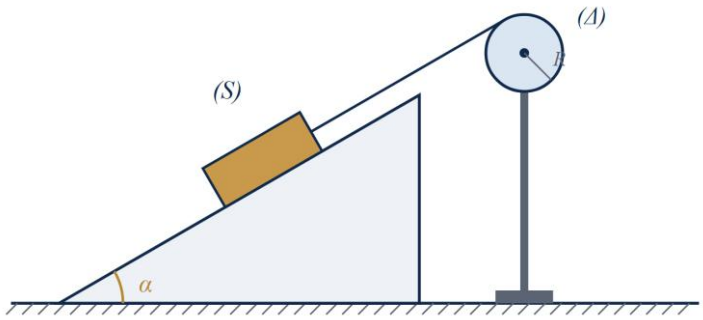
المادة: العلوم الفيزيائية	السنة الدراسية: 2026/2027
تمرينان محلولان: عمل مزدوجة واستطاعتها، البكرة المزدوجة	
المستوى: السنة الثانية ثانوي (رياضيات، تقني رياضي)	الوحدة: العمل والطاقة الحركية في الحركة الدورانية

التمرين الأول: أسطوانة تسحب حمولة على مستو مائل

على سطح مستو مائل بالزاوية $\alpha = 30^\circ$ عن الخط الأفقي، تُسحب حمولة (S) ثقلها $P = 1000\ \text{N}$ بسرعة ثابتة بواسطة حبل مهمل الكتلة وغير قابل للامتطاط، يوازي خط الميل الأعظم، وملفوف على أسطوانة نصف قطرها $R = 20\ \text{cm}$.

تدور الأسطوانة حول محورها الثابت (Δ) بواسطة محرك يطبق عليها مزدوجة عزمها ثابت. تخضع الحمولة لقوة احتكاك شدتها ثابتة $f = 200\ \text{N}$ ، ونهمل الاحتكاكات على مستوى محور الأسطوانة.



الشكل 1

1- أجرد مختلف القوى المطبقة على كل من الحمولة والأسطوانة، ومثّلها على الشكل.

2- احسب شدة القوة التي يطبقها الحبل على الحمولة.

3- احسب عزم المزدوجة المحركة التي يطبقها المحرك على الأسطوانة.

4- استنتج استطاعة المحرك، علما أن سرعة الحمولة $v = 0{,}5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

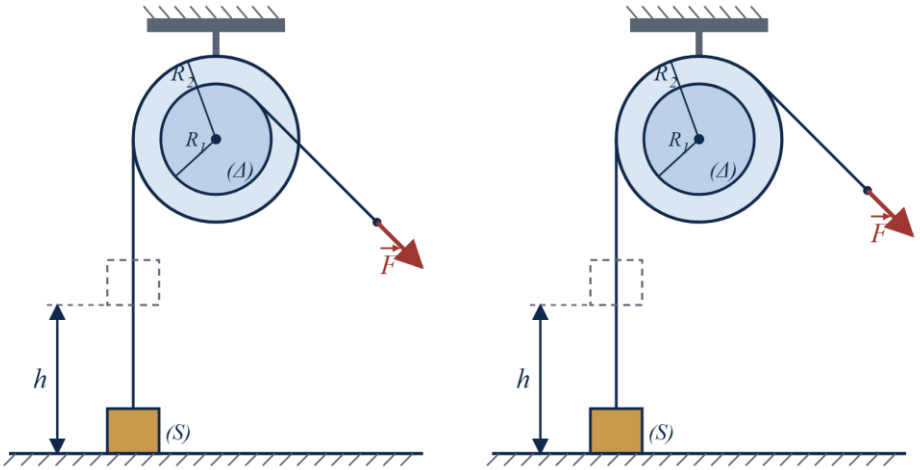
التمرين الثاني: العامل والبكرة المزدوجة: أي طريقة نختار؟

يريد عامل رفع حمولة (S) كتلتها $m = 50\ \text{kg}$ بسرعة ثابتة إلى ارتفاع $h = 3\ \text{m}$ ، ويريد الاختيار بين الطريقتين (أ) و (ب) الممثلتين في الشكل 2.

