كتلة القصور

$$m_{\text{القصور}} = \frac{F_{\text{محصلة}}}{a}$$

كتلة القصور تساوي مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الجسم مقسومة على مقدار تسارعه.

تُقاس كتلة القصور بالتأثير بقوة في الجسم ثم قياس تسارعه باستعمال ميزان القصور، ومنها الميزان الموضح في **الشكل 13-1**. وكلما كانت كتلة الجسم أكبر كان الجسم أقل تأثرًا بأي قوة، لذا يكون تسارعه أقل. وتُعد كتلة القصور مقياسًا لممانعة أو مقاومة الجسم لأي نوع من أنواع القوى المؤثرة فيه.

يُقال إن مشـــاهدة ســـقوط تفاحة جعلت نيوتن يتســـاءل: ماذا لو امتد أثر هذه القوة التي تسببت في ســـقوط التفاحة إلى القمر أو حتى أبعد من ذلك؟ وجد نيوتن أن تسارع كل من التفاحة والقمر متوافق مع العلاقة $\frac{1}{r^2}$. وبحسب قانون نيوتن الثالث فإن القوة التي تؤثر بها الأرض في التفاحة تســـاوي تلك القوة التي تؤثر بها التفاحة في الأرض. ويجب أن تتناسب قوة التجاذب بين أي جسمين مع كتل هذه الأجسام، وتُسمى هذه القوة **قوة الجاذبية**.

كان نيوتن واثقًا أن قوة التجاذب هذه موجودة بين أي جسمين في أي مكان من هذا الكون. وقد صاغ **قانونه في الجذب الكوني** الذي ينص على أن الأجسام تجذب أجسامًا أخرى بقوة تتناســـب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلها، وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مراكزها. ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الآتية:

قانون الجذب الكوني

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

قوة الجاذبية تساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم الأول مضروبًا في كتلة الجسم الثاني مقسومًا على مربع المسافة بين مركزي الجسمين.

المجال الجاذبي $g = \frac{GM}{r^2}$

المجال الجاذبي يساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم، مقسومًا على مربع البعد عن مركز الجسم. ويكون اتجاهه في اتجاه مركز الكتلة.

لذا فإن الزمن الدوري للقمر الاصطناعي حول الأرض يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$

يتحرك القمر الاصطناعي الذي يدور على ارتفاع ثابت عن الأرض حركة دائرية منتظمة. تذكّر أن تسارعه المركزي يُعبّر عنه بالعلاقة الآتية: $\boldsymbol{a}_{\mathrm{C}} = \frac{v^2}{r}$، لذا يكتب القانون الثاني لنيوتن على الصورة الآتية: $\boldsymbol{F}_{\text{محصلة}} = \frac{mv^2}{r}$. فإذا كانت كتلة الأرض m_{E}، ودُمج هذا القانون مع قانون نيوتن في الجذب الكوني، فإنه يُعبّر عنه بالعلاقة:

$$\mathrm{G}\frac{m_{\mathrm{E}}m}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$$

ولذا تحصل على مقدار سرعة القمر الاصطناعي الذي يدور حول الأرض بالعلاقة:

$$v=\sqrt{\frac{\mathrm{G}m_{\mathrm{E}}}{r}}$$

تطبيق ا

◄ المدار المتز

القمر الاصطناعي

الجوية حول الأر

35,785 km .

للقمر معدل دورا

بالنسبة لمراقب ع

معينة على خط

يمكن التعبير عن الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس كما يأتي:

الزمن الدوري لكوكب يدور حول الشمس

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_s}}$$

وبتربيع الطرفين يتبين أن هذه المعادلة هي القانون الثالث لكبلر في حركة الكواكب. حيث يتناسب مربع الزمن الدوري طرديًّا مع مكعب المسافة الفاصلة بين مراكز الأجسام. ويعتمد المعامل $\frac{4\pi^2}{Gm_s}$ على كتلة الشمس وثابت الجذب الكوني. وقد وجد نيوتن أن هذا الاشتقاق ينطبق كذلك على المدارات الإهليلجية.

