

تصحيح تمارين الشغل والطاقة الحركية

تمرين 1:

1- الطاقة الحركية للنوترون :

$$E_C = \frac{1}{2} m_n v^2$$

ت.ع:

$$E_C = \frac{1}{2} \times 1,67.10^{-27} \times (64.10^3)^2$$

$$E_C = 4,42.10^{-18} \text{J}$$

2- الطاقة الحركية للطائرة :

$$E_C = \frac{1}{2} M V^2$$

ت.ع:

$$E_C = \frac{1}{2} \times 150.10^6 \times \left(\frac{900}{3,6}\right)^2$$

$$E_C = 4,69.10^{12} \text{J}$$

3- الطاقة الحركية للكرة الأرضية :

$$E_{CT} = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$$

$$J_{\Delta} = \frac{2}{5} M_T R_T^2 = \frac{2}{5} \times 6.10^{24} (6400.10^3)^2 = 9,83.10^{37} \text{kg.m}^2 \text{ : مع}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{23 \times 3600 + 56 \times 60 + 4} = 7,29.10^{-5} \text{rad.s}^{-1} \text{ و}$$

نحصل على :

$$E_{CT} = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$$

ت.ع:

$$E_{CT} = \frac{1}{2} \times 9,83.10^{37} (7,29.10^{-5})^2$$

$$E_{CT} = 2,61.10^{29} \text{J}$$

4- الطاقة الحركية للأسطوانة :

$$E_C = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$$

$$J_{\Delta} = \frac{1}{2} m r^2$$

$$N = \frac{1800 \text{tr}}{60 \text{s}} = 30 \text{Hz} \text{ : مع } \omega = 2\pi N$$

نستنتج :

$$E_C = \frac{1}{4} m r^2 (2\pi N)^2 = m (\pi r N)^2$$

ت.ع:

$$E_C = 1 \times (\pi \times 0,1 \times 30)^2 = 88,83 \text{J}$$

تمرين 2:

1- العلاقة التي تربط السرعة الزاوية ω لدوران العجلة بالسرعة الخطية لنقطة من محيطها هي :

$$V=R\omega = \frac{D}{2} \omega$$

نحصل على :

$$\omega = \frac{2V}{D}$$

$$V = \frac{80 \cdot 10^3}{3600} = \frac{80}{3,6} \text{ و } D = 50 \cdot 10^{-2} \text{m} \quad \text{مع :}$$

ت.ع:

$$\omega = \frac{2 \frac{80}{3,6}}{50 \cdot 10^{-2}} = 89 \text{rad.s}^{-1}$$

2- يعبر عن الطاقة الحركية لجسم صلب في دوران حول محور ثابت بالعلاقة :

$$E_c = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times 0,80 \times 89^2 \quad \text{ت.ع:}$$

$$E_c = 3,2 \cdot 10^3 \text{J}$$

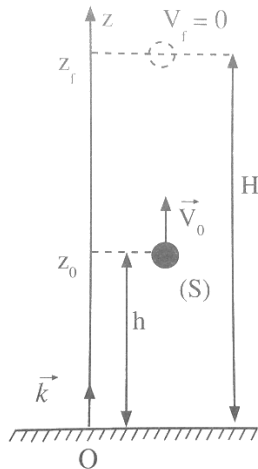
تمرين 3:

1- تحديد الإرتفاع الأقصى الذي تصل إليه الكورة :
نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الكورة بين لحظة إرسالها ولحظة وصولها الى الإرتفاع الأقصى، حيث تخضع الكورة الى وزنها فقط ، نكتب :

$$E_{cf} - E_{ci} = W(\vec{P})$$

$$\frac{1}{2} m V_f^2 - \frac{1}{2} m V_i^2 = m g (z_i - z_f)$$

مع : $V_f = 0$ و $V_i = V_0$ و $z_i = h$ و $z_f = H$ أنظر الشكل



$$-\frac{1}{2} m V_0^2 = m g (h - H)$$

$$-\frac{1}{2} V_0^2 = g (h - H)$$

$$H - h = \frac{V_0^2}{2g}$$

$$H = h + \frac{V_0^2}{2g}$$

$$H = 1,0 + \frac{(4,0)^2}{2 \times 9,80} \quad \text{ت.ع:}$$

$$H = 1,8 \text{ m}$$

2- نطبق من جديد مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضع A الذي يطابق الإرتفاع الأقصى والموضع B الذي يطابق سطح الأرض .

