

筆試試題（二）參考解

【第一題參考解】

- (a) 若將墊板作為參考座標系，則墊板相對於桌面向右的加速度 a_p 可視為墊板座標系中一個額外向左的加速度力場，也就是在墊板座標系中，木塊除了受到一個向下的重力加速度之外，還受到一個向左的加速度 a_p 。因此若要讓木塊自墊板拉動之初就與墊板間始終保持滑動，有須滿足兩個條件：

- (1) 在墊板座標系中，木塊所受向左的初始力要大於靜摩擦力：

$$F_i = ma_{p(i)} > mg\mu_s \Rightarrow a_{p(i)} > g\mu_s$$

- (2) 在之後的滑動過程中，墊板相對於桌面向右的速率必須始終大於木塊相對於桌面向右的速率：

由於木塊相對於桌面向右的速率是由方向向右的動摩擦力所造成的，也就是其任一瞬時 t 的速率為：

$$v_p > v_{\text{木}} = a_{\text{木}} t = \frac{f_k}{m} t = \frac{mg\mu_k}{m} t = g\mu_k t \Rightarrow v_p > g\mu_k t$$

註：學生很可能會將上述第二個條件，誤設如下，給分標準如下：

- (2*) 開始之後任一瞬時，墊板相對於桌面向右的加速度為：

$$a_p > g\mu_k$$

若有寫(1)，則這個條件為充要條件，但非必要條件，故只給 1 分。

若(1)沒有寫，則這個條件並不能保證滑動，故不給分。

- (2**) 開始之後任一瞬時，墊板所受向右的拉力等於動摩擦力：

$$F = ma = f_k = mg\mu_k \Rightarrow a = g\mu_k$$

無論(1)是否成立，這個條件並不能保證滑動，故不給分。

- (b) 木塊自始即滑動，故滑動摩擦力造成其向右的加速度為

$$a = g\mu_k$$

此加速度將木塊加速至與墊板相同速率 V 後木塊即相對於墊板停止下來，則

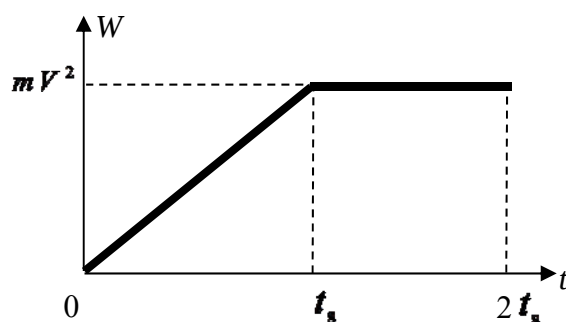
$$V^2 = 2as = 2g\mu_k S \Rightarrow S = \frac{V^2}{2g\mu_k}$$

- (c) 在墊板的座標係中，木塊的初速為 V 、末速為零，加速度同上，

故位移同上，故墊板相對於桌面的總位移為上述位移的兩倍，因此所作的總功為木塊相對於桌面之最終動能的兩倍，即

$$2 \cdot \frac{1}{2} m V^2 = m V^2$$

然而過程中，施於墊板的力大小即為木塊施於墊板的摩擦力(方向相反)、墊板相對於桌面為等速 V ，故位移隨時間 t 呈線性增加，以致所施的功 W 亦隨時間呈線性增加，所以「拉墊板的外力對系統所作之總功 W 」隨時間 t 的變化圖為：(6%)



- (d) 本題有好幾種解法，其中一個是以木塊左下角為支點、在墊板座標系中來考慮，此時向左力場及重力所造成的兩個力矩必須相互抵消，設質心到支點的距離為 R ，則：

$$m a_p R \sin 60^\circ = m g R \cos 60^\circ \Rightarrow a_p = g \cot 60^\circ = \boxed{\frac{g}{\sqrt{3}}}$$

- (e) 要確保此情況發生，則摩擦力要夠大，即

$$m g \mu_s > m a_p = m \frac{g}{\sqrt{3}} \Rightarrow \boxed{\mu_s > \frac{1}{\sqrt{3}}}$$