على أن مربع النسبة بين زمنين دوريين لكوكبين حول الشمس يساوي مكعب النسبة بين متوسطي بُعديهما عن الشمس. وهكذا إذا كان الزمنان الدوريان لكوكبين هما T_A وT_B ومتوسط بعديهما عن الشمس r_A وr_B فيصبح القانون الثالث لكبلر على النحو الآتي:

القانون الثالث لكبلر

$$\left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3 = \left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2$$

■ **الشكل 3–1** يتح
سرعة عندما يكون
ويتحرك أبطأ عندم
ويمسح مساحات
متساوية.

لاحظ أن القانونين الأول والثاني يطبقان على كل كوكب على حدة، أما القانون الثالث فيربط بين حركة أكثر من كوكب حول الجسم نفسه. لذا يستعمل لمقارنة أبعاد الكواكب عن الشمس بأزمانها الدورية، كما في الجدول **1–1**. ويستعمل لمقارنة الأبعاد والأزمان الدورية للقمر وللأقمار الاصطناعية حول الأرض.

الجدول 1–1

بيانات الأجرام				

كان نيوتن واثقًا أن قوة التجاذب هذه موجودة بين أي جسمين في أي مكان من هذا الكون. وقد صاغ **قانونه في الجذب الكوني** الذي ينص على أن الأجسام تجذب أجسامًا أخرى بقوة تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلها، وعكسيًّا مع مربع المسافة بين مراكزها. ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة الآتية:

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

قوة الجاذبية تساوي ثابت الجذب الكوني مضروبًا في كتلة الجسم الأول مضروبًا في كتلة الجسم الثاني مقسومًا على مربع المسافة بين مركزي الجسمين.

التردد الزاوي يُكمل الجسم المتحرك حركة دورانية عدة دورات خلال فترة زمنية محددة.

يدور دولاب الغزل مثلاً عدة دورات في الدقيقة الواحدة، ويسمّي عدد الدورات الكاملة التي يدورها الجسم في الثانية الواحدة التردد الزاوي ω؛ حيث $f = \frac{\omega}{2\pi}$.

المتجهة.

ذراع القوة عند التأثير بقوة معينة، فإن التغير في السرعة الزاوية المتجهة يعتمد على **ذراع القوة**، وهي المسافة العمودية من محور الدوران حتى نقطة تأثير القوة. فإذا كانت القوة متعامدة مع نصف قطر الدوران -كما هو الحال في العلبة الأسطوانية- فإن ذراع القوة تساوي البعد عن المحور، وتساوي r. أما بالنسبة للباب فإن ذراع القوة تساوي البعد بين المفصّلات

العــزم مقياس لمقدرة القوة على إحداث الدوران، ومقدار العزم يســاوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها. ولأنّ القوة مقيســة بوحدة النيوتن والمسافة بوحدة المتر فإن العزم يقاس بوحدة (N.m)، ويرمز له بالحرف اللاتيني τ، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

العزم $\tau = Fr \sin\theta$

العزم يساوي حاصل ضرب القوة في طول ذراعها.

النقطة. إن **مركز الكتلة** لجسم ما عبارة عن نقطة في الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي يتحرك بها الجسيم النقطي.

الاستقرار يُعد الجسم في حالة استقرار إذا احتاج إلى قوة خارجية لقلبه أو تحريكه؛ فالصندوق في الشكل **10–2** يبقى مستقرًّا ما دام اتجاه العزم الناتج عن وزنه τ_w يُبقيه مستقرًّا على قاعدته.

المتجهة صفرًا، أو ثابتتين. وحتى يكون الجسم في حالة اتزان ميكانيكي يجب توافر شرطين:

الأول: يجب أن يكون في حالة اتزان انتقالي، أيْ أن محصلة القوى المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ $\Sigma F=0$.