في كلتا الطريقتين يستعمل بكرة مزدوجة ذات مجزين، نصفا قطريهما R_1 و R_2 يحققان العلاقة $R_2 = \frac{3}{2} R_1$ ، قابلة للدوران حول محور ثابت (Δ) يمر بمركزها. الحمولة معلقة بحبل ملفوف على المجز الكبير R_2 ، ويطبق العامل قوة $\vec{F}$ ثابتة على طرف حبل ثان ملفوف:

- في الطريقة (أ): على المجز الكبير R_2 ؛
- في الطريقة (ب): على المجز الصغير R_1 .

نهمل جميع الاحتكاكات وكتلتي الحبلين، والحبلان غير قابلين للامتطاط ولا ينزلقان على المجزين. نأخذ $g = 10\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$.



الشكل 2

1- أجرد جميع القوى المطبقة على كل من الحمولة (S) والبكرة، ثم مثّلها على الشكل.

2- احسب عمل ثقل الحمولة خلال رفعها.

3- احسب عمل القوة $\vec{F}$ في كل طريقة، ثم قارن بين النتيجتين.

4- احسب شدة القوة $\vec{F}$ في كل طريقة. ما هي الطريقة التي تنصح بها العامل؟ علّل.

بالتوفيق

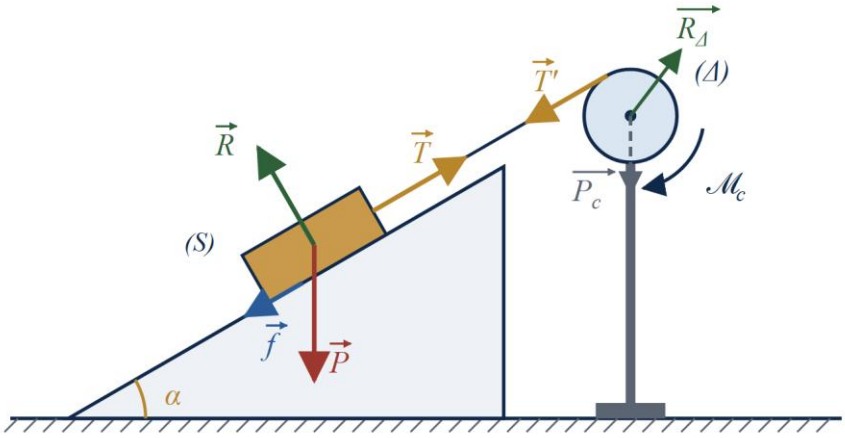
المادة: العلوم الفيزيائية	السنة الدراسية: 2026/2027
التصحيح المفصل — تمرينان محلولان: عمل مزدوجة واستطاعتها، البكرة المزدوجة	
المستوى: السنة الثانية ثانوي (رياضيات، تقني رياضي)	الوحدة: العمل والطاقة الحركية في الحركة الدورانية

تصحيح التمرين الأول

توجيه منهجي: السرعة ثابتة، فالطاقة الحركية للحمولة وللأسطوانة لا تتغير: $\Delta E_c = 0$. نطبق نظرية الطاقة الحركية على الحمولة (انسحاب) ثم على الأسطوانة (دوران)، والحبل المهمل الكتلة ينقل نفس التوتر $T' = T$.

1- القوى المطبقة على الحمولة (S) : ثقلها $\vec{P}$ (شاقولي نحو الأسفل)، رد فعل المستوي $\vec{R}$ (عمودي على المستوي)، قوة الاحتكاك $\vec{f}$ (توازي المستوي، عكس جهة الحركة أي نحو الأسفل)، توتر الحبل $\vec{T}$ (يوازي المستوي نحو الأسطوانة).

القوى المطبقة على الأسطوانة: ثقلها $\overrightarrow{P_c}$ ، رد فعل المحور $\overrightarrow{R_\Delta}$ (كلاهما يمر بالمحور)، توتر الحبل $\overrightarrow{T'}$ (مماسي للأسطوانة، نحو الحمولة)، والمزدوجة المحركة ذات العزم $\mathcal{M}_c$.



