المسألة (1):

نشكّلُ هزّازةً توافقيّةً بسيطةً مؤلّفةً من نابضٍ مرنٍ شاقوليٍّ مهملِ الكتلة، حلقاتُهُ متباعدةٌ، ثابتُ صلابته $k = 10\,\mathrm{N.m^{-1}}$ مثبّتٍ من إحدى نهايتيه إلى نقطةٍ ثابتةٍ، ويحملُ في نهايته الثانية جسماً كتلتُهُ $m = 0.1\,\mathrm{kg}$ فإذا علمتَ أنّ مبدأ الزمن لحظةَ مرور الجسم في مركز التوازن، وهو يتحرّك بالاتّجاه السالب بسرعة $v = -3\,\mathrm{m.s^{-1}}$.

المطلوب:

1. احسبْ نبضَ الحركة.
2. استنتج التابعَ الزمنيَّ لمطال الحركة.
3. احسبْ شدّةَ قوّة الإرجاع.

1) $$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{10}{0.1}} = 10\, rad.s^{-1}$$

2) $$x = X_{max}\cos(\omega_0 t + \varphi)$$

لحساب φ نعوض شروط البدء $(t = 0 \Rightarrow x = 0)$ في التابع الزمني للمطال:

$$0 = \cos\varphi \Rightarrow \varphi = \begin{cases} \frac{\pi}{2}\, rad \\ \frac{3\pi}{2}\, rad \end{cases}$$

نختار الزاوية التي تجعل السرعة الابتدائية سالبة:

$$v = -\omega_0 X_{max}\sin\varphi$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2}\, rad \Rightarrow \sin\varphi > 0 \Rightarrow v < 0$$

مقبول

$$\varphi = \frac{3\pi}{2}\, rad \Rightarrow \sin\varphi < 0 \Rightarrow v > 0$$

مرفوض

حساب X_{max}:

$$-3 = -10X_{max}\sin\frac{\pi}{2} \Rightarrow X_{max} = \frac{3}{10} = 0.3\, m$$

$$x = 0.3\cos\left(10t + \frac{\pi}{2}\right)(m)$$

3) $$F = |kx| = 10 \times 3 \times 10^{-2} = 3 \times 10^{-1}\, N$$

المسألة (2):

تهتزُّ نقطة ماديَّة كتلتها $0.5\,kg$ بحركة توافقيَّة بسيطة بمرونة نابض مهمل الكتلة، حلقاته متباعدة، شاقوليّ وبدور $4\,s$ وبسعة اهتزاز $X_{max} = 8\,cm$ فإذا علمت أنَّ النقطة كانت في موضع مطاله $\frac{X_{max}}{2}$ في بدء الزمن وهي متحرِّكة بالاتِّجاه السالب.

المطلوب:

1. استنتج التابع الزمنيّ لمطال حركة هذه النقطة بعد تعيين قيمة الثوابت.
2. عيّن لحظتي المرور الأوَّل والثالث في وضع التوازن.
3. عيّن المواضع التي تكون فيها شدَّة محصِّلة القوى عظمى، واحسب قيمتها، وحدّد موضعاً تنعدم فيه شدَّة هذه المحصِّلة.
4. احسب قيمة ثابت صلابة النابض، وهل تتغيَّر هذه القيمة باستبدال الكتلة المعلَّقة؟
5. احسب الكتلة التي تجعل الدَّور الخاص $1\,s$.

1)

$$x = X_{max}\cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2}\ rad.s^{-1}$$

لحساب φ نعوض شروط البدء $\left(t = 0 \Rightarrow x = \frac{X_{max}}{2}\right)$ في التابع الزمني للمطال:

$$\frac{X_{max}}{2} = X_{max}\cos\varphi \Rightarrow \cos\varphi = \frac{1}{2} \Rightarrow \varphi = \begin{cases} \frac{\pi}{3}\ rad \\ \frac{5\pi}{3}\ rad \end{cases}$$

نختار الزاوية التي تجعل السرعة الابتدائية سالبة:

$$v = (x)'_t = -\omega_0 X_{max}\sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$$v_0 = -\omega_0 X_{max}\sin\varphi$$

$$\varphi = \frac{\pi}{3}\ rad \Rightarrow \sin\varphi > 0 \Rightarrow v_0 < 0$$

مقبول

$$\varphi = \frac{5\pi}{3}\ rad \Rightarrow \sin\varphi < 0 \Rightarrow v_0 > 0$$

مرفوض

$$x = 8 \times 10^{-2}\cos(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{3})$$

2) $$x = 0 \Rightarrow \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{3}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{2} + \pi k \,;\, k = 0, 1, 2, \ldots$$

من أجل المرور الأول:

$$k = 0 \Rightarrow \frac{\pi}{2}t_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{6} \Rightarrow t_1 = \frac{1}{3}\ s$$

من أجل المرور الثالث:

$$k = 2 \Rightarrow \frac{\pi}{2}t_3 = \frac{\pi}{2} + 2\pi - \frac{\pi}{3} = \frac{13\pi}{6} \Rightarrow t_3 = \frac{13}{3}\ s$$

3) $$F = -kx$$

تكون شدة محصلة القوى عظمى عندما:

$$x = \pm X_{max} \Rightarrow \mathrm{F} = \pm kX_{max}$$

في وضعي المطالين الأعظميين

$$F_{max} = ma_{max} = m\omega_0^2 X_{max} = 0.5\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \times 8 \times 10^{-2} = 10^{-1}\ N$$

تكون شدة محصلة القوى معدومة عندما:

$$x = 0 \Rightarrow F = 0$$

في وضع التوازن

4) $$k = m\omega_0^2 = 0.5\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 = \frac{5}{4}\ N.m^{-1}$$