- (f) 以木塊左下角為支點、在墊板座標系中來考慮，若要逆時針旋轉，必須滿足兩個條件：

- (1) 此時向左力場所造成的力矩必須大於重力所造成的力矩，設質心到支點的距離為 R ，則：

$$m a_p R \sin \theta > m g R \cos \theta \Rightarrow a_p > g \cot \theta$$

上式中的角度值在過程中會由 45° 增為 135° ，即 $\cot \theta$ 的值會由 1 減為 0 再減為 -1 ，故可得第一個條件為

$$a_p > g \quad (2\%)$$

- (2) 因題目要求過程中無滑動，因此必須要求在初始時：

$$a_p \leq g \mu_s \quad (1\%)$$

過程中，由於有力矩造成逆時針轉動，故質心受有一向上及向左的淨加速度，以致正向力大於重力，因此只要上式一滿

足，在過程中就不會有滑動。
綜合以上兩項條件，可得：

$$g < a_p \leq g\mu_s$$

(g) 若上式要成立，則必須要求

$$g < g\mu_s \Rightarrow \mu_s > 1$$

【第二題參考解】

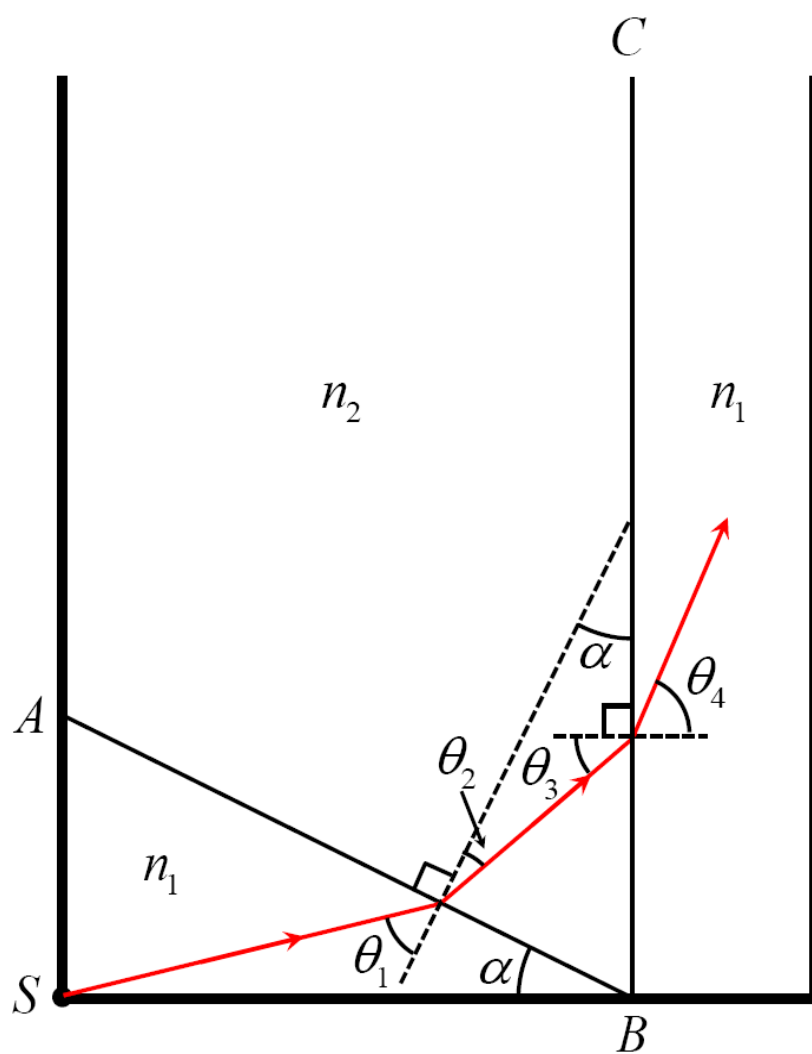


圖 2

參考圖2，光線由S出發，到達AB界面時發生折射。由折射定律知

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\Rightarrow \sqrt{2} \sin \theta_1 = \sqrt{10} \sin \theta_2 \quad (1)$$

則由(1)式得

$$\sin \theta_2 = \frac{1}{\sqrt{5}} \sin \theta_1 \quad (2)$$

$$\Rightarrow \cos \theta_2 = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_2} = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{\sqrt{5}} \sin \theta_1 \right)^2} = \frac{1}{\sqrt{5}} \sqrt{5 - \sin^2 \theta_1} \quad (3)$$