القوى المطبقة على الحمولة وعلى الأسطوانة

2- نطبق نظرية الطاقة الحركية على الحمولة خلال انتقال d على المستوي (الارتفاع المكتسب $d \sin\alpha$ ، و $\vec{R}$ عمودي على الانتقال فعمله معدوم):

$$\Delta E_c = W(\vec{T}) + W(\vec{P}) + W(\vec{f}) + W(\vec{R}) = 0$$

$$T \cdot d - P \cdot d \sin\alpha - f \cdot d + 0 = 0 \Rightarrow T = P \sin\alpha + f$$

$$T = 1000 \times 0{,}5 + 200 = 700\ \text{N}$$

3- الأسطوانة تدور بسرعة زاوية ثابتة، نطبق نظرية الطاقة الحركية عليها خلال دوران $\Delta\theta$. عمل $\overrightarrow{P_c}$ و $\overrightarrow{R_\Delta}$ معدوم (يمران بالمحور)، وعمل التوتر $\overrightarrow{T'}$ مقاوم: $W(\overrightarrow{T'}) = -T \cdot R \cdot \Delta\theta$.

$$\mathcal{M}_c \cdot \Delta\theta - T \cdot R \cdot \Delta\theta = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_c = T \cdot R$$

$$\mathcal{M}_c = 700 \times 0{,}20 = 140\ \text{N} \cdot \text{m}$$

4- الحبل لا ينزلق على الأسطوانة: $v = R \cdot \omega$ ، ومنه السرعة الزاوية:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{0{,}5}{0{,}20} = 2{,}5\ \text{rad/s}$$

$$\mathcal{P} = \mathcal{M}_c \cdot \omega = 140 \times 2{,}5 = 350\ \text{W}$$

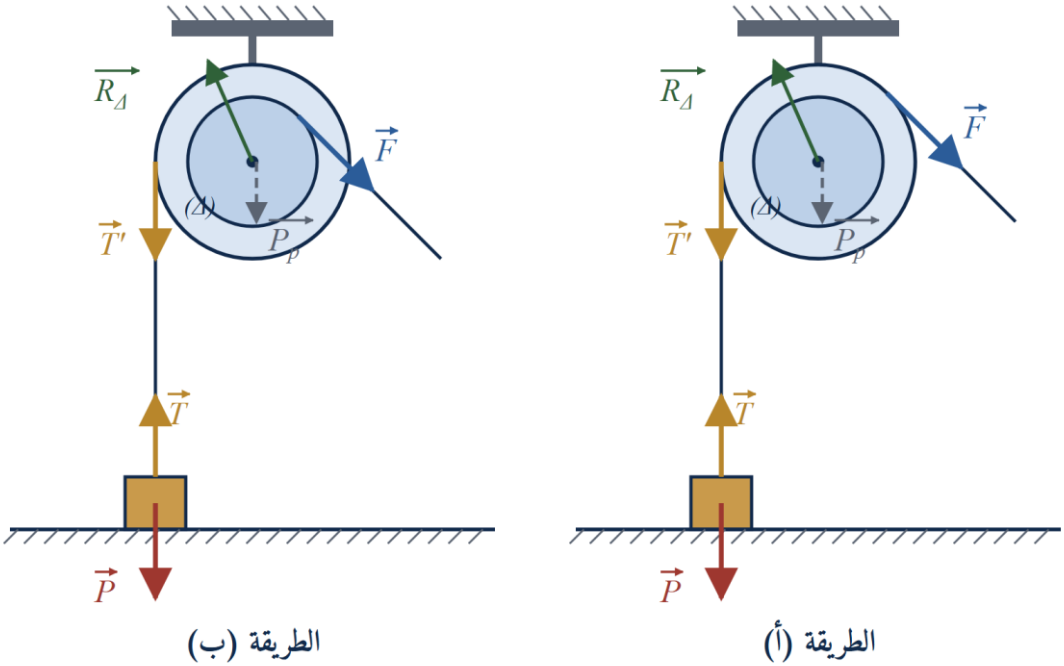
ملاحظة: تحقق: استطاعة توتر الحبل على الحمولة $T \cdot v = 700 \times 0{,}5 = 350\ \text{W}$ ، وهي نفس استطاعة المحرك لأن الأسطوانة لا تخزن طاقة (سرعتها ثابتة) ولا احتكاك على محورها.

تصحيح التمرين الثاني

توجيه منهجي: الحمولة ترتفع بسرعة ثابتة والبكرة تدور بسرعة زاوية ثابتة، إذن $\Delta E_c = 0$ لكل منهما. حبل الحمولة ملفوف على R_2 في الطريقتين، فعندما ترتفع الحمولة بـ h تدور البكرة بالزاوية $\Delta\theta = \frac{h}{R_2}$ ، وما يتغير هو المحز الذي يُسحب منه الحبل الثاني.