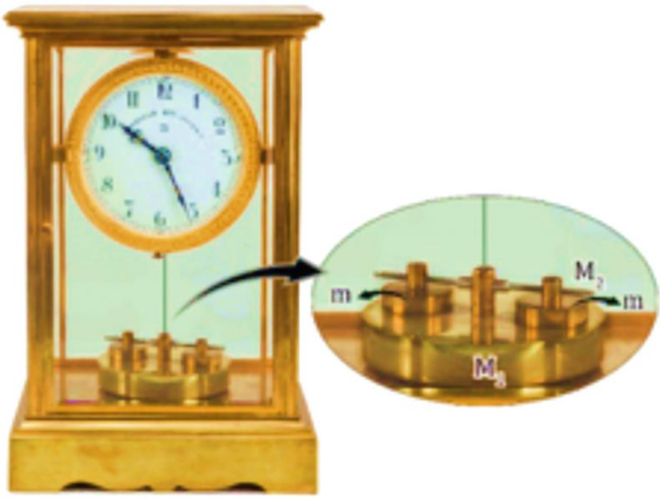
لا تتغير قيمة ثابت صلابة النابض بتغيير الكتلة المعلقة

5) $$T'_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m'}{k}} \Rightarrow 1 = 2\pi\sqrt{\frac{m'}{\frac{5}{4}}}$$

بتربيع الطرفيين:

$$1 = 40\frac{m'}{\frac{5}{4}} \Rightarrow 1 = \frac{160m'}{5} \Rightarrow 1 = 32m' \Rightarrow m' = \frac{1}{32}\ kg$$

المسألة (3):



تتألّفُ ميقاتيّةٌ من قرص نحاسيّ كتلتُه $M_1 = 0.12\,kg$، نصفُ قطره $R = 0.05\,m$ مثبّتٌ عليه ساقٌ كتلتُها $M_2 = 0.012\,kg$، طولُها $L = 0.1\,m$ تحملُ في طرفيها كتلتين نعدّهما نقطيّتين $m_1 = m_2 = 0.05\,kg$، كتلتان تبعدان عن بعضهما البعض مسافةً قدرُها $2r = 0.04\,m$ يمكن تغييرُها بوساطة بزّال، نعلّق جملة القرص وما عليه من مركز عطالتها إلى سلكِ فتل شاقوليّ ثابتُ فتله $k = 8 \times 10^{-4}\,m.N.rad^{-1}$ كما في الشكل المجاور.

المطلوب:

1. احسبْ دورَ الميقاتيّة.
2. إذا أردنا للدَّور أنْ يزدادَ بمقدار $0.86\,s$ وذلك بزيادة البعد بين الكتلتين m، فما البعدُ الجديدُ الذي يجبُ أنْ يصبحَ بينهما؟

(عزم عطالة القرص حول محور مارّ من مركز عطالته $I_1 = \frac{1}{2}M_1R^2$، وعزم عطالة السّاق حول محور عموديّ على مستويها ومارّ من مركزها $I_2 = \frac{1}{2}M_2L^2$، $\pi = 3.14$، $\pi^2 \simeq 10$)

(1

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k}}$$

$$I_\Delta = I_1 + I_2 + I_{m_1} + I_{m_2}$$

$$= \frac{1}{2}M_1R^2 + \frac{1}{12}M_2L^2 + 2m_1r^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.12(0.05)^2 + \frac{1}{12} \times 0.012(0.1)^2 + 2 \times 0.05(0.02)^2$$

$$= 15 \times 10^{-5} + 10^{-5} + 4 \times 10^{-5}$$

$$= (15 + 1 + 4) \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-4}\ kg.m^2$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{2 \times 10^{-4}}{8 \times 10^{-4}}} = 2\pi\sqrt{\frac{1}{4}} = \pi = 3.14\ s$$

(2

$$T'_0 = T_0 + \Delta T_0 = 3.14 + 0.86 = 4\ s$$

$$T'_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I'_\Delta}{k}} \Rightarrow 4 = 2\pi\sqrt{\frac{I'_\Delta}{8\times 10^{-4}}} \Rightarrow 2 = \pi\sqrt{\frac{I'_\Delta}{8\times 10^{-4}}}$$

بتربيع الطرفين:

$$4 = 10\frac{I'_\Delta}{8\times 10^{-4}} \Rightarrow 4 = \frac{I'_\Delta}{8\times 10^{-5}}$$

$$\Rightarrow I'_\Delta = 32\times 10^{-5}\ kg.m^2$$

$$I'_\Delta = I_1 + I_2 + 2m_1{r'}^2$$

$$32\times 10^{-5} = 15\times 10^{-5} + 10^{-5} + 2\times 5\times 10^{-2}{r'}^2$$

$$32\times 10^{-5} = 16\times 10^{-5} + 10^{-1}{r'}^2$$

$$16\times 10^{-5} = 10^{-1}{r'}^2 \Rightarrow {r'}^2 = 16\times 10^{-4}$$

$$r' = \sqrt{16\times 10^{-4}} = 4\times 10^{-2}\ m$$

$$2r' = 8\times 10^{-2}\ m$$

المسألةُ (4):

نعلّقُ حلقـةً معدِنيّـةً نصـفُ قطرهـا $R = 12.5\,\text{cm}$، كتلتُهـا $M = 0.05\,\text{kg}$، بمحـور أفقـيّ ثابـت، كمـا هـو موضّـحٌ بالشـكل.

المطلوب:

1. احسـبِ الـدورَ الخـاصّ لاهتـزاز هـذا النـوّاس مـن أجـل السّـعات الزاوية الصغيـرة إذا علمـت أنّ عـزم عطالـة الحلقـة حـول محـور عمـوديّ علـى مسـتويها، ومـارّ مـن مركـز عطالتهـا $I_{\Delta/c} = M\,R^2$.
2. احسبْ طول النوّاس البسيط المواقت.