光線到達BC界面時再次折射，由折射定律知

$$n_2 \sin \theta_3 = n_1 \sin \theta_4$$

$$\Rightarrow \sqrt{10} \sin \theta_3 = \sqrt{2} \sin \theta_4$$

發生全反射的臨界角 θ_c 滿足

$$\sqrt{10} \sin \theta_c = \sqrt{2} \sin \frac{\pi}{2}$$

$$\Rightarrow \sin \theta_c = \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (4)$$

若光線要由BC界面射出，必須

$$\theta_3 < \theta_c$$

即

$$\sin \theta_3 < \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (5)$$

由圖2知

$$\theta_3 = \pi - (\pi/2 + \theta_2 + \alpha) = \pi/2 - (\theta_2 + \alpha)$$

$$\Rightarrow \sin \theta_3 = \sin [\pi/2 - (\theta_2 + \alpha)] = \cos(\theta_2 + \alpha) = \cos \theta_2 \cos \alpha - \sin \theta_2 \sin \alpha$$

將(2)式與(3)式代入上式得

$$\sin \theta_3 = \frac{1}{\sqrt{5}} \sqrt{5 - \sin^2 \theta_1} \cos \alpha - \frac{1}{\sqrt{5}} \sin \theta_1 \sin \alpha \quad (6)$$

由(6)式可知， θ_3 隨第一個入射角 θ_1 而變， θ_1 增大時， θ_3 減小。令最大的入射角 θ_1 為 $\theta_{1,\max}$ ，其所對應的最小的 θ_3 為 $\theta_{3,\min}$ 。如果 $\theta_{3,\min}$ 比臨界角 θ_c 還要大，則完全不會有光線從BC界面射出。因此，若要有部分光線從BC界面射出，至少必須滿足

$$\theta_{3,\min} < \theta_c \Rightarrow \sin \theta_{3,\min} < \sin \theta_c = \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (7)$$