$$E_{CB} - E_{CA} = W(\vec{P})$$

بما أن الطاقة الحركية للكوبرة عند وصولها للإرتفاع الأقصى منعدمة ($V_A = 0$) نكتب :

$$\frac{1}{2} m V_2^2 = m g H$$

$$\frac{1}{2} V_2^2 = g H$$

$$V_2 = \sqrt{2 g H}$$

ت.ع:

$$V_2 = \sqrt{2 \times 9,80 \times 1,8}$$

$$V_2 = 5,9 \text{ m.s}^{-1}$$

تمرين 4 :

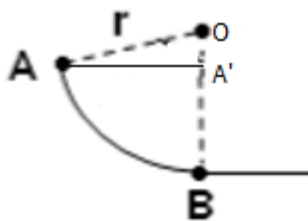
1- حساب v_B سرعة الجسم عند النقطة B :

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الجسم بين A و B حيث يخضع الجسم الى قوتين : $\vec{P}$ وزنه و $\vec{R}$ تأثير السكة .

بما أن الاحتكاكات مهمة فإن شغل القوة $\vec{R}$ منعدم لأن اتجاه $\vec{R}$ عمودي المسار . المبرهنة تكتب :

$$(1) \quad E_c(B) - E_c(A) = W(\vec{P}) + W(\vec{R})$$

$$E_c(B) = \frac{1}{2} m V_B^2 \quad \text{و} \quad V_A = 0 \quad \text{لأن} \quad E_c(A) = 0 \quad \text{لدينا :}$$



$$W(\vec{P}) = m g h$$

و

$$\cos \alpha = \frac{OA'}{OB} = \frac{OA'}{r} \quad \text{مع} \quad OB = OA = r \quad \text{حيث} \quad h = OB - OA'$$

$$h = r - r \cdot \cos \alpha = r(1 - \cos \alpha) \quad \text{و} \quad OA' = r \cdot \cos \alpha \quad \text{نحصل على :}$$

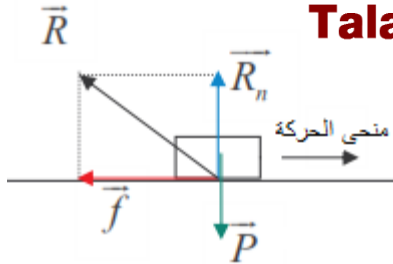
$$W(\vec{P}) = m g r (1 - \cos \alpha)$$

العلاقة (1) تكتب :

$$\frac{1}{2} m V_B^2 - 0 = m g r (1 - \cos \alpha) + 0$$

$$V_B^2 = 2 g r (1 - \cos \alpha)$$

$$V_B = \sqrt{2 g r (1 - \cos \alpha)}$$



$$V_B = \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,6(1 - \cos 60^\circ)}$$

$$V_B = 2,4 \text{ m.s}^{-1}$$

ت.ع:

2- حساب شدة قوة الإحتكاك f

تخضع الجسم أثناء حركته الى :

• $\vec{P}$: وزنها.

• $\vec{R}$: تأثير سطح الأرض .

يمكن تفكيك القوة $\vec{R}$ الى مركبتين :

$\vec{R}_N$: المركبة المنظمية .

