -F_{EB}$ (کتاب و زمین)

و

زوج دوم: $F_{BT} = -F_{TB}$ (کتاب و میز)

3. هُل دادن یک ردیف صندلی. شکل (IV) کارگری (W) را نشان می‌دهد که دو صندوق را هُل

می‌دهد. هر یک از این دو صندوق روی صفحه چرخداری است که می‌تواند با اصطکاک ناچیزی روی

زمین حرکت کند. کارگر نیروی F_{1W} را بر صندوق 1 وارد می‌کند و صندوق 1 هم با نیروی عکس‌العمل

F_{W1} کارگر را به عقب می‌راند. صندوق 1 صندوق 2 را با نیروی F_{21} هُل می‌دهد. (توجه کنید که کارگر

مستقیماً بر صندوق 2 نیرویی وارد نمی‌کند.) کارگر برای اینکه به جلو حرکت کند باید یک نیروی F_{GW}

بر زمین وارد کند. F_{WG} کارگر را به جلو می‌راند. شکل، سه زوج عمل - عکس‌العمل را نشان می‌دهد:

(صندوق 1 و صندوق 2) $F_{21} = -F_{12}$

(کارگر و صندوق 1) $F_{1W} = -F_{W1}$

(کارگر و زمین) $F_{WG} = -F_{GW}$

شتاب جسم 2، طبق قانون دوم نیوتن، از نیروی خالص وارد بر آن بدست می‌آید:

$$F_{21} = m_2 a_2$$

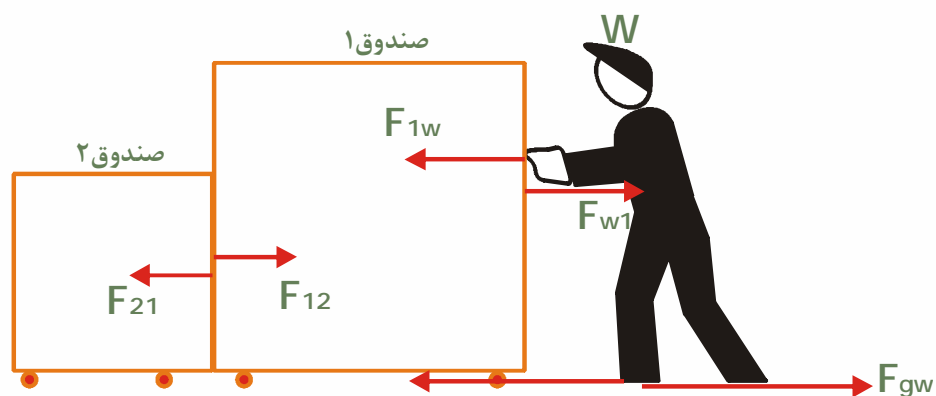
شتاب صندوق 1 هم از نیروی خالص وارد بر این صندوق تعیین می‌شود:

$$F_{1W} - F_{12} = m_1 a_1$$



در رابطه بالا جمع برداری دو نیرو را به صورت تفاضل اندازه دو نیرو نوشته‌ایم، چون این دو در جهت مخالف هم بر صندوق 1 اثر می‌کنند. اگر دو صندوق در تماس با هم بمانند، شتابشان باید یکی باشد. این شتاب را با a نشان می‌دهیم و دو معادله را با هم جمع می‌کنیم. نتیجه می‌شود که

$$F_{1W} = (m_1 + m_2)a$$



شکل (IV). کارگری صندوق 1 را هل می‌دهد و صندوق 1 هم صندوق 2 را هل می‌دهد. صندوقها روی چرخند و می‌توانند آزادانه حرکت کنند؛ یعنی اصطکاک صندوقها با زمین ناچیز است.

اگر مجموعه صندوقهای 1 و 2 را به صورت یک جسم واحد به جرم $m_1 + m_2$ در نظر می‌گیریم هم همین معادله بدست می‌آید. نیروی خارجی خالص وارد بر این جسم مجموع، F_{1W} است. در این صورت، دو نیروی تماسی در مرز میان صندوق 1 و صندوق 2 نیروهای داخلی هستند و در معادله توصیف کننده جسم یکپارچه وارد نمی‌شوند. نیروهای اتمی که ذرات جسم را کنار هم نگه می‌دارند هم همین طور؛ هر نیروی داخلی در واقع یکی از اعضای زوج عمل - عکس‌العملی است که بر اجزای مختلف (مثلاً، دو اتم) اثر می‌کنند. این نیروها، وقتی که معادلات مربوط به اجزای مختلف را با هم جمع می‌کنیم، در مجموع صفر می‌شوند.