(1

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{Mgd}}$$

$$d = R$$

$$I_\Delta = I_{\Delta/c} + Md^2 = MR^2 + MR^2 = 2MR^2$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{2MR^2}{MgR}} = 2\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{2 \times 12.5 \times 10^{-2}}{10}} = 2\sqrt{25 \times 10^{-2}}$$

$$= 2 \times 5 \times 10^{-1} = 1\,s$$

(2

$$T_{0\,\text{بسيط}} = T_{0\,\text{مركب}} \Rightarrow 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1$$

$$\Rightarrow 2\pi\sqrt{\frac{l}{10}} = 1 \Rightarrow 2\sqrt{l} = 1 \Rightarrow l = \frac{1}{4}\,m$$

المسألة (5):

يتألّف نوّاس ثقليّ من ساق شاقوليّة مهملة الكتلة طولها $1\,m$ تحمل في نهايتها العلويّة كتلة نقطيّة $m_1 = 0.2\,kg$ وتحمل في نهايتها السفليّة كتلة نقطيّة $m_2 = 0.6\,kg$ تهتزُّ هذه السّاق حول محور أفقيّ مارّ من منتصفها

المطلوب:

1. احسب دور النوّاس في حالة السّعات الصّغيرة.
2. احسب طول النوّاس البسيط المواقت لهذا النوّاس.
3. احسب دور النوّاس لو ناس بسعة زاوية $\theta_{max} = 0.4\,rad$.
4. نزيح الساق عن وضع توازنها الشاقوليّ بزاوية $\theta_{max} = 60^\circ$ ونتركها دون سرعة ابتدائيّة.
   - a. استنتج بالرموز علاقة السّرعة الزاوية لجملة النوّاس لحظة مرورها بشاقول محور التعليق، ثمَّ احسب قيمتها عندئذٍ.
   - b. احسب السُّرعة الخطيّة لمركز عطالة جملة النوّاس لحظة المرور بالشّاقول.
5. نستبدل بالكتلة m_2 كتلة $m_1 = 0.2\,kg$ ونعلّق السّاق من منتصفها بسلك فتل شاقوليّ لنشكّل بذلك نوّاساً للفتل، نزيح السّاق الأفقيّة عن وضع توازنها بزاوية ونتركها دون سرعة ابتدائيّة فتهتزُّ بدور T_0. احسب قيمة ثابت فتل سلك التعليق.
6. احسب قيمة التّسارع الزاوي لنوّاس الفتل عند المرور بوضع $\theta = 0.5\,rad$.

(1

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{mgd}}$$

$$I_\Delta = I_{\Delta/\text{ساق}} + I_{\Delta/m_1} + I_{\Delta/m_2}$$

$$= 0 + m_1\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 + m_2\left(\frac{\ell}{2}\right)^2$$

$$= 0.2\left(\frac{1}{2}\right)^2 + 0.6\left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0.8 \times \frac{1}{4} = 0.2\ kg.m^2$$

$$m = m_1 + m_2 = 0.2 + 0.6 = 0.8\ kg$$

$$d = \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1\left(-\frac{\ell}{2}\right) + m_2\left(\frac{\ell}{2}\right)}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{-0.2\left(\frac{1}{2}\right) + 0.6\left(\frac{1}{2}\right)}{0.2 + 0.6} = \frac{0.4 \times \frac{1}{2}}{0.8} = \frac{1}{4}\ m$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{0.2}{0.8 \times 10 \times \frac{1}{4}}} = 2\ s$$

(2

$$T_{0\,\text{بسيط}} = T_{0\,\text{مركب}} \Rightarrow 2\pi\sqrt{\frac{l'}{g}} = 2 \Rightarrow 2\pi\sqrt{\frac{l'}{10}} = 2$$

$$\sqrt{l'} = 1 \Rightarrow l' = 1\,m$$

(3

$$T'_0 = T_0\left(1+\frac{\theta^2_{max}}{16}\right) = 2\left[1+\frac{(0.4)^2}{16}\right] = 2(1+0.01) = 2.02\,s$$

(4 a) نطبق نظرية الطاقة الحركية بين وضعين:

وضع بدائي: الانزياح الأعظمي: $\theta_1 = \theta_{max}\,,\omega_1 = 0$

وضع نهائي: التوازن الشاقولي: $\theta_2 = 0\,,\omega_2 = \omega$

$$\Delta E_k = \sum W_{\vec{F}} \Rightarrow E_{k_2} - E_{k_1} = W_{\vec{W}} + W_{\vec{R}}$$

لأن نقطة تأثير $\vec{R}$ لا تنتقل : $W_{\vec{R}} = 0$

$$\frac{1}{2}I_\Delta\omega^2 - 0 = mgh + 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2mgh}{I_\Delta}}$$

$$h = d(\cos\theta_2 - \cos\theta_1) = d(1-\cos\theta_{max})$$

$$= \frac{1}{4}\left(1-\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{8}\,m$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2\times 0.8\times 10\times\frac{1}{8}}{0.2}} = \sqrt{10} = \pi\,rad.s^{-1}$$

(b $\quad v_c = d\omega = \frac{1}{4}\times\pi = \frac{\pi}{4}\,m.s^{-1}$

5)

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k}} \Rightarrow T_0^2 = 4\pi^2\frac{I_\Delta}{k} \Rightarrow k = \frac{4\pi^2 I_\Delta}{T_0^2}$$

$$I_\Delta = I_{\Delta/\text{ساق}} + I_{\Delta/m_1} + I_{\Delta/m_2}$$

$$= 0 + m_1\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 + m_2\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 = 2m_1\left(\frac{\ell}{2}\right)^2 = m_1\frac{\ell^2}{2}$$

$$= 0.2 \times \frac{1}{2} = 0.1\, kgm^2$$

$$k = \frac{4\pi^2 \times 0.1}{4\pi^2} = 0.1\, m.N.rad^{-1}$$

6)

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1\, rad.s^{-1}$$

$$\alpha = -\omega_0^2\theta = -1 \times 0.5 = -0.5\, rad.s^{-2}$$

المسألة (6):

يتألَّف نوّاس ثقليّ مركّب من قرص متجانس كتلته m نصف قطره $r = \frac{2}{3}\text{m}$ يمكن أن يهتزَّ في مستوٍ شاقوليٍّ حول محور أفقيٍّ مارٍّ من نقطة على محيطه.