$\vec{f}$: المركبة المماسية وتسمى بقوة الإحتكاك .

$$\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{f} \quad \text{حيث :}$$

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين B و C .
نكتب :

$$\Delta E_c = \sum(\vec{F})$$

$$E_{c_f} - E_{c_i} = W(\vec{P}) + W(\vec{R})$$

$$E_{c_i} - E_{c_f} = W(\vec{P}) + W(\vec{R}_N) + W(\vec{f})$$

مع : $W(\vec{P}) = W(\vec{R}_N) = 0$ لأن اتجاه القوتان عموديان على السطح BC .

$E_{c_i} = \frac{1}{2}mv^2$ و $E_{c_f} = 0$ الجسم يتوقف عند النقطة C .

$$W(\vec{f}) = -fd$$

نحصل على :

$$\frac{1}{2}mv^2 = -fd$$

$$f = \frac{mv^2}{2d}$$

ت.ع:

$$f = \frac{0,2 \times 2,4^2}{2 \times 0,8}$$

$$f = 0,72 \text{ N}$$

?

تمرين 5 :

1- الطاقة الحركية للسيارة قبل تشغيل الفرامل :

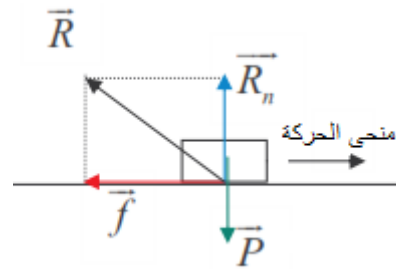
$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

ت.ع:

$$E_c = \frac{1}{2} \times 900 \times \left(\frac{100 \cdot 10^3}{3600}\right)^2$$

$$E_c = 347,2 \text{ J}$$

2- جرد القوى المطبقة على السيارة وحساب شدة قوة الإحتكاك :



تخضع السيارة أثناء حركتها الى :

- $\vec{P}$: وزنها.
 - $\vec{R}$: تأثير سطح الأرض .
- يمكن تفكيك القوة $\vec{R}$ الى مركبتين :

$\vec{R}_N$: المركبة المنظمية .

$\vec{f}$: المركبة المماسية وتسمى بقوة الإحتكاك .

$$\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{f} \quad \text{حيث :}$$

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية بين لحظة تشغيل الفرامل ولحظة توقف السيارة ، نكتب :

$$\Delta E_c = \sum(\vec{F})$$

$$E_{cf} - E_{ci} = W(\vec{P}) + W(\vec{R})$$

$$E_{ci} - E_{cf} = W(\vec{P}) + W(\vec{R}_N) + W(\vec{f})$$

مع : $W(\vec{P}) = W(\vec{R}_N) = 0$ لأن اتجاه القوتان عموديان على السطح

$$E_{cf} = 0 \text{ و } E_{ci} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$W(\vec{f}) = -fd$$

نحصل على :

$$\frac{1}{2}mv^2 = -fd$$

$$f = \frac{mv^2}{2d}$$

ت.ع :

$$f = \frac{900 \times (\frac{100}{3,6})^2}{2 \times 86} \quad \text{نجد : } f = 4037,5N$$

3- حساب القدرة المتوسطة :

$$P_m = \frac{|W(\vec{f})|}{\Delta t} \Rightarrow P_m = \frac{fd}{\Delta t}$$

ت.ع :

$$P_m = \frac{4037,5 \times 86}{5,6} = 62004,5W$$

$$P_m = 62kW$$

تمرين 6 :

1- حساب عزم مزدوجة الإحتكاك M_f :

بعد توقف المحرك يبقى القرص خاضعا لتأثير وزنه $\vec{P}$ و تأثير المحور $\vec{R}(\Delta)$ بالإضافة لقوى الإحتكاك عزمها M_f .
نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على القرص بين لحظة توقف المحرك ولحظة توقف القرص عن الدوران ، نكتب :

$$(1) \quad E_{cf} - E_{ci} = W(\vec{R}) + W(\vec{P}) + W_f$$

حيث :

$E_{cf} = 0$ لأن القرص يتوقف

$$E_{ci} = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2$$

$W(\vec{R}) = W(\vec{P}) = 0$ لأن خطأ تأثيرها يمران من محور الدوران (Δ) .

$$W_f = M_f \Delta\theta \quad \text{و} \quad \Delta\theta = 2\pi n$$

n عدد الدورات و $\Delta\theta$ زاوية الدوان التي دار بها القرص خلال الحركة .