1- **القوى المطبقة على الحمولة:** ثقلها $\vec{P}$ (شاقولي نحو الأسفل) وتوتر الحبل $\vec{T}$ (شاقولي نحو الأعلى).

القوى المطبقة على البكرة: ثقلها $\overrightarrow{P_p}$ ورد فعل المحور $\overrightarrow{R_\Delta}$ (يمران بالمحور)، توتر حبل الحمولة $\overrightarrow{T'}$ (شاقولي نحو الأسفل، مماسي للمحز R_2 ، و $T' = T$)، والقوة $\vec{F}$ التي ينقلها الحبل الثاني (مماسية للمحز R_2 في (أ) وللمحز R_1 في (ب)).



القوى المطبقة على الحمولة وعلى البكرة في الطريقتين

2- الحمولة ترتفع، فعمل ثقلها مقاوم:

$$W(\vec{P}) = -m \cdot g \cdot h = -50 \times 10 \times 3 = -1500\,\text{J}$$

3- نظرية الطاقة الحركية على الحمولة: $W(\vec{T}) + W(\vec{P}) = 0$ ، إذن $W(\vec{T}) = 1500\,\text{J}$ و $T = P$

$m\,g = 500\,\text{N}$.

نظرية الطاقة الحركية على البكرة (عمل $\overrightarrow{P_p}$ و $\overrightarrow{R_\Delta}$ معدوم): $W(\vec{F}) + W(\overrightarrow{T'}) = 0$ ، مع $W(\overrightarrow{T'}) = -T \cdot R_2$

$\Delta\theta = -T \cdot h = -1500\,\text{J}$ ، إذن في الطريقتين:

$$W(\vec{F}) = m \cdot g \cdot h = 1500\,\text{J}$$

المقارنة: العمل متساو في الطريقتين، فهو يساوي دائما الطاقة اللازمة لرفع الحمولة $m\,g\,h$ ، ولا يتعلق بالطريقة المستعملة.

4- طرف الحبل الذي يسحبه العامل ينتقل بالمسافة $d = r \cdot \Delta\theta$ ، حيث r نصف قطر المحز الذي يُلف عليه هذا الحبل، و $W(\vec{F}) = F \cdot d$.

أ- الطريقة (أ) ($r = R_2$): $h = 3\,\text{m}$ ، ومنه $d_a = R_2 \cdot \frac{h}{R_2} = h = 3\,\text{m}$ ، $F_a = \frac{W(\vec{F})}{d_a} = \frac{1500}{3} =$

$500\,\text{N}$.

ب- الطريقة (ب) ($r = R_1$): $h = \frac{2}{3}\,h = 2\,\text{m}$ ، ومنه $d_b = R_1 \cdot \frac{h}{R_2} = \frac{2}{3}\,h = 2\,\text{m}$ ، $F_b = \frac{W(\vec{F})}{d_b} = \frac{1500}{2} =$

$750\,\text{N}$.

(تحقق بالعزوم، البكرة تدور بانتظام: $F_a \cdot R_2 = T \cdot R_2$ ، و $F_b \cdot R_1 = T \cdot R_2 \Rightarrow F_b = m\,g\,\frac{R_2}{R_1} =$

$500 \times 1{,}5 = 750\,\text{N}$.)

النصيحة: ننصح العامل بالطريقة (أ)، لأنها تتطلب قوة أصغر ($500\,\text{N} < 750\,\text{N}$) لإنجاز نفس العمل، مقابل سحب طول أكبر من الحبل ($3\,\text{m}$ بدل $2\,\text{m}$).

ملاحظة: خطأ شائع: الظن أن البكرة المزدوجة تنقص العمل. العمل لا يتغير ($1500\,\text{J}$)؛ ما نربحه في شدة القوة نخسره في المسافة. لتقليل القوة إلى ما دون ثقل الحمولة يجب أن تُعلق الحمولة على المحز الصغير ويُسحب الحبل من المحز الكبير: $F = m\,g\,\frac{R_1}{R_2} \approx 333\,\text{N}$.