المطلوب:

1. انطلاقاً من العلاقة العامّة لدور النوّاس الثقليّ المركّب، استنتج العلاقة المحدِّدة لدوره الخاصّ في حالة السّعات الصّغيرة، ثمَّ احسب قيمة هذا الدّور.
2. احسب طول النوّاس البسيط المواقت لهذا النوّاس المركّب.
3. نثبّت في نقطة من محيط القرص كتلة نقطيَّة m' تساوي كتلة القرص m ونجعله يهتزُّ حول محور أفقيٍّ مارٍّ من مركز القرص، احسب دوره في هذه الحالة من أجل السّعات الزاوية الصّغيرة.
4. نزيح القرص من جديد عن وضع توازنه الشاقوليّ بسعة زاوية θ_{max} ونتركه دون سرعة ابتدائيَّة فتكون السرعة الخطِّيَّة للكتلة النقطيَّة m' لحظة المرور بالشاقول $\frac{2\pi}{3}\text{m.s}^{-1}$ احسب قيمة السعة الزاوية θ_{max}

(إذا علمت أنَّ: $\theta_{max} > 0.24\,\text{rad}$, $g = 10\text{m.s}^{-1}$, $\pi^2 = 10$ عزم عطالة القرص حول محور مارّ من مركزه وعموديّ على مستويه $I_{\Delta/c} = \frac{1}{2} m\, r^2$)

(1

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{mgd}}$$

$$d = r$$

$$I_\Delta = I_{\Delta/c} + md^2 = \frac{1}{2}mr^2 + mr^2 = \frac{3}{2}mr^2$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{3}{2}mr^2}{mgr}} = 2\pi\sqrt{\frac{3r}{2g}} = 2\pi\sqrt{\frac{3\times\frac{2}{3}}{2\times 10}} = 2\,s$$

(2

$$T_{0\,\text{بسيط}} = T_{0\,\text{مركب}} \Rightarrow 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2 \Rightarrow 2\pi\sqrt{\frac{l}{10}} = 2$$

$$\sqrt{l} = 1 \Rightarrow l = 1\,m$$

(3

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{(m+m')gd}}$$

$$I_\Delta = I_{\Delta/\text{قرص}} + I_{\Delta/m'} = \frac{1}{2}mr^2 + m'r^2 = \frac{3}{2}mr^2$$

$$d = \frac{mr + m'r'}{m+m'} = \frac{0 + mr}{2m} = \frac{r}{2}$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{3}{2}mr^2}{2mg\frac{r}{2}}} = 2\pi\sqrt{\frac{3r}{2g}} = 2\pi\sqrt{\frac{3\times\frac{2}{3}}{2\times 10}} = 2\ s$$

4) نطبق نظرية الطاقة الحركية بين وضعين:

وضع بدائي: الانزياح الأعظمي: $\theta_1 = \theta_{max}\ ,\omega_1 = 0$

وضع نهائي: التوازن الشاقولي: $\theta_2 = 0\ ,\omega_2 = \omega$

$$\Delta E_k = \sum W_{\vec{F}} \Rightarrow E_{k_2} - E_{k_1} = W_{\vec{W}} + W_{\vec{R}}$$

لأن نقطة تأثير $\vec{R}$ لا تنتقل : $W_{\vec{R}} = 0$

$$\frac{1}{2}I_{\Delta}\omega^2 - 0 = (m+m')gh + 0$$

$$h = d(\cos\theta_2 - \cos\theta_1) = \frac{r}{2}(1-\cos\theta_{max})$$

$$v_{m'} = r\omega \Rightarrow \omega = \frac{v_{m'}}{r}$$

$$\frac{1}{2}\times\frac{3}{2}mr^2\times\frac{{v_{m'}}^2}{r^2} = 2mg\frac{r}{2}(1-\cos\theta_{max})$$

$$\frac{3}{4}{v_{m'}}^2 = rg(1-\cos\theta_{max})$$

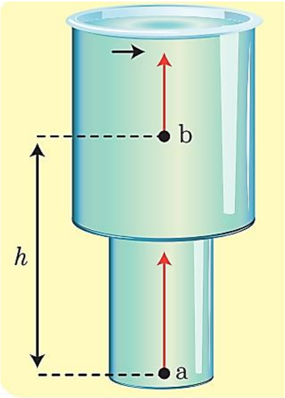
$$\frac{3}{4}\times\left(\frac{2\pi}{3}\right)^2 = \frac{2}{3}\times 10(1-\cos\theta_{max})$$

$$\frac{3}{4}\times\frac{4\times 10}{9} = \frac{2}{3}\times 10(1-\cos\theta_{max})$$

$$1 = 2(1-\cos\theta_{max})$$

$$1 = 2 - 2\cos\theta_{max} \Rightarrow 2\cos\theta_{max} = 2-1 = 1$$

$$\cos\theta_{max} = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta_{max} = \frac{\pi}{3}\ rad$$



المسألة (7):

يجري الماء داخل الأنابيب الموضَّحة في الشكل من (a) إلى (b) حيث نصف قطر الأنبوب عند (a) $r_1 = 5\,\mathrm{cm}$ و نصف قطر الأنبوب عند النقطة (b) $r_2 = 10\,\mathrm{cm}$ والمسافة الشاقوليَّة بين (a) و (b) $h = 50\,\mathrm{cm}$:

1. احسب سرعة جريان الماء عند النقطة (b) علماً أنَّ سرعة جريان الماء عند النقطة (a) $v_1 = 4\,\mathrm{m.s^{-1}}$.
2. احسب قيمة فرق الضَّغط (P_{a-b}) $(\rho_{H2O} = 1000\,\mathrm{kg.m^3})$.

(1

$$s_1 v_1 = s_2 v_2$$

$$\pi r_1^2 v_1 = \pi r_2^2 v_2$$

$$v_2 = \frac{r_1^2 v_1}{r_2^2}$$

$$= \frac{25 \times 4}{100} = 1\, m.s^{-1}$$

(2

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g z_2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g (z_2 - z_1)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho\left(v_2^2 - v_1^2\right) + \rho g h$$

$$= \frac{1}{2} \times 1000 \times (1 - 16) + 1000 \times 10 \times 50 \times 10^{-2}$$

$$= -7500 + 5000 = -2500\, Pa$$

المسألة (8):

تخيّل أنّ مركبة فضاء لها شكل مستطيل تقوم برحلة إلى نجم "الشعرى" وفق مسار مستقيم، بحيث يكون شعاع سرعة المركبة دوماً موازياً لطول المركبة، فتسجّل أجهزة المركبة المسافرة القياسات الآتية:

طول المركبة: $100\ m$، عرض المركبة: $25\ m$، المسافة المقطوعة: 4 سنة ضوئيّة، زمن الرحلة: $\frac{8}{\sqrt{3}}$ سنة، وتسجّل أجهزة المحطّة الأرضيّة قياساتها لتلك الرحلة باستخدام تيلسكوب دقيق،
احسب كلاًّ من سرعة المركبة وطولها وعرضها في أثناء الرحلة، والمسافة التي قطعتها وزمن الرحلة وفق قياسات المحطّة الأرضيّة.
(سرعة الضّوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8\ m.s^{-1}$)

$$a_0 = 100\ m\ , b_0 = 25\ m\ , L = 4\ LY\ , t_0 = \frac{8}{\sqrt{3}}\ Y$$

$$v = \frac{L}{t_0} = \frac{4c}{\frac{8}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3}}{2}c$$

$$v = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 3 \times 10^8 = 2.6 \times 10^8\ m.s^{-1}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(\frac{\sqrt{3}}{2}c)^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4}}} = 2$$

$$a = \frac{a_0}{\gamma} = \frac{100}{2} = 50\ m$$

عرض المركبة لا يتغير لأنه يعامد شعاع السرعة:

$$b = b_0 = 25\ m$$

$$L = \frac{L_0}{\gamma} \Rightarrow L_0 = \gamma L = 2 \times 4 = 8\ LY$$

$$t = \gamma t_0 = 2 \times \frac{8}{\sqrt{3}} = \frac{16}{\sqrt{3}}\ Y$$

المسألة (9):

إذا علمت أنّ الكتلة السكونيّة للبروتون $1.67\times10^{-27}\ kg$، وفي أحد التجارب كانت طاقته الكلّيّة تساوي ثلاثة أضعاف طاقته السكونيّة.

المطلوب:

1. احسب الطّاقة السكونيّة للبروتون مقاسة بالإلكترون فواط.
2. احسب سرعة البروتون في هذه التجربة.
3. احسب الطّاقة الحركيّة لهذا البروتون.
4. احسب كميّة الحركة له.
5. باعتبار كميّة الحركة P والطّاقة السّكونيّة E_0 والطّاقة الكُلّيّة E استنتج أنّ: $E^2=P^2C^2+E_0^2$، ثمّ تأكّد من ذلك حسابياً بالنسبة للبروتون المدروس في هذه التجربة.

(سرعة الضّوء في الخلاء $c=3\times10^8\ m.s^{-1}$)

1)
$$E_0=m_0c^2=m_pc^2$$
$$=1.67\times10^{-27}\times9\times10^{16}=15.03\times10^{-11}\ J$$
$$=\frac{15.03\times10^{-11}}{1.6\times10^{-19}}=9.4\times10^{8}\ eV$$

2)
$$E=mc^2\Rightarrow E=\gamma m_0c^2\Rightarrow 3E_0=\gamma E_0\Rightarrow\gamma=3$$
$$\Rightarrow\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}=3\Rightarrow\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}=9\Rightarrow1=9\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)$$
$$\Rightarrow1=9-9\frac{v^2}{c^2}\Rightarrow9\frac{v^2}{c^2}=8\Rightarrow\frac{v^2}{c^2}=\frac{8}{9}$$
$$\Rightarrow\frac{v}{c}=\frac{2\sqrt2}{3}\Rightarrow v=\frac{2\sqrt2}{3}c$$
$$=0.94\times3\times10^8=2.8\times10^8\ m.s^{-1}$$

3)
$$E_k=E-E_0=3E_0-E_0=2E_0$$
$$=2\times15.03\times10^{-11}=30.06\times10^{-11}\ J$$

4)
$$p=mv=\gamma m_0v=3\times1.67\times10^{-27}\times2.8\times10^{8}$$

$$= 14 \times 10^{-19}\ kg.m.s^{-1}$$

5)
$$E = \gamma E_0 \Rightarrow E = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} E_0 \Rightarrow E^2 = \frac{E_0^2}{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Rightarrow E_0^2 = E^2 - E^2 \frac{v^2}{c^2} \Rightarrow E^2 = E_0^2 + E^2 \frac{v^2}{c^2}$$

$$\Rightarrow E^2 = E_0^2 + m^2c^4 \frac{v^2}{c^2} \Rightarrow E^2 = E_0^2 + m^2c^2v^2$$

$$\Rightarrow E^2 = p^2c^2 + E_0^2$$

التأكد الحسابي:

$$E = \gamma E_0 = 3 \times 15.03 \times 10^{-11} = 45.09 \times 10^{-11}\ J$$

$$(45.09 \times 10^{-11})^2 = (14 \times 10^{-19})^2 (3 \times 10^8)^2 + (15.03 \times 10^{-11})^2$$

$$2030 \times 10^{-22} = 1764 \times 10^{-22} + 226 \times 10^{-22}$$

$$203 \times 10^{-21} = 203 \times 10^{-21}$$

المسألة (10):

وشيعة طولها $40\,cm$، مؤلَّفة من 400 لفَّة، محورها الأفقيّ يعامد خطّ الزوال المغناطيسيّ، نضع في مركزها إبرة بوصلة صغيرة، ثمّ نمرّر في الوشيعة تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً شدّته $16\,mA$.

المطلوب:

1. احسب شدّة الحقل المغناطيسيّ المتولِّد في مركز الوشيعة.
2. إذا أجرينا اللفَّ بالجهة نفسها على أسطوانةٍ فارغةٍ من مادّة عازلةٍ باستخدام سلك معزول قطره $2\,mm$ بلفّات متلاصقة، احسب عدد طبقات الوشيعة.
3. نضع داخل الوشيعة في مركزها حلقةً دائريّةً مساحتها $2cm^2$ بحيث يصنع النَّاظم على سطح الحلقة مع محور الوشيعة زاوية 60°.
احسب التدفقَ المغناطيسيّ عبر الحلقة الناتج عن تيار الوشيعة.

