جامعة الملك سعود
كلية العلوم
قسم الفيزياء والفلك

مقرر 210 فيز

د. ناصر بن صالح الزايد

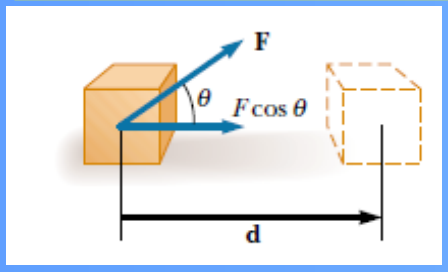
nalzayed@ksu.edu.sa

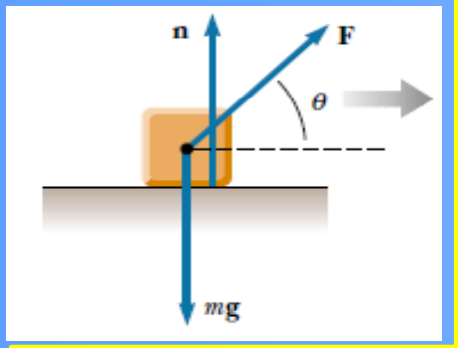
المحاضرة رقم: 13

الباب السابع: الشغل والطاقة الحركية Work & Kinetic Energy

7.1 الشغل الذي تقوم به قوة ثابتة Work Done by a const. force

• عندما تؤثر قوة مستمرة (ثابتة) ***F*** على جسم ما، ويتحرك الجسم تحت تأثير هذه القوة مسافة ***d*** بحيث تكون الزاوية بين هذه المسافة واتجاه القوة هي θ فأن الشغل يعرف كما يلي: $W = Fd\cos\theta$





• من المهم أن نفهم المعادلة التي تعرف الشغل. فكما هو ملاحظ فأن الشغل يعتمد على الزاوية، ولذلك فعندما تكون الزاوية 90º ومعنى ذلك أن القوة المؤثرة متعامدة مع اتجاه حركة الجسم، فأن الشغل الناتج يساوي الصفر.

• مثال ذلك: عندما نقوم بتحريك جسم ما تحت تأثير الجاذبية الأرضية بصورة أفقية، فأن الشغل الذي تبذله الجاذبية يساوي الصفر.

• يرجى الانتباه لإشارة الشغل W: عندما تكون الطاقة مفيدة للنظام فأن الشغل الذي بذلها موجبا، وعندما تكون في غير صالح النظام (ضده) فالشغل عند ذلك يعطى إشارة سالب. بمعنى آخر عندما يكون الجسم هو الذي يبذل طاقة الشغل فالشغل ساعتها يعتبر سالبا.

• مثال: 7.1 يقوم عامل النظافة بجذب المكنسة بزاوية 30º ولمسافة 3 أمتار بقوة مقدارها 50 N .

• (أ) احسب الشغل الذي يبذله العامل على المكنسة.

•(ب) احسب الشغل لو كانت القوة 32 N ولكن بصورة أفقية تماما.

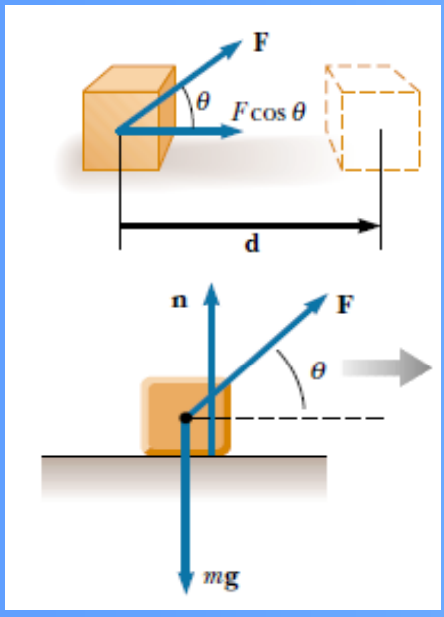
$$(a)\ W = Fd\cos\vartheta = 50\times 3\times\cos 30 = 130\ J$$

$$(b)\ W = Fd\cos\vartheta = 32\times 3\times\cos 0 = 96\ J$$

الباب السابع: الشغل والطاقة الحركية Work & Kinetic Energy

7.1 الشغل الذي تقوم به قوة ثابتة Work Done by a const. force

• عندما تؤثر قوة مستمرة (ثابتة) ***F*** على جسم ما، ويتحرك الجسم تحت تأثير هذه القوة مسافة ***d*** بحيث تكون الزاوية بين هذه المسافة واتجاه القوة هي θ فأن الشغل يعرف كما يلي: $W = Fd\cos\theta$