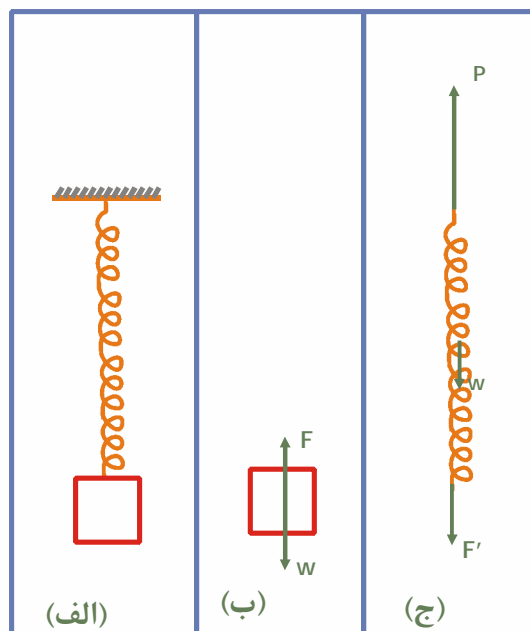
توجه کنید که در این مثال، کارگر عامل فعالی است که صندوقها را حرکت می دهد، اما آنچه این کار را ممکن می کند نیروی عکس العمل زمین است. اگر بین زمین و کفشهای کارگر اصطکاکی وجود نمی داشت، کارگر نمی توانست سیستم را به جلو براند.

4. جسمی که از فنر آویزان است. شکل (V) الف جسمی را نشان می دهد که، به حالت ساکن، از فنری آویزان است. سر دیگر فنر به سقف متصل است. نیروهای وارد بر جسم، یکی وزن آن W (به طرف پایین) و دیگری نیروی F (به طرف بالا) است که از فنر وارد می شود. جسم تحت تأثیر این نیروها در حالت سکون است، اما این دو نیرو زوج عمل - عکس العمل نیستند، چون که در این مورد هم بر یک جسم وارد می شوند. عکس العمل به نیروی W نیروی گرانشی است که جسم بر زمین وارد می کند و در شکل نیامده است.

عکس العمل به F (نیرویی که از فنر بر جسم وارد می شود) نیرویی است که از جسم بر فنر وارد می شود. برای نشان دادن این نیرو، نیروهای وارد بر فنر را در شکل (V) ج نمایش داده ایم. این نیروها عبارتند از F' (که همان عکس العمل به F است)، w (وزن فنر که معمولاً قابل چشمپوشی است) و P (که از سقف به فنر وارد می شود). وقتی فنر در حالت سکون است، نیروی خالص وارد بر آن باید صفر شود:

$$P + w + F' = 0$$





شکل (V). (الف) جسمی که در حالت سکون از فنری آویزان است. (ب) نیروهای وارد بر جسم. (ج) نیروهای وارد بر فنر.

عکس‌العمل به P نیرویی است که (مثلاً به اسم P') که بر سقف اثر می‌کند. چون در این نمودارها سقف را به عنوان جسم مستقلی بررسی نکرده‌ایم، P' را هم نشان نداده‌ایم.

یکاهای نیرو

قانون دوم نیوتن ($F = ma$) هم، مثل همه معادلات دیگر، باید از نظر ابعادی سازگار باشد. بعد

طرف راست $[m][a] = ML/T^2$ است (به خاطر دارید که $[]$ نماد بعد است)، بنابراین، بعد نیرو هم باید

همین باشد.

$$[F] = ML/T^2$$

منشأ نیرو هر چه باشد - گرانشی، الکتریکی، هسته‌ای، یا هر چیز دیگر - و معادله توصیف کننده آن هر قدر پیچیده هم باشد، بعد آن همین است. در سیستم یکاهای SI، جرم را بر حسب kg و شتاب را بر حسب m/s^2 می‌سنجند. برای اینکه به جرم 1kg شتاب $1m/s^2$ بدهیم، باید $1kgm/s^2$ نیرو به آن وارد کنیم. این ترکیب نه چندان خوش دست یکاها را نیوتن (مخفف N) می‌نامند:

$$1N = 1kg.m/s^2$$

اگر جرم را بر حسب kg و شتاب را بر حسب m/s^2 بسنجیم، قانون دوم نیوتن نیرو را بر حسب N بدست می‌دهد.

دو سیستم رایج دیگر، سیستم cgs (سانتیمتر-گرم-ثانیه) و سیستم بریتانیایی هستند. در سیستم cgs، جرم را بر حسب گرم و شتاب را بر حسب cm/s^2 می‌سنجند. یکای نیرو در این سیستم دین (dyne) نامیده می‌شود که معادل است با $g \cdot cm/s^2$. از آنجا که $1kg = 10^3g$ ، $100cm/s^2$ یعنی $1m/s^2$ است، نتیجه می‌شود که $1N = 10^5 dyne$. دین یکایی بسیار کوچک است؛ تقریباً برابر با وزن یک میلیمترمکعب آب. (یک نیوتن در حدود وزن نیم فنجان آب است.)

در سیستم بریتانیایی، نیرو را بر حسب پاوند و شتاب را بر حسب ft/s^2 می‌سنجند. در این سیستم، جرمی که در اثر نیروی 1lb شتاب $1ft/s^2$ می‌گیرد، یک اسلاگ است.

سیستمهای پایه دیگری هم هستند که گاه به گاه بکار می‌روند، اما این سه سیستم فعلاً از همه رایجترند.