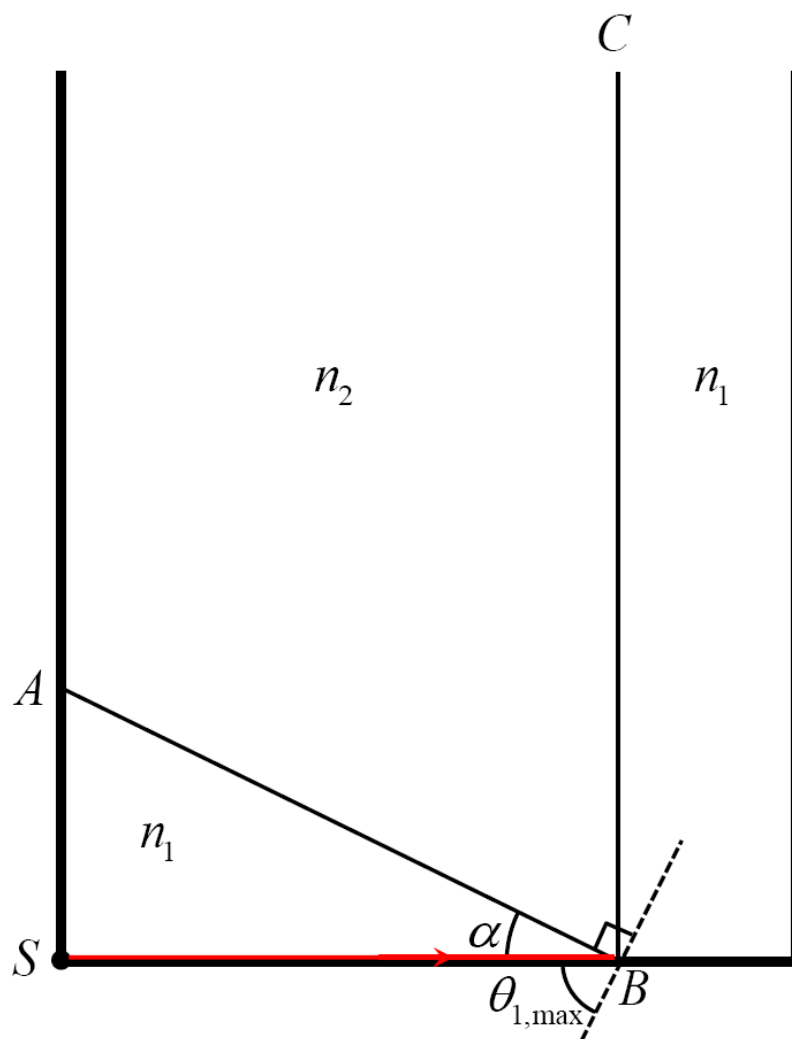


圖 3

由圖3知，當 S 發出的光以近乎平行容器底部平面的方向入射 AB 界面時，入射角為最大，此時

$$\theta_{1,\max} = \frac{\pi}{2} - \alpha \quad (8)$$

$$\Rightarrow \sin \theta_{1,\max} = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \cos \alpha \quad (9)$$

由(6)式可知 $\theta_{1,\max}$ 對應的 $\theta_{3,\min}$ 為

$$\sin \theta_{3,\min} = \frac{1}{\sqrt{5}} \sqrt{5 - \sin^2 \theta_{1,\max}} \cos \alpha - \frac{1}{\sqrt{5}} \sin \theta_{1,\max} \sin \alpha$$

將(9)式代入上式得

$$\sin \theta_{3,\min} = \frac{1}{\sqrt{5}} \sqrt{5 - \cos^2 \alpha} \cos \alpha - \frac{1}{\sqrt{5}} \cos \alpha \sin \alpha$$

由(7)式得

$$\frac{1}{\sqrt{5}} \sqrt{5 - \cos^2 \alpha} \cos \alpha - \frac{1}{\sqrt{5}} \cos \alpha \sin \alpha < \frac{1}{\sqrt{5}}$$

$$\Rightarrow \sqrt{5 - \cos^2 \alpha} \cos \alpha - \cos \alpha \sin \alpha < 1$$

$$\Rightarrow \sqrt{5 - \cos^2 \alpha} \cos \alpha < 1 + \cos \alpha \sin \alpha$$

$$\Rightarrow (5 - \cos^2 \alpha) \cos^2 \alpha < 1 + 2 \cos \alpha \sin \alpha + \cos^2 \alpha (1 - \cos^2 \alpha)$$

$$\Rightarrow (5 - 1) \cos^2 \alpha < 1 + 2 \cos \alpha \sin \alpha = \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha + 2 \cos \alpha \sin \alpha$$

$$\Rightarrow 4 \cos^2 \alpha < (\cos \alpha + \sin \alpha)^2$$

$$\Rightarrow 2 \cos \alpha < \cos \alpha + \sin \alpha$$

$$\Rightarrow 2 < 1 + \tan \alpha$$

$$\Rightarrow \tan \alpha > 1$$

$$\Rightarrow \boxed{\alpha > 45^\circ}$$

此為 α 應滿足之條件。

【第三題參考解】

(a) 壓力變化做的功為：

$$W = F\Delta x = (\Delta PA) \cdot (\Delta v \Delta t)$$

那麼單位面積單位時間內，聲波傳導的功率 q ，或稱能量密度 (energy flux density)，就是

$$\text{Energy flux density } q = \frac{W}{A\Delta t} = \Delta P \Delta v$$

(b) 在時間區間 Δt 內，一個波會通過體積為

$\Delta(\text{volume}) = (v_{\text{sound}} \Delta t)A$ 的流體，使這個體積內的流體增加衝量 Δp ：

$$\Delta p \equiv \Delta(mv) = (v_{\text{sound}} \Delta t)A\rho \Delta v$$

又

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$F = \Delta PA = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{(v_{\text{sound}} \Delta t)A\rho \Delta v}{\Delta t}$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow \Delta P &= v_{\text{sound}} \rho \Delta v \\ &= v_{\text{sound}} (\rho_0 + \Delta \rho) \Delta v \quad (\Delta \rho \ll \rho_0) \\ &\approx v_{\text{sound}} \rho_0 \Delta v\end{aligned}$$