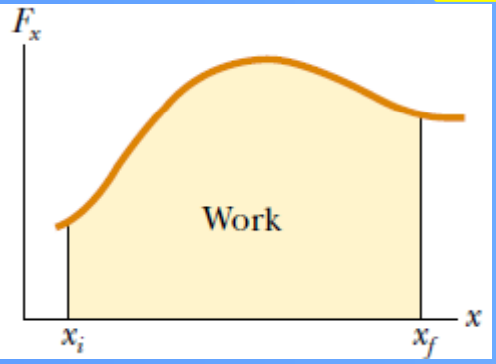


• من المهم أن نفهم المعادلة التي تعرف الشغل. فكما هو ملاحظ فأن الشغل يعتمد على الزاوية، ولذلك فعندما تكون الزاوية 90º ومعنى ذلك أن القوة المؤثرة متعامدة مع اتجاه حركة الجسم، فأن الشغل الناتج يساوي الصفر.

• مثال ذلك: عندما نقوم بتحريك جسم ما تحت تأثير الجاذبية الأرضية بصورة أفقية، فأن الشغل الذي تبذله الجاذبية يساوي الصفر.

• وحدة الشغل بحسب نظام SI هو: N.m (نيوتن . متر)، ولكن جرت العادة باستخدام وحدة الجول Joule (J) نسبة إلى العالم جول الذي له مساهمات في هذا الجانب.

• عندما يكون اتجاه القوة هو نفسه اتجاه الحركة فأن الشغل: $W = Fd$.

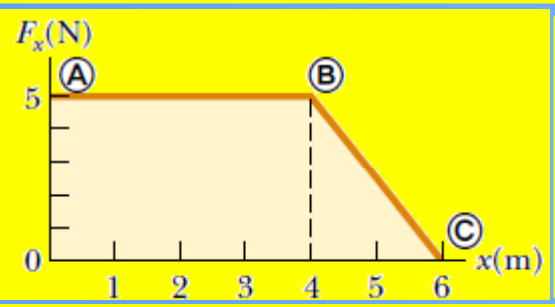


• الشغل الذي تبذله قوة متغيرة: عندما تكون القوة F متغيرة فأن الشغل يعطى بطريقة التكامل كما يلي:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx \qquad (7.7)$$

الباب السابع: الشغل والطاقة الحركية Work & Kinetic Energy

مثال محلول على حساب الشغل من الر سم البياني



• **مثال: 7.4** في بعض الأحيان يطلب حساب الشغل من الرسم البياني. على اليسار رسم بياني يوضح تغير القوة مع الموقع. والمطلوب هو حساب الشغل الكلية الذي تقوم به هذه القوة ابتداء من x = 0 m وحتى x = 6 m أي حساب الشغل الكلي خلال المراحل المبينة من A وحتى C

• **الحل**: بحسب ما أخذناه في الفقرة السابقة، فأن الشغل الذي تقوم به قوة متغيره، هو عبارة عن التكامل. والتكامل معناه: حساب المساحة تحت المنحنى. طبعا حساب المساحة تحت المنحنى يصلح مع القوة الثابتة والقوة المتغيرة، والقوة التي تتغير في مناطق معينة كما في المثال.

• إذن نحتاج فقط لحساب المساحة الكلية تحت المنطقة المطلوبة.