العلاقة (1) تصبح :

$$-\frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2 = M_f \Delta\theta$$

$$M_f = -\frac{J_{\Delta} \omega^2}{2\Delta\theta} \Rightarrow M_f = -\frac{J_{\Delta} \omega^2}{4\pi n}$$

ت.ع:

$$M_f = -\frac{3.10^{-2}(45 \times 2\pi)^2}{4\pi \times 120}$$

$$M_f = -1,6 N.m$$

2- شغل المحرك W_m :

ينضاف الى القوى السابقة تأثير مزدوجة المحرك ، مبرهنة الطاقة الحركية تكتب :

$$(2) \quad E_{cf} - E_{ci} = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + W_f + W_m$$

بما أن حركة دوران القرص منتظمة ، فإن السرعة الزاوية ثابتة ومنه :

$$E_{cf} = E_{ci} = 0$$

$$W(\vec{R}) = W(\vec{P}) = 0$$

العلاقة (2) تصبح :

$$0 = W_f + W_m \Rightarrow W_m = -W_f \Rightarrow W_m = -M_f \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \omega \Delta t$$

لدينا :

نستنتج :

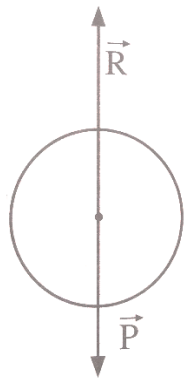
$$W_m = -M_f \omega \Delta t$$

ت.ع:

$$W_m = -(1,6) \times 45 \times 2\pi \times 60$$

$$W_m = -27,1 J$$

استنتاج قدرة المحرك :



$$P_m = \frac{W_m}{\Delta t} \Rightarrow P_m = \frac{-M_f \Delta \theta}{\Delta t}$$
$$P_m = \frac{-M_f \omega \Delta t}{\Delta t} \Rightarrow P_m = -M_f \omega$$

ت.ع:

$$P_m = -(-1,6) \times 45 \times 2\pi$$
$$P_m = 452W$$

تمرين 7:

1- حساب Δt :

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الأسطوانة بين لحظة انطلاقها في الدوران ولحظة وصولها الى التردد $f=20Hz$.

تخضع الأسطوانة للقوى التالية :

- $\vec{P}$: وزنها
 - $\vec{R}$: تأثير محور الدوران .
 - C : المزدوجة المحركة عزمها : M .
- المبرهنة تكتب :

$$E_C - E_{C0} = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + M$$

$$E_{C0} = 0 \text{ و } E_C = \frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2 \quad \text{حيث :}$$

$$W(\vec{P}) = W(\vec{R}) = 0 \text{ لأن خطي تأثير القوتين تمران من محور الدوران .}$$
$$M = P \Delta t$$

نحصل على :

$$\frac{1}{2} J_{\Delta} \omega^2 = P \Delta t$$

$$\omega = 2\pi f \text{ و } J_{\Delta} = \frac{1}{2} m r^2 \quad \text{لدينا :}$$

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} m r^2 \cdot 4\pi^2 f^2 = P \Delta t \quad \text{نستنتج أن :}$$

$$m r^2 \pi^2 f^2 = P \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{m r^2 \pi^2 f^2}{P}$$

ت.ع:

$$\Delta t = \frac{1,0 \times (5,0 \cdot 10^{-2})^2 \times \pi^2 \times (20)^2}{1,5}$$

$$\Delta t = 6,58s$$

2- عزم مزدوجة الإحتكاك M :

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الأسطوانة بين لحظة إيقاف المحرك ولحظة توقف الأسطوانة.