得到壓力變化 ΔP 與流體震動速度 Δv 的關係為：

$$\Delta P = v_{\text{sound}} \rho \Delta v \approx v_{\text{sound}} \rho_0 \Delta v$$

$$\begin{aligned}\text{(c)} \quad q &= \Delta P \Delta v \\ &= (v_{\text{sound}} \rho_0 \Delta v) \Delta v \\ &= v_{\text{sound}} \rho_0 (\Delta v)^2 \\ &= v_{\text{sound}} u\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{(d)} \quad \Delta P &= \frac{\partial P}{\partial \rho} \Delta \rho = v_{\text{sound}}^2 \Delta \rho \\ \Rightarrow \Delta \rho &= \frac{\Delta P}{v_{\text{sound}}^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}j &= \Delta \rho \Delta v \text{ (use the above result to substitute } \Delta \rho) \\ &= \frac{\Delta P}{v_{\text{sound}}^2} \Delta v \text{ (note: } q = \Delta P \Delta v) \\ &= \frac{q}{v_{\text{sound}}^2}\end{aligned}$$

(e) (i)動量密度與能量密度的關係：

$$\begin{aligned}j &= \frac{q}{v_{sound}^2} \\&= \frac{v_{sound} u}{v_{sound}^2} \\&= \frac{u}{v_{sound}}\end{aligned}$$

(ii)動量與能量的關係：

$$\begin{aligned}P &\equiv \int j dV \\&= \int \frac{u}{v_{sound}} dV \\&= \frac{E}{v_{sound}} \\&\Rightarrow E = p v_{sound}\end{aligned}$$

(iii)可壓縮流體中聲波的動量與能量關係 $E = p v_{sound}$ 與光波的能量關係 $E = p c$ 同樣是正比關係，且正比的係數同樣是波速。

(iv)如果有一聲波的能量為 $E = \hbar \omega$ (其中 $\omega = v_{sound} k, k = \frac{2\pi}{\lambda}$)，則聲波的動量 p

$$\begin{aligned}p &= \frac{E}{v_{sound}} \\&= \frac{\hbar \omega}{v_{sound}} \\&= \hbar k\end{aligned}$$

【第四題參考解】

(a)

$$\begin{aligned} V(\infty) - V(R_1) &= - \int_{R_1}^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{r} = - \int_{R_1}^{\infty} \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr \\ &= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \Big|_{R_1}^{\infty} = - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_1} \end{aligned}$$

設 $V(\infty) = 0$ ，金屬球殼表面電位

$$V(R_1) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_1}$$

由於帶電孤立導體內部電場為零，整個導體位在同一電位。因此金屬球殼中心電位

$$V(r=0) = V(R_1) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_1}$$

(b) 帶電金屬球殼之電容

$$C = \frac{Q}{V(R_1)} = 4\pi\epsilon_0 R_1$$

(c) 電場總能量

$$\begin{aligned} U_E &= \int_{R_1}^{\infty} \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 dV \\ &= \int_{R_1}^{\infty} \frac{1}{2} \epsilon_0 \left(\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right)^2 4\pi r^2 dr \\ &= \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0} \int_{R_1}^{\infty} \frac{1}{r^2} dr = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0} \frac{1}{R_1} \end{aligned}$$

(d) 正負電金屬球殼間的電位差(取正值)

$$\Delta V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

(e)

$$\begin{aligned} \because Q &= \frac{4\pi\epsilon_0 \Delta V}{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)}, \quad E(r) = \frac{4\pi\epsilon_0 \Delta V}{4\pi\epsilon_0 r^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)} \\ &= \frac{\Delta V}{r^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)} \end{aligned}$$

$$\therefore E(R_1) = \frac{\Delta V}{R_1^2 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)} = \frac{(\Delta V)R_2}{R_1 R_2 - R_1^2}$$

由 $\frac{dE(R_1)}{dR_1} = 0$ 且當 $R_1 = \frac{R_2}{2}$, $E(R_1)$ 為最小值 , 其值為

$$E_{\min} = \frac{4\Delta V}{R_2}$$

【第五題參考解】

一維彈性碰撞，當兩個物體正面碰撞時，因無外力與能量耗損，由動量及動能在碰撞前後不變，可得

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i} \quad v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