• إذن الشغل = المساحة الأولى (المستطيل) + المساحة الثانية (المثلث)

• = 4 x 5 + 0.5 x 2 x 5 = 20 + 5 = 25 جول

الباب السابع: الشغل والطاقة الحركية Work & Kinetic Energy

الشغل الذي يقوم به زنبرك Work Done by a Spring

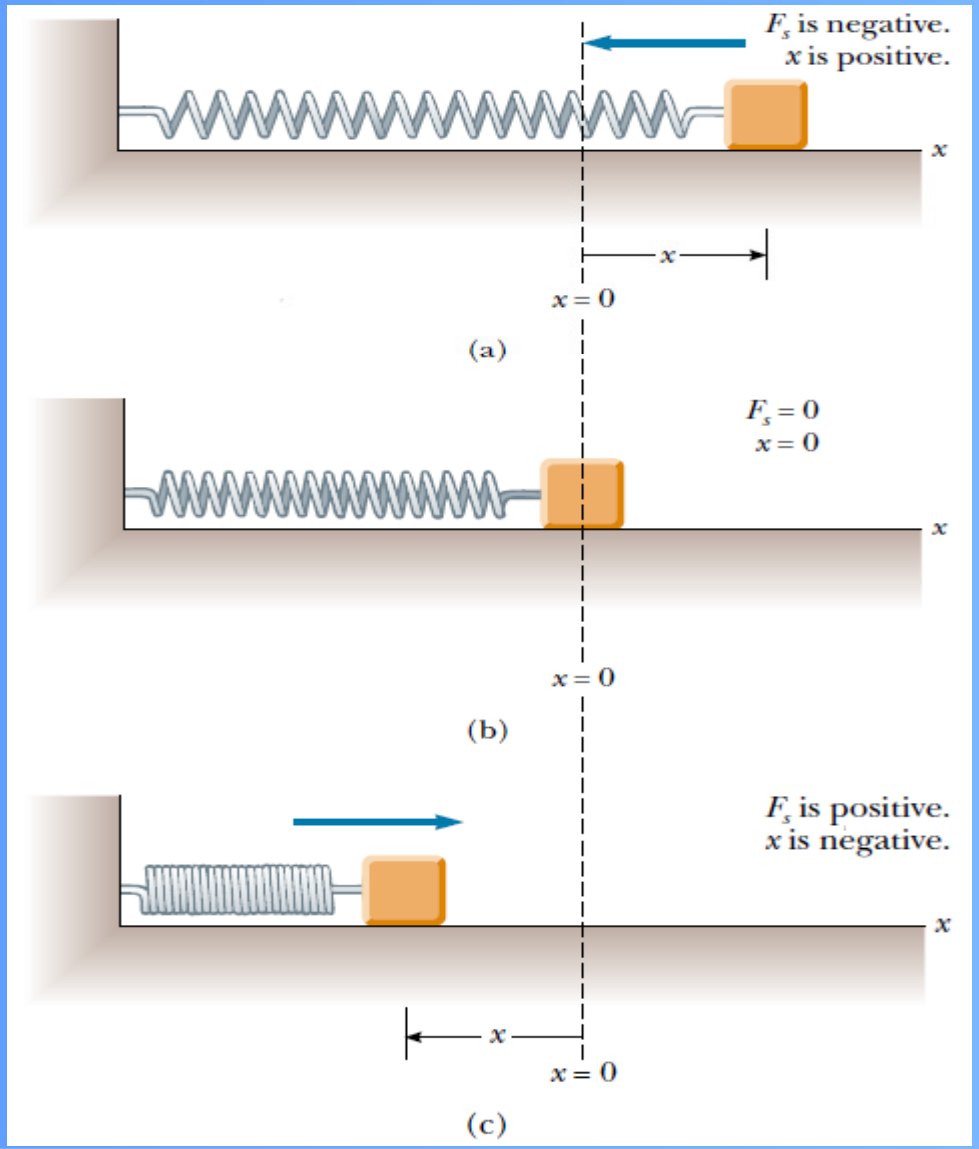
• تعطى قوة الزنبرك بالعلاقة: $F = -kx$ حيث k هو ثابت الزنبرك (وهذا يسمى قانون هوك)

• إذن قوة الزنبرك تعتبر قوة متغيرة حيث تعتمد على قيمة تمدد الزنبرك x

• إذن يلزم أن نستخدم علاقة التكامل لحساب شغل هذه القوة.