1)

$$B = 4\pi \times 10^{-7}\frac{NI}{\ell}$$

$$= 4\pi \times 10^{-7}\frac{400 \times 16 \times 10^{-3}}{40 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}\,T$$

2)

$$\text{عدد طبقات الوشيعة} = \frac{\text{عدد اللفات الكلي}}{\text{عدد لفات الطبقة الواحدة}} = \frac{N}{N'}$$

$$N' = \frac{\ell}{2r'} = \frac{4 \times 10^{-1}}{2 \times 10^{-3}} = 200 \text{ لفة}$$

$$\text{عدد طبقات الوشيعة} = \frac{N}{N'} = \frac{400}{200} = 2$$

3)

$$\Phi = Bs\cos\alpha$$

$$= 2 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} = 2 \times 10^{-9}\,W$$

المسألة (11):

ملفّ دائريّ نصف قطره الوسطيّ 40 cm يتألّف من 100 لفّة، وُضِع في حقل مغناطيسيّ منتظم شدّته 0.5 T حيث خطوط الحقل عموديّة على مستوي الملف.

المطلوب:

1. احسب التدفّق المغناطيسيّ الذي يجتاز لفّات الملف.
2. ما مقدار التغيّر في التدفّق المغناطيسيّ إذا دار الملفّ في الاتّجاه الموجب بزاوية 45°.

(1

$$\Phi = NBs\cos\alpha$$

$$= NB\pi r^2\cos(0)$$

$$= 100 \times 0.5 \times \pi(40 \times 10^{-2})^2 \times 1$$

$$= 8\pi$$

$$= 25\,Weber$$

(2

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$$

$$= NBs\cos\alpha_2 - NBs\cos\alpha_1$$

$$= NB\pi r^2\left[\cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - \cos(0)\right]$$

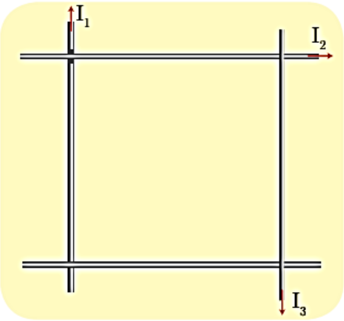
$$= 100 \times 0.5\pi \times 16 \times 10^{-2}\left(\frac{\sqrt{2}}{2} - 1\right)$$

$$= -7.32\,Weber$$

المسألة (12):

أربعُ أسلاك ناقلة طويلة تقع في مستوٍ واحد، ومتقاطعة مع بعضها البعض لتشكّل مربّعاً طول ضلعه 40 cm، أوجد شدَّةَ، واتجاهَ التيّار الذي يجب أن يمرَّ في الناقل الرابع بحيث تكون شدّة الحقل المغناطيسيّ في مركز المربّع معدومة.

حيث إنّ: $I_1 = 10\,A, I_2 = 5\,A, I_3 = 15\,A$



بتطبيق قاعدة اليد اليمنى لتحديد جهة أشعة الحقول المغناطيسية $\vec{B}_1$ و $\vec{B}_2$ و $\vec{B}_3$ الناتجة عن التيارات I_1 و I_2 و I_3 في مركز المربع نجد أنها جميعاً تتجه نحو داخل المستوي، ولتكون شدة الحقل المغناطيسي المحصل في المركز معدومة يجب أن تكون جهة شعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}_4$ الناتج عن التيار I_4 نحو خارج المستوي أي يجب أن تكون جهة التيار I_4 بعكس جهة دوران عقارب الساعة (بعكس جهة التيار I_3)

$$\vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4 = \vec{0}$$

بالإسقاط على محور له حامل وجهة $\vec{B}_1$:

$$B_1 + B_2 + B_3 - B_4 = 0$$

$$B_4 = B_1 + B_2 + B_3$$

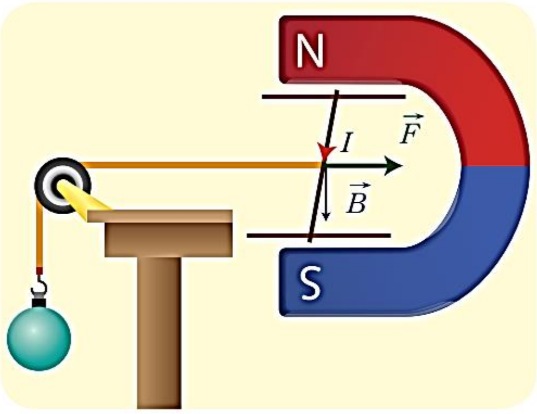
$$2 \times 10^{-7} \frac{I_4}{d_4} = 2 \times 10^{-7} \frac{I_1}{d_1} + 2 \times 10^{-7} \frac{I_2}{d_2} + 2 \times 10^{-7} \frac{I_3}{d_3}$$

بما أن: $d_1 = d_2 = d_3 = d_4$ نجد:

$$I_4 = I_1 + I_2 + I_3 = 10 + 5 + 15 = 30\ A$$

المسألة (13):

في الشكل المجاور تستند ساقٌ نحاسيّةٌ طولها 10 cm، وكتلتها 20 g على سكّتين نحاسيّتين أفقيّتين، وتخضعُ بكاملها لحقل مغناطيسيّ منتظم شاقوليّ شدّته $B = 2 \times 10^{-2}\ T$ ويمرُّ بها تيّارٌ كهربائيٌّ متواصل شدّته 15 A وللحفاظ على توازن هذه السّاق نعلق في مركز ثقلها خيطاً لا يمتطّ كتلته مهملة، مربوطٌ بكتلة،



المطلوب:

1. احسب كتلة الجسم المعلّق.
2. احسب شدّة قوّة ردّ فعل السكّتين على السّاق.

1) الجملة المدروسة: الساق

القوى الخارجية المؤثرة: ثقل الساق $\vec{W}$ ، توتر الخيط $\vec{T}$ ، رد فعل السكتين $\vec{R}$ ، القوة الكهرطيسية $\vec{F}$

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{W} + \vec{T} + \vec{R} + \vec{F} = \vec{0}$$

بالإسقاط على محور منطبق على حامل القوة الكهرطيسية وبجهتها:

$$0 - T + 0 + F = 0 \Rightarrow F = T \quad \dots (1)$$

الجملة المدروسة: الكتلة المعلقة بالخيط

القوى الخارجية المؤثرة: ثقل الكرة $\vec{W'}$ ، توتر الخيط $\vec{T}$

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{W'} + \vec{T} = \vec{0}$$

بالإسقاط على محور منطبق على حامل $\vec{T}$ وبجهتها:

$$-W' + T = 0 \Rightarrow W' = T \quad \dots (2)$$

بالمساواة بين (1) و (2) نجد:

$$W' = F \Rightarrow m'g = ILB \sin\theta \Rightarrow m' = \frac{ILB \sin\theta}{g}$$

$$= \frac{15 \times 10^{-1} \times 2 \times 10^{-2} \times 1}{10} = 30 \times 10^{-4} = 3 \times 10^{-3}\ kg = 3\ g$$