الثاني: يجب أن يكون في حالة اتزان دوراني، أيْ أن محصلة العزوم المؤثرة فيه تساوي صفرًا؛ $\Sigma \tau=0$.

القوة الطاردة المركزية Centrifugal Force

إذا ثُبّت أحد طرفي نابض في مركز منصّة دوّارة، وثُبت جسم في الطرف الآخر للنابض فإن الشـــخص المراقب الذي يقف على المنصة سيلاحظ أن الجسم يشدّ النابض، أيْ أنه سيظن أنّ هناك قوة تؤثر في الجسم وتسحبه إلى الخارج بعيدًا عن مركز المنصة. وتُسمى هذه القوة الظاهرية **القوةَ الطاردةَ المركزيةَ**، وهي قوة غير حقيقية؛ لأنّه لا توجد قوة تدفع الجســـم إلى الخارج، ولكنك تشعر بالفعل بأنك تُدفع إلى الخارج عندما تكون في سيارة تتحرك على مسار

الدفع يمكن إعادة كتابة القانون الثاني لنيوتن، $\boldsymbol{F = ma}$، باستخدام تعريف التسارع بأنه حاصل قسمة التغير في السرعة المتجهة على الزمن الضروري لإحداث التغير. ويمثل ذلك بالمعادلة:

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} = m\left(\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}\right)$$

بضرب طرفي المعادلة في الفترة الزمنية Δt ، نحصل على المعادلة التالية: $\boldsymbol{F}\Delta t = m\Delta \boldsymbol{v}$

إن **الدفع**، أو $\boldsymbol{F}\Delta t$ هو حاصل ضرب متوسط القوة المؤثرة في جسم في زمن تأثير القوة. ويقاس الدفع بوحدة N.s. ويتم إيجاد مقدار الدفع في الحالات التي تتغير فيها القوة مع الزمن من خلال تحديد المساحة تحت منحنى العلاقة البيانية للقوة مع الزمن. انظر إلى **الشكل 1–3**.

يحتوي الجانب الأيمن من المعادلة، $m\Delta \boldsymbol{v}$ على التغير في السرعة المتجهة: $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i$. حيث يكون $m\Delta \boldsymbol{v} = m\boldsymbol{v}_f - m\boldsymbol{v}_i$. ويعرف حاصل ضرب كتلة الجسم m في سرعته المتجهة $\boldsymbol{v}$ **بزخم** الجسم؛ حيث يقاس الزخم بوحدة kg.m/s. ويعرف زخم الجسم بالزخم الخطي أيضًا، ويُعبر عنه بالمعادلة الآتية:

الزخم $\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$

زخم جسم ما يساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته المتجهة.

يصف الجانب الأيمن من هذه المعادلة $\boldsymbol{p}_f - \boldsymbol{p}_i$ التغير في زخم جسم ما. وبذلك يكون الدفع على جسم ما يساوي التغير في زخمه. وهذا يسمى **نظرية الدفع – الزخم**. ويعبر عن هذه النظرية من خلال المعادلة الآتية:

نظرية الدفع – الزخم $\boldsymbol{F\Delta t = p_f - p_i}$

الدفع على جسم ما يساوي زخم الجسم النهائي مطروحًا منه زخمه الابتدائي.

وجودها. ما عمل الوسادة الهوائية؟ تعمل الوسادة الهوائية، كتلك المبينة في الشكل 2 – 3 على توفير الدفع المطلـــوب، لكنها تقلل القوة عن طريق زيادة زمن تأثيرها، كما أنّها توزع تأثير القوة على مساحة أكبر من جسم الشخص، ممّا يقلّل من احتمال حدوث الإصابات.