الباب السابع: الشغل والطاقة الحركية Work & Kinetic Energy

الشغل الذي يقوم به زنبرك Work Done by a Spring



• يمكن كتابة الشغل الناتج من قوة زنبركية كما يلي:

$$W_s = \int_{x_i}^{x_f} F_s\,dx = \int_{-x}^{0} (-kx)\,dx$$

$$= \frac{1}{2}\,kx^2 \qquad (7.10)$$

• لاحظ من الرسم: عندما تؤدي القوة إلى:
سحب الزنبرك: تصبح القوة + و x سالبة (-)
ضغط الزنبرك: تصبح القوة – و x موجبة (+)
• النتيجة: الشغل الذي يقوم به الزنبرك دائما موجب ويعبر عنه بالعلاقة (7.10)
• دائما بداية الإزاحة عند x = 0 بحيث يكون السحب إلى اليمين + والضغط إلى اليسار –
• عادة يتم إهمال الاحتكاك مع الوسط المحيط، ولكن يجوز أن تكون الكتلة على سطح احتكاكي

الباب السابع: الشغل والطاقة الحركية Work & Kinetic Energy

7.4 الطاقة الحركية و نظرية الشغل – الطاقة K.E. and the work – k.e. theorem

- الشغل يمكن أن يتحول إلى طاقة حركة وطاقة الحركة يمكن أن تتحول إلى شغل.
- تعرف الطاقة الحركية لجسم كتلته m وسرعته v كما يلي: (7.14) $K = \frac{1}{2} mv^2$
- نظرية الطاقة الحركية – الشغل تنص على أن الشغل يغير من الطاقة الحركية:

$$\sum W = K_f - K_i = \frac{1}{2} m v_f^{\,2} - \frac{1}{2} m v_i^{\,2} = \Delta K \rightarrow \sum W + K_i = K_f \qquad (7.15)$$

- **مثال 7.7**: قالب كتلته 6.0 kg كان في البداية في حالة سكون. تم جذبه أفقيا بقوة مقدارها 12 N على سطح لا احتكاكي. احسب سرعة القالب بعدما يتحرك مسافة 3 m.

- **الحل**: الشغل المبذول بواسطة القوة خلال 3 أمتار تحول بالكامل إلى طاقة حركية (لا يوجد احتكاك).

$$W = Fd\cos\vartheta = 12 \times 3 \times \cos 0 = 36\,J \qquad (1)$$

$$\because W = K_f - K_i \rightarrow 36 = \frac{1}{2} m v_f^{\,2} - 0 = \frac{1}{2}(6) v_f^{\,2} \rightarrow v_f = 3.5\,m/s \qquad (2)$$

- **كويز**: تأكد من صحة الحل (2) بطريقة ثانية.

$$\because F = ma \rightarrow 12 = 6a \rightarrow a = 2\ m/s^2 \qquad (1)$$

$$\because v_f^{\,2} = v_i^{\,2} + 2ax \rightarrow v_f^{\,2} = 0 + 2(2)(3) = 12 \rightarrow v_f = 3.5\,m/s \qquad (2)$$

• **مثال 7.8**: قالب كتلته 6.0 kg كان في البداية في حالة سكون. تم جذبه أفقيا بقوة مقدارها 12 N على سطح لا احتكاكي. احسب سرعة القالب بعدما يتحرك مسافة 3 m. مع وجود احتكاك معامله μ_k=0.15.

• **الحل**: الشغل المبذول بواسطة القوة خلال 3 أمتار تحول جزئيا إلى طاقة حركية (بسبب الاحتكاك). الجزء الآخر تبدد بسبب الاحتكاك (لذا يتم طرحه). نتوقع أن تكون السرعة النهائية أقل.

$$\because \sum W = W_F - W_f = \frac{1}{2}mv_f^{\,2} - 0 \qquad (1)$$

$$\rightarrow (Fd\cos\vartheta) - (f_k\mu_k d) = (Fd\cos\vartheta) - (mg\mu_k d) = \frac{1}{2}mv_f^{\,2} - 0$$

$$\rightarrow (12\times 3\times 1) - (6\times 9.8\times 0.15\times 3) = \frac{1}{2}mv_f^{\,2} - 0$$

$$\rightarrow 36 - 26.5 = 9.5 = \frac{1}{2}mv_f^{\,2} \rightarrow v_f = 1.8\,m/s \qquad (2)$$

• لو قمنا بحساب التسارع وكذلك السرعة باستخدام قوانين الحركة المنتظمة وقوانين نيوتن كما في المثال السابق فنتوقع أن يكون التسارع أقل. إذن نقوم دائما بإعطاء الشغل الإيجابي (لصالح الجسم) أشارة + والشغل السلبي (مثل شغل الاحتكاك ومقاومة الهواء ونحو ذلك) أشارة – لأنه يقلل من الطاقة الكلية الناتجة.