2) الجملة المدروسة: الساق

القوى الخارجية المؤثرة: ثقل الساق $\vec{W}$ ، توتر الخيط $\vec{T}$ ، رد فعل السكتين $\vec{R}$ ، القوة الكهرطيسية $\vec{F}$

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{W} + \vec{T} + \vec{R} + \vec{F} = \vec{0}$$

بالإسقاط على محور منطبق على حامل $\vec{W}$ وبجهتها:

$$W + 0 - R + 0 = 0 \Rightarrow R = W = mg = 20 \times 10^{-3} \times 10 = 2 \times 10^{-1}\ N$$

المسألة (14):

تيّار كهربائيّ شدّته $20\,A$ يمرُّ في سلك مستقيم طوله $10\,cm$ فإذا وضع السلك كاملاً في حقل مغناطيسيٍّ شدّته $2\times10^{-3}\,T$ وكان السلك يصنع مع خطوط الحقل المغناطيسيِّ زاوية 30° احسب شدّة القوّة الكهرطيسيَّة المؤثِّرة في السلك.

$$F = ILB\sin\theta$$

$$= 20 \times 10 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-3} \times \sin\frac{\pi}{6}$$

$$= 2 \times 2 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2}$$

$$= 2 \times 10^{-3}\ N$$

المسألة (15):

تخضع إلكتروناً يتحرّك بسرعة $8\times10^{3}\ \mathrm{Km.s^{-1}}$ إلى تأثير حقل مغناطيسيّ منتظم ناظميّ على شعاع سرعته شدّته $B=5\times10^{-3}\ \mathrm{T}$.

المطلوب:

1. وازن بالحساب بين شدّة ثقل الإلكترون وشدّة قوّة لورنز المؤثّرة فيه. ماذا تستنتج؟
2. برهن أنّ حركة الإلكترون ضمن المنطقة التي يسودها الحقل المغناطيسيّ هي حركة دائريّة منتظمة، ثمّ استنتج العلاقة المحدِّدة لنصف قطر المسار الدائري، واحسب قيمته.
3. احسب دور الحركة.

$(e=1.6\times10^{-19}\ \mathrm{C}\ ,\ m_e=9\times10^{-31}\ \mathrm{kg}\ ,\ g=10\ \mathrm{m.s^{-2}})$

1)

$$W_e=m_e g=9\times10^{-31}\times10=9\times10^{-30}\ N$$

$$F_{\text{لورنز}}=evB\sin(\vec{v}\ \hat{,}\ \vec{B})$$

$$=1.6\times10^{-19}\times8\times10^{6}\times5\times10^{-3}\times1$$

$$=64\times10^{-16}\ N$$

$$\frac{F_{\text{لورنز}}}{W_e}=\frac{64\times10^{-16}}{9\times10^{-30}}=7\times10^{14}\Rightarrow F_{\text{لورنز}}\gg W_e$$

بالموازنة نجد أن شدة قوة لورنز أكبر بكثير من شدة ثقل الإلكترون وبالتالي يُهمل ثقل الإلكترون أما قوة لورنز

2)

$$\sum\vec{F}=m_e\vec{a}\Rightarrow\vec{F}_{\text{لورنز}}=m_e\vec{a}$$

$$e\vec{v}\wedge\vec{B}=m_e\vec{a}\Rightarrow\vec{a}=\frac{e}{m_e}\vec{v}\wedge\vec{B}$$

من خواص الجداء الشعاعي: $\vec{a}\perp\vec{v}$

بما أن شعاع السرعة $\vec{v}$ محمول على المماس فالتسارع ناظمي فقط فحركة الإلكترون ضمن المنطقة التي يسودها الحقل المغنايسي هي حركة دائرية منتظمة

$$a_c=\frac{e}{m_e}vB\Rightarrow\frac{v^2}{r}=\frac{e}{m_e}vB\Rightarrow r=\frac{vm_e}{eB}$$

$$r=\frac{8\times10^{6}\times9\times10^{-31}}{16\times10^{-20}\times5\times10^{-3}}=\frac{72\times10^{-25}}{8\times10^{-22}}=9\times10^{-3}\ m$$

3)

$$T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi\times9\times10^{-3}}{8\times10^{6}}=7\times10^{-9}\ s$$

المسألة (16):

لدينا إطار مربّع الشكل مساحة سطحه $s = 25\,\text{cm}^2$ يحوي 50 لفّة من سلك نحاسيّ معزول نعلّقه بسلك رفيع عديم الفتل وفق محوره الشاقوليّ ونخضعه لحقل مغناطيسيّ منتظم خطوطه أفقيّة شدّته $B = 10^{-2}\,\text{T}$ بحيث يكون مستوي الإطار يوازي منحى الحقل $\vec{B}$ عند عدم مرور تيّار، نمرّر في الإطار تيّاراً كهربائيّاً شدّته $I = 5\,\text{A}$ **المطلوب:**

1. احسب شدّة القوّة الكهرطيسيّة المؤثّرة في كلّ من الضّلعين الشاقوليّين لحظة مرور التيّار.
2. احسب عزم المزدوجة الكهرطيسيّة المؤثّرة في الإطار لحظة إمرار التيّار السابق.
3. احسب عمل المزدوجة الكهرطيسيّة عندما ينتقل الإطار من وضعه السّابق إلى وضع التّوازن المستقرّ.
4. نستبدل سلك التّعليق بسلك فتل ثابت فتله k لنشكّل مقياساً غلفانيّاً ونمرّر في الإطار تيّاراً كهربائيّاً شدّته ثابتة $2\,\text{mA}$ فيدور الإطار بزاوية $0.02\,\text{rad}$ ويتوازن. استنتج بالرموز علاقة ثابت فتل السلك k واحسب قيمته، ثمّ احسب قيمة ثابت المقياس الغلفانيّ G.
5. نزيد حساسيّة المقياس 10 مرّات من أجل التيّار نفسه، احسب ثابت فتل سلك التعليق بالوضع الجديد.