الزخم في نظام مغلق معزول

Momentum in a Closed, Isolated System

مـــا الشروط التي يكون عندها زخم النظام المكون مـــن كرتين محفوظًا؟ إنّ الشرط الأول والأكثر وضوحًا هو عدم فقدان النظام أو اكتسابه كتلة. ويُسمى النظام الذي لا يكتسب كتلة ولا يفقدها **بالنظام المغلق**. أما الـــشرط الثاني لحفظ الزخم في أيّ نظام فهـــو أن تكون القوى المؤثرة فيه قوى داخلية؛ أي لا تؤثر في النظام قوى من أجسام موجودة خارجه.

يوصف النظام المغلق بأنه **نظام معزول** عندما تكون محصلة القوى الخارجية عليه تساوي صفرًا. ولا يوجد على سطح الكرة الأرضية نظام يمكن وصفه بأنّه معزول تمامًا؛ بسبب وجود تفاعلات بين النظام ومحيطه. وغالبًا ما تكون هذه التفاعلات صغيرة جدًّا، بحيث يمكن إهمالها عند حل المسائل الفيزيائية.

يمكن للأنظمة أن تحتوي على أيّ عدد من الأجســـام، وهذه الأجســـام يمكن أن يلتحم (يلتصق) بعضها ببعـــض أو تتفكك عند التصادم. وينص **قانون حفظ الزخم** على أن زخم أي نظام مغلق ومعزول لا يتغير. وســـيجعلك هذا القانون قادرًا على الربط بين ظروف النظام قبل التفاعـــل وبعده، دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل هذا التفاعل.

الشغل يصف الطرف الأيسر من المعادلة التغير الذي طرأ على النظام نتيجة تأثير الوسط الخارجي (المحيط). فقد أثرت القوة F في جسم ما، بينما كان هذا الجسم يتحرك مسافة d كما في **الشكل 1–4**. فإذا كانت F قوة ثابتة تؤثر في الاتجاه نفسه لحركة الجسم فإن **الشغل** W يكون حاصل ضرب القوة في إزاحة الجسم.

الشغل $W = Fd$

الشغل يساوي حاصل ضرب القوة الثابتة المؤثرة في جسم في اتجاه حركته في إزاحة الجسم تحت تأثير هذه القوة.

الشغل (في حالة وجود زاوية بين القوة والإزاحة) $W = Fd \cos \theta$

الشـــغل يســـاوي حاصل ضرب القوة والإزاحة في جيب تمام الزاوية المحصورة بين القوة واتجاه الإزاحة.

القدرة $P = \frac{W}{t}$

القدرة تساوي الشغل المبذول مقسومًا على الزمن اللازم لإنجاز الشغل.

الفائدة الميكانيكية $MA = \frac{F_r}{F_e}$

الفائدة الميكانيكية للآلة تساوي ناتج قسمة المقاومة على القوة.

الفائدة الميكانيكية المثالية $\text{IMA} = \frac{d_e}{d_r}$

الفائدة الميكانيكية المثالية للآلة المثالية تساوي إزاحة القوة مقسومة على إزاحة المقاومة.

الكفاءة $$e = \frac{W_o}{W_i} \times 100$$

إن كفاءة الآلة (كنسبة مئوية %) تساوي الشغل الناتج مقسومًا على الشغل المبذول مضروبًا في العدد 100.

طاقة الوضع الجاذبية $PE = mgh$

طاقة الوضع الجاذبية الأرضية لجسم ما تساوي حاصل ضرب كتلته في تسارع الجاذبية الأرضية في ارتفاعه الرأسي عن مستوى الإسناد.

تمثل g تسارعَ الجاذبية الأرضية، وتقاس طاقة الوضع كما تقاس الطاقة الحركية بوحدة الجول.

الكتله قدم ألبرت أينشـــتاين شـــكلاً آخر لطاقة الوضع؛ وهو الكتلة ذاتها! حيث يقول إن الكتلة طاقة بطبيعتها، وتسمى هذه الطاقة E_0 الطاقة السكونيـة، ويعبر عنها بالعلاقة الآتية:

الطاقة السكونية

$$E_0 = mc^2$$

الطاقة السكونية لجسم تساوي كتلة الجسم مضروبة في مربع سرعة الضوء.