- **مثال 7.11**: قالب كتلته 16.0 kg مربوط بزنبرك بحيث يتحرك بصورة أفقية على سطح لا احتكاكي. إذا علمت بأن ثابت الزنبرك هو: $k = 1\times10^3$ N/m وتم ضغط الزنبرك لمسافة 2 cm ثم ترك.
- (أ) احسب سرعة القالب لحظة مرورة بنقطة الاتزان $x = 0$.
- (ب) احسب السرعة مرة أخرى عند نفس الموقع ولكن عندما يكون هناك قوة احتكاك مقدارها 4 N .

- **الحل**: نلاحظ أن القالب بدأ الحركة من نقطة $x = -2$ cm وكانت السرعة عند هذه النقطة $v_i = 0$ m/s ونريد حساب السرعة v_f عند النقطة $x = 0$ cm . سوف نستخدم نفس العلاقات السابقة كما يلي:

$$(a)\because \sum W = W_{spring} = \frac{1}{2}mv_f^{\,2} - \frac{1}{2}mv_i^{\,2} \rightarrow \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv_f^{\,2} - 0 \qquad (1)$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}(1\times10^3)(-2\times10^{-2})^2 = \frac{1}{2}(1.6)v_f^{\,2} - 0$$

$$\rightarrow v_f^{\,2} = \frac{(1\times10^3)(-2\times10^{-2})^2}{1.6} = 0.25 \rightarrow v_f = 0.5\,m/s \qquad (2)$$

$$(b)\sum W = W_{spring} - W_f = \frac{1}{2}mv_f^{\,2} - \frac{1}{2}mv_i^{\,2} \rightarrow \frac{1}{2}kx^2 - fx = \frac{1}{2}mv_f^{\,2} - 0 \qquad (3)$$

$$\rightarrow \frac{1}{2}(1\times10^3)(-2\times10^{-2})^2 - 4\times2\times10^{-2} = \frac{1}{2}(1.6)v_f^{\,2}$$

$$\rightarrow v^2_f = \frac{(0.5)(1\times10^3)(-2\times10^{-2})^2 - 4\times2\times10^{-2}}{(0.5)(1.6)} = 0.15 \rightarrow v_f = 0.39\,m/s \qquad (4)$$

الباب السابع: الشغل والطاقة الحركية Work & Kinetic Energy

7.5 القدرة Power P

- عندما يتقدم طالبان لتأدية الامتحان ويتمكن أحدهما من الانتهاء من الامتحان بدرجة كاملة خلال 1 ساعة فقط، في حين يحتاج الطالب الآخر إلى 3 ساعات ولكنه يحصل في النهاية على نفس الدرجة. في هذه الحالة مع أن كلا الطالبين أجاب على جميع الأسئلة، إلا أن الطالب الأول يبدو أقدر وأفضل وأذكى من الطالب الثاني.
- إذن معيار الزمن (سرعة الإنجاز) لها اعتبار خاص ودلالة لا يمكن إغفالها.
- فلو كان لدينا قوتان تنجزان نفس الشغل ولكن تقوم الأولى بإنجازه في 10 دقائق والثانية في خلال 30 دقيقة فأن القوة الأولى أفضل من الثانية.
- نسمى المصطلح الذي يفرق بين القوى في سرعة الإنجاز بالقدرة Power فالجهاز الذي يعطى طاقة مماثلة ولكن في زمن أقل هو أكثر (قدرة) من الجهاز الآخر. إذن القدرة هي الشغل مقسوما على الزمن:
- نحسب فيما يلي متوسط القدرة ثم القدرة اللحظية، أو بشكل عام (القدرة):

$$\overline{P} \equiv \frac{W}{\Delta t}$$

Instantano us Power P :

$$P = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt} = \frac{d(\vec{F}.\vec{S})}{dt} = \vec{F}.\frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{F}.\vec{v} \qquad (7.18)$$