(يهمل تأثير الحقل المغناطيسيّ الأرضيّ)

(1

$$L = \sqrt{s} = \sqrt{25} = 5\,cm \quad ، \theta = \frac{\pi}{2}\,rad$$

$$F = NILB\sin\theta$$

$$= 50 \times 5 \times 5 \times 10^{-2} \times 10^{-2} \times 1 = 125 \times 10^{-3}\,N$$

(2

$$\alpha = \frac{\pi}{2}\,\text{rad}$$

$$\Gamma_{\Delta} = NIsB\sin\alpha$$

$$= 50 \times 5 \times 25 \times 10^{-4} \times 10^{-2} \times 1$$

$$= 625 \times 10^{-5}\,m.N$$

(3

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2}\,rad\,, \alpha_2 = 0\,rad$$

$$W = I\Delta\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1)$$

$$W = INBs(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)$$

$$= 5 \times 50 \times 10^{-2} \times 25 \times 10^{-4} \times (1 - 0)$$

$$= 625 \times 10^{-5}\,J$$

4) $\sum \Gamma_{\Delta} = 0 \Rightarrow \Gamma_{\Delta} + \Gamma'_{\vec{\eta}/\Delta} = 0$

$$NIsB \sin\alpha - k\theta' = 0$$

$$\alpha + \theta' = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin\alpha = \sin(\frac{\pi}{2} - \theta') = \cos\theta'$$

$\theta' = 0.02\, rad < 0.24\, rad \Rightarrow \theta'$: صغيرة $\Rightarrow \cos\theta' = 1 \Rightarrow \sin\alpha = 1$

$$NIsB = k\theta' \Rightarrow k = \frac{NIsB}{\theta'}$$

$$= \frac{50 \times 2 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^{-4} \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-2}}$$

$$= 125 \times 10^{-6}\, m.N.rad^{-1}$$

$$G = \frac{\theta'}{I} = \frac{2 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-3}} = 10\, rad.A^{-1}$$

5) ثابت فتل السلك يتناسب عكساً مع ثابت الغلفاني: $G = \frac{NBs}{k}$

$$G' = 10G \Rightarrow k' = \frac{k}{10} = \frac{125 \times 10^{-6}}{10}$$

$$= 125 \times 10^{-7}\, m.N.rad^{-1}$$

المسألة (17):

ملفّ مستطيل مساحته $200\,cm^2$ يتكوّن من 100 لفّة يمرّ فيه تيّار شدّته 3A، وضع في حقل مغناطيسيّ منتظم شدّته 0.1T احسب عزم المزدوجة الكهرطيسيّة المؤثّرة عليه عندما يكون مستوي الملفّ يصنع زاوية 60° مع خطوط الحقل المغناطيسيّ.

الزاوية α هي الزاوية التي يصنعها شعاع الحقل المغناطيسي مع المستقيم العمودي على مستوي الملف (الناظم)

وبما أن خطوط الحقل المغناطيسي تصنع زاوية °60 مع مستوي الملف:

$$\alpha = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

$$\Gamma_\Delta = NIsB\sin\alpha$$

$$= 100 \times 3 \times 200 \times 10^{-4} \times 10^{-1} \times \frac{1}{2}$$

$$= 3 \times 10^{-1}\ m.N$$

المسألة (18):

وشيعة طولها $30\,\text{cm}$ ومساحة مقطعها $3\times10^{-2}\,\text{m}^2$ وذاتيَّتها $L=5\times10^{-3}\,\text{H}$

1. احسب عدد لفّاتها.
2. نمرِّر في الوشيعة تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً شدّته $15\,\text{A}$ احسب الطاقة الكهرطيسيَّة المختزنة في الوشيعة.
3. نجعل شدَّة التيّار تتناقص بانتظام من $20\,\text{A}$ إلى الصفر خلال $0.5\,\text{s}$ احسب القيمة الجبريَّة للقوَّة المحرِّكة الكهربائيَّة المتحرِّضة في الوشيعة وحدِّد جهة التيّار المتحرِّض.
4. نمرِّر في سلك الوشيعة تيّاراً كهربائيّاً شدّته اللحظيَّة مقدَّرة بالأمبير $\bar{i}=20-5t$ ، احسب القيمة الجبريَّة للقوَّة المحرِّكة الكهربائيَّة التحريضيَّة الذاتيَّة الناشئة فيها.

(نهمل تأثير الحقل المغناطيسيِّ الأرضيّ)

1) $$L=4\pi\times10^{-7}\frac{N^2s}{\ell}\Rightarrow 5\times10^{-3}=4\pi\times10^{-7}\frac{N^2\times3\times10^{-2}}{3\times10^{-1}}$$

$$\Rightarrow 5\times10^{-3}=4\pi\times10^{-8}N^2\Rightarrow N^2=\frac{5\times10^5}{12.5}=4\times10^4$$

$$\Rightarrow N=\sqrt{4\times10^4}=200$$ لفة

2) $$E_L=\frac{1}{2}LI^2=\frac{1}{2}\times5\times10^{-3}\times(15)^2=562.5\times10^{-3}=0.5625\,J$$

3) $$B=4\pi\times10^{-7}\frac{NI}{\ell}=4\pi\times10^{-7}\times\frac{200\times20}{3\times10^{-1}}=\frac{5}{300}\,T$$

$$\Delta\Phi=\Phi_2-\Phi_1=0-NBs\cos\alpha=-200\times\frac{5}{300}\times3\times10^{-2}\times1$$

$$\Delta\Phi=-0.1\,weber$$

$$\varepsilon=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{0.1}{0.5}=0.2\,V$$

$\varepsilon>0$: جهة الحقل المغناطيسي المتحرض ذاتياً بجهة الحقل المحرّض (الحقل $\vec{B}$ الناتج عن مرور التيار $20\,A$ في الوشيعة)، وجهة التيار المتولد بجهة التفاف أصابع يد يمنى إبهامها بجهة الحقل المتحرض

4) $$\varepsilon=-L(i)'_t=-5\times10^{-3}(-5)=25\times10^{-3}\,V$$