تخضع الأسطوانة خلال هذه المدة الى تأثير $\vec{R}$ و $\vec{P}$ بالإضافة الى مزدوجة الإحتكاك التي عزمها M .

نكتب :

$$\frac{1}{2}J_{\Delta}\omega_f^2 - \frac{1}{2}J_{\Delta}\omega_i^2 = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + W$$

حيث : $\omega_f = 0$ تتوقف الأسطوانة

$$\omega_i = 2\pi f$$

$W(\vec{R}) = W(\vec{P}) = 0$ لأن نقطة تأثير القوتين ثابتتين .

$W = M \cdot \Delta\theta$ مع $\Delta\theta = 2\pi n$ وى يمثل عدد الدورات المنجزة .

نحصل على :

$$-\frac{1}{2}J_{\Delta}(2\pi f)^2 = M2\pi n$$

$$-J_{\Delta}\pi f^2 = Mn$$

$$J_{\Delta} = \frac{1}{2}mr^2 \text{ مع } M = -\frac{J_{\Delta}\pi f^2}{n}$$

$$M = -\frac{m\pi r^2 f^2}{2n}$$

ت.ع:

$$M = -\frac{1,0 \times \pi \times (5,0 \cdot 10^{-2}) \times (20)^2}{2 \times 980}$$

$$M = -1,6 \cdot 10^{-3} \text{ N.m}$$

تمرين 8:

1-1.1 حساب السعة اللحظية في كل من الموضعين M_2 و M_4 :

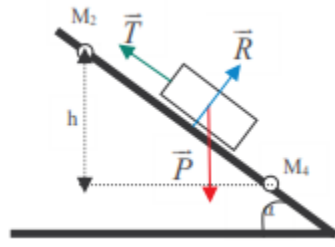
$$v_2 = \frac{M_1 M_3}{2\tau} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow v_2 = 0,25 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_4 = \frac{M_3 M_5}{2\tau} = \frac{3,6 \cdot 10^{-2}}{2 \times 40 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow v_4 = 0,45 \text{ m.s}^{-1}$$

1.2- نبين تعبير توتر الخيط :

فوق النضد يوجد الخيال تحت تأثير ثلاث قوى :

- $\vec{P}$: وزنه
- $\vec{R}$: تأثير النضد المائل . بما أن الإحتكاكات مهملة فإن اتجاه $\vec{R}$ عمودي على سطح التماس .
- $\vec{T}$: توتر الخيط .



نطبق مبرهنة الطاقة الحركية بين الموضعين M_2 و M_4 :

$$(1) \quad E_{C4} - E_{C2} = W(\vec{P}) + W(\vec{R}) + W(\vec{T})$$

$W(\vec{R}) = 0$ لأن اتجاه القوة عمودي على السطح.

$$W(\vec{T}) = \vec{T} \cdot \overrightarrow{M_2 M_4} = T M_2 M_4 \cos \pi = -T \cdot M_2 M_4$$

$$h = M_2 M_4 \sin \alpha \quad : \quad \sin \alpha = \frac{h}{M_2 M_4} \quad \text{مع} \quad W(\vec{P}) = mgh$$

نحصل على :

$$W(\vec{P}) = mg M_2 M_4 \sin \alpha$$

العلاقة (1) تكتب :

$$\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_4^2 = mg M_2 M_4 \sin \alpha - T M_2 M_4$$

$$T M_2 M_4 = mg M_2 M_4 \sin \alpha - \left(\frac{1}{2} m v_4^2 - \frac{1}{2} m v_2^2 \right)$$

$$T = mg \sin \alpha - \frac{m}{2 M_2 M_4} (v_2^2 - v_4^2)$$

$$T = m \left(g \sin \alpha - \frac{v_4^2 - v_2^2}{2 M_2 M_4} \right)$$

$$T = 400 \cdot 10^{-3} (9,81 \times mg M_2 M_4 \sin 20^\circ - \frac{0,45^2 - 0,25^2}{2 \times 2,8 \cdot 10^{-2}})$$

$$T = 2,6N$$

1.3- تحديد عزم قصور البكرة :

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على البكرة أثناء دورانها بين لحظتين تسجيل الموضعين M_2 و M_4 .