قانون حفظ الطاقة يعمل العلماء كما فعلت عندما لم يكن مجموع المال صحيحًا، فإذا لاحظوا أن الطاقة تُفقد من النظام، فإنهم يبحثون عن شكل جديد يمكن أن تكون الطاقة قد تحولت إليه؛ هذا لأن المجموع الكلي للطاقة في أي نظام يبقى ثابتًا ما دام النظام مغلقًا ومعزولاً عن القوى الخارجية. وينص **قانون حفظ الطاقة** على أنه في النظام المعزول المغلق، لا تفنى الطاقة ولا تستحدث، إلا بقدرة الله تعالى، أيْ تبقى الطاقة محفوظة تحت هذه الشروط، وتتحول من شكل إلى آخر، بحيث يبقى المجموع الكلي للطاقة في النظام ثابتًا.

حفظ الطاقة الميكانيكية يُسمى مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية للنظام **الطاقة الميكانيكيـــة** E. وفي أي نظام إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة فإن الطاقة الميكانيكية يُعبر عنها بالمعادلة:

الطاقة الميكانيكية لنظام $E = KE + PE$

"الطاقة الميكانيكية لنظام تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة".

إلى **الاتـــزان الحراري**، أي أن حالة الاتزان الحراري هي الحالـــة التي يصبح عندها معدلا تدفق الطاقة بين جســـمين متساوي، ويكون لكلا الجسمين درجة الحرارة نفسها، كما يبين الشكل **3–6**.

الحرارة وتدفق الطاقة الحرارية

Heat and the Flow of Thermal Energy

عندما يتلامس جسمان يتناقلان طاقة. وهذه الطاقة التي تنتقل بين الجسمين تسمى الحرارة.

كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة $Q = mC\Delta T = mC\,(T_f - T_i)$

كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة تساوي كتلة الجسم مضروبة في حرارته النوعية وفي الفرق بين درجتي حرارته النهائية والابتدائية.

حفظ الطاقة $E_A + E_B =$ ثابت

الطاقة الحرارية في النظام المغلق والمعزول للجسم A مضافًا إليها الطاقة الحرارية للجسم B تساوي مقدارًا ثابتًا.

القانون الأول في الديناميكا الحرارية $\Delta U = Q - W$

التغـــير في الطاقة الحرارية لجســـم ما يســـاوي مقدار كمية الحرارة المضافة إلى الجســـم مطروحًا منه الشغل الذي يبذله الجسم.

الطاقة الحرارية بســـهولة ويسر. أما العملية العكسية، وهي تحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية، فتكون أكثـــر صعوبة. ويعد **المحرك الحراري** أداة ذات قدرة على تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية بصورة مستمرة.

المضخات الحرارية إنّ المضخة الحرارية عبارة عن مبرد يعمل في اتجاهين،
الصيف الحرارة من المنزل، ولذا يبرد المنزل. أمّا في الشـــتاء فتنتزع الحرا

التغير في الإنتروبي $\Delta S = \frac{Q}{T}$

التغير في الإنتروبي لجسم ما يساوي مقدار كمية الحرارة المضافة إلى الجسم مقسومة على درجة حرارة الجسم بالكلفن.

ينص **القانون الثاني في الديناميكا الحرارية** على أن العمليات الطبيعية تجري في اتجاه المحافظة على الإنتروبي الكلي للكون أو زيادته. أيْ أن الأشـــياء كلّها ستصبح أكثر عشوائية، وأقل انتظامًـــا ما لم يُتّخذ إجراء معـــين يحافظ على انتظامها وترتيبهـــا. ويمكن التفكير في زيادة