الباب السابع: الشغل والطاقة الحركية Work & Kinetic Energy

7.5 القدرة P Power

- الوحدة الرسمية للقدرة تشتق من نفس المعادلة J/s ولكن يطلق على هذه الوحدة كذلك: الواط watt. رمز الواط هو W وهو نفس رمز الشغل ولكن من دون ميلان (الشغل *W*).
- هناك وحدة أخرى للقدرة منتشرة فيما يتعلق بالآلات تسمى الحصان *hp* حيث: $1\ hp = 746\ W$
- هناك مصطلح آخر يستخدم خاصة في الطاقة سواء كهربائية أو غيرها، ويسمى كيلواط-ساعة kWh وهو عبارة عن الطاقة الكلية المستهلكة في ساعة واحده بمعدل كيلواط kW
- إذن $1kWh = 1000\ W \times 3600 = 3.6 \times 10^6\ J$ (kWh وحدة طاقة وليست وحدة قدرة)

- **مثال للتوضيح**: مصباح كهربائي قدرته 28 W يعطي نفس إضاءة مصباح آخر قدرته 100 W ولكن قيمته 17 ريالا في حين يكلف المصباح الآخر نصف ريال فقط. العمر الافتراضي للمصباح الغالي 10,000 ساعة في حين أن العمر الافتراضي للثاني هو فقط 750 ساعة عمل. ما هو مقدار التوفير في المصباح الغالي عندما يتم استعماله لعمر افتراضي واحد؟ قيمة كيلواط-ساعة يعادل 8 هللات.

- **الحل**: كلفة المصباح الغالي الكهربائية $28 \times 10{,}000 \times 0.08/1000 = 22.4$ SR
- الكلفة الكلية (قيمة المصباح + كلفة الكهرباء): $22.4 + 17 = 39.4$ SR
- كلفة المصباح الثاني (الرخيص) الكهربائية: $100 \times 10{,}000 \times 0.08/1000 = 80$ SR
- عدد المصابيح اللازمة (بسبب قصر العمر): $10{,}000 / 750 = 13.3$
- الكلفة الكلية للمصباح الرخيص: $13.3 \times 0.5 + 80 = 87$ SR
- إذن هناك حوالي 47 ريالا توفير في مصباح واحد فقط

• **مثال 7.12** (القدرة التي يقدمها محرك المصعد): تبلغ كتلة مصعد 1000 kg مضافا لها كتلة الركاب 800 kg وتؤثر عليه قوة احتكاك بصورة مستمرة مقدارها 4000 N .
(أ) ما هو الحد الأدنى لقدرة محرك المصعد حتى يضمن له سرعة صعود مستمرة مقدارها 3 m/s ؟
(ب) ما هو الحد الأدنى للقدرة إذا كان مطلوبا من المحرك أن يعطي تسارعا مقداره 1 m/s² ؟

• **الحل: (أ)** نلاحظ أن سرعة الصعود ثابتة مما يدل على أن التسارع a = 0 m/s² . نقوم بكتابة معادلة الحركة أولا للنظام باستخدام قانون نيوتن الثاني كما يلي:

$$(a)\ \sum F_y = T - f - mg = 0 \qquad (1)$$

$$\rightarrow T = f + mg = 4\times10^3 + (1800)\times 9.8 = 2.16\times10^4\ N$$

$$\because P = \vec{T}.\vec{v} = Tv = 2.16\times10^4 \times 3 = 6.48\times10^4\ \text{W} \qquad (2)$$

• **الحل: (ب)** لا تختلف هذه الفقرة عن سابقتها إلا بكون a ≠ 0 :

$$(b)\ \sum F_y = T - f - mg = ma \qquad (3)$$

$$\rightarrow T = f + mg + ma = 4\times10^3 + (1800)\times 9.8 + (1800)\times 1 = 2.34\times10^4\ N$$

$$\because P = \vec{T}.\vec{v} = Tv = 2.34\times10^4 \times 3 = 7.02\times10^4\ \text{W} \qquad (4)$$