تخضع البكرة الى ثلاث قوى أثناء الدوران :

• $\vec{P}'$: وزنها

• $\vec{T}'$: تأثي محور الدوران

• $\vec{T}$: تأثير الخيط

لدينا : $W(\vec{P}') = W(\vec{R}') = 0$ لأن خطي تأثيرهما يقاطعه محور الدوران

كما أن : $\vec{T} = -\vec{T}'$ أي : $W(\vec{T}) = -W(\vec{T}')$

مبرهنة الطاقة الحركية تكتب :

$$\frac{1}{2}J_{\Delta}\omega_4^2 - \frac{1}{2}J_{\Delta}\omega_2^2 = W(\vec{P}') + W(\vec{R}') + W(\vec{T}') \quad (1)$$

$$\omega_4 = \frac{v_4}{r} \quad \text{و} \quad \omega_2 = \frac{v_2}{r} \quad \text{لدينا :}$$

$$\frac{1}{2}J_{\Delta} \left\{ \left(\frac{v_4}{r} \right)^2 - \left(\frac{v_2}{r} \right)^2 \right\} = T \cdot M_2 M_4$$

$$J_{\Delta} \left(\frac{v_2^2 - v_4^2}{r} \right) = 2T \cdot M_2 M_4$$

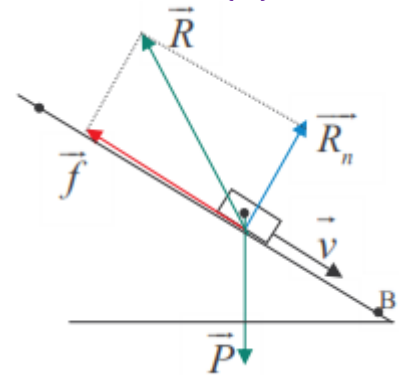
$$J_{\Delta} = \frac{2T \cdot M_2 M_4}{v_2^2 - v_4^2}$$

$$J_{\Delta} = \frac{2 \times 20 \cdot 10^{-2} \times 1,9 \times 2,8 \cdot 10^{-2}}{0,45^2 - 0,25^2}$$

$$J_{\Delta} = 0,15 \text{ N.m}^2$$

ت.ع:

2.1- لتحديد طبيعة التماس بين الجسم (S) والنضد نحسب $W(\vec{R})$:
إذا كان $W(\vec{R}) = 0$ التماس يتم بدون احتكاك .
إذا كان $W(\vec{R}) < 0$ التماس يتم باحتكاك .



نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الخيال (S) بين النقطتين A و B :
(2) $E_{CB} - E_{CA} = W(\vec{P}) + W(\vec{R})$

لدينا :

$$W(\vec{P}) = mgh$$

$$h = AB \sin \alpha \quad \text{مع}$$

$$W(\vec{P}) = mgAB \sin \alpha$$

العلاقة (2) تكتب :

$$W(\vec{R}) = E_{cA} - E_{cB} - W(\vec{P})$$

$$W(\vec{R}) = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 - mgAB \sin \alpha$$

$$W(\vec{R}) = m \left[\left(\frac{v_B^2 - v_A^2}{2} \right) - g \cdot AB \sin \alpha \right]$$

$$W(\vec{R}) = 400 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1,5^2 - 1^2}{2} \right] - 9,81 \times 40 \cdot 10^{-2} \times \sin 20^\circ$$

$$W(\vec{R}) = -1,2J$$

2.2- استنتاج f قوة الإحتكاك :

$$W(\vec{R}) = W(\vec{R}_n) + W(\vec{f})$$

$W(\vec{R}_n) = 0$ لأن $\vec{R}_n$ عمودية على سطح التماس

$$W(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = f \cdot AB \cos \pi = -fAB$$

$$W(\vec{R}) = -f \cdot AB$$

$$f = -\frac{W(\vec{R})}{AB}$$

$$f = -\frac{(-1,2 \cdot 10^{-1})}{40 \cdot 10^{-2}}$$

$$f = 0,3N$$

ت.ع:

تمرين 9:

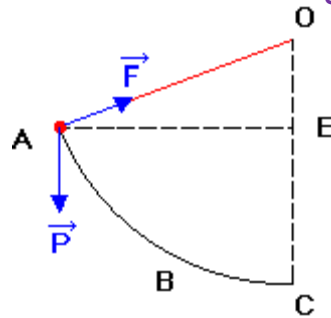
1- جرد القوى وتمثيل متجهتها :

تخضع الكرة الى قوتين :

• $\vec{P}$: وزن الكرة

• $\vec{F}$: توتر الخيط

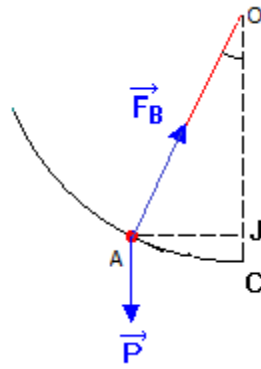
تمثيل متجهات القوتين أنظر الشكل



2- حساب سرعة الكرة أثناء مرورها من موضع توازنها .

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الكرة بين الموضعين A و C نكتب :

$$(1) \quad E_c(C) - E_c(A) = W(\vec{P}) + W(\vec{F})$$



مع : $W(\vec{F})=0$ لأن اتجاه $\vec{F}$ عمودي على المسار .
 $E_c(A)=\frac{1}{2}mv_A^2 = 0$ لأن سرعة الكرة تنعدم عند A .

$$E_c(C)=\frac{1}{2}mv_C^2$$

$$W(\vec{P})=mgh$$

مع : $h=JC=OC-OJ$ و $OC=OB=L$ و $\cos\theta = \frac{OJ}{OB}$ ومنه : $h=L\cos\theta$

$$W(\vec{P})=mg(L-L\cos\theta)$$

$$W(\vec{P}) = mgL(1 - \cos\theta)$$

العلاقة (1) تكتب :

$$0 + \frac{1}{2}mv_C^2 = mgL(1 - \cos\theta)$$

$$\frac{1}{2}v_C^2 = gL(1 - \cos\theta)$$

$$v_C = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}$$

$$v_C = \sqrt{2 \times 9,8 \times 1 \times (1 - \cos 70^\circ)}$$

$$v_C = 3,59 \text{ m.s}^{-1}$$

ت.ع:

3- الزاوية القصوى θ_m لانحراف الخيط :

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية على الكرة بين موضع التوازن وموضع الإنحراف القصوي للخيط .

$$E_{cf} - E_{ci} = W(\vec{P}) + W(\vec{F})$$

$$E_{cf} = 0$$

$$E_{ci} = 0,98 \text{ J}$$

$$W(\vec{P}) = -mgh \text{ مع } h = L(1 - \cos\alpha_m)$$

$$W(\vec{P}) = -mgL(1 - \cos\theta_m)$$

$$W(\vec{F}) = 0 \text{ لأن اتجاه } \vec{F} \text{ عمودي على المسار .}$$

المبرهنة تكتب :

$$0 - E_{ci} = -mgL(1 - \cos\theta_m) + 0$$

$$1 - \cos\theta_m = \frac{-E_{ci}}{-mgL}$$

$$-\cos\theta_m = -1 + \frac{E_{ci}}{mgL}$$

$$\cos\theta_m = 1 - \frac{0,98}{200.10^{-3} \times 9,8 \times 1} = 0,5 \quad \text{ت.ع:}$$

$$\theta_m = \cos^{-1}(0,5) = 60$$