情況 1： $m_1 \ll m_2$ ($v_{2i}=0$) 情況 2： $m_1 = m_2$ ($v_{2i}=0$) 情況 3： $m_1 \gg m_2$ ($v_{2i}=0$)

$$v_{1f} = -v_{1i} \\ v_{2f} = 0$$

$$v_{1f} = 0 \\ v_{2f} = v_{1i}$$

$$v_{1f} = v_{1i} \\ v_{2f} = 2v_{1i}$$

本題中 B 球與 A 球的碰撞，如情況 1，碰撞後，B 球會以速度大小 v 向右行進，接著與 C 球的碰撞，如情況 3，碰撞後，B 球以速度大小 v ，C 球則以速度大小 $2v$ 向右行進。

接著 C 球與 D, E 兩球($m_D = m_E = m_C$)發生對稱性彈性碰撞。

碰撞前，C 球速度大小 $v_{Ci} = 2v$

碰撞後，C, D, E 球速度大小為 v_{Cf} , v_D 與 v_E

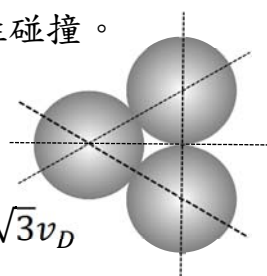
由碰撞前後動量與動能關係式，可得

$$v_{Ci} = v_{Cf} + v_D \cos 30^\circ + v_E \cos 30^\circ \Rightarrow v_{Ci} = v_{Cf} + \sqrt{3}v_D$$

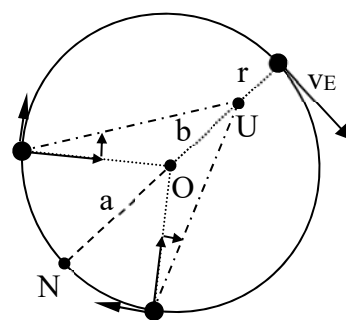
$$v_{Ci}^2 = v_{Cf}^2 + v_D^2 + v_E^2 \Rightarrow v_{Ci}^2 = v_{Cf}^2 + 2v_D^2$$

$$\Rightarrow v_{Ci}^2 = (v_{Ci} - \sqrt{3}v_D)^2 + 2v_D^2 \Rightarrow v_D = \frac{2\sqrt{3}v_{Ci}}{5}$$

$$v_E = v_D = \frac{2\sqrt{3}v_{Ci}}{5} = \frac{4\sqrt{3}v}{5}$$



- (a) 接著 E 球進入光滑圓形凹槽(入射方向為圓之切線方向)，在第一個半圓時，引力做負功，直到 E 球到達 N 點，接下來的半圓，引力做正功，所以 v_E 至少要讓 E 球撐過 N 點，接著即可週而復始。(變速率圓周運動，引力指向圓心的分量與凹槽兩側正向力的合力提供向心力，另一分量則做正功或負功)



$$\frac{1}{2}mv_E^2 > \frac{-zm}{(a+b)} - \frac{-zm}{(a-b)}$$

$$v_E > \sqrt{\frac{4zb}{(a^2 - b^2)}}$$

$$\Rightarrow v > \frac{5}{4} \sqrt{\frac{4zb}{3(a^2 - b^2)}} \text{ or } \frac{5}{2} \sqrt{\frac{zb}{3(a^2 - b^2)}} \text{ or } 5 \sqrt{\frac{zb}{12(a^2 - b^2)}}$$

- (b) D 球與質量相同且原先靜止的 F 球發生二維彈性碰撞，由於 $v_{Fi} = 0$ ，碰撞前後的動量及動能關係式為

$$\vec{v}_{Di} = \vec{v}_{Df} + \vec{v}_{Ff}$$

$$v_{Di}^2 = v_{Df}^2 + v_{Ff}^2$$

所求的角度 θ 與 $\vec{v}_{Df}$ 及 $\vec{v}_{Ff}$ 的夾角有關，夾角的資訊可從兩向量內積得知，將動量關係式等號兩邊對自身內積，可得

$$\begin{aligned}\vec{v}_{Di} \cdot \vec{v}_{Di} &= (\vec{v}_{Df} + \vec{v}_{Ff}) \cdot (\vec{v}_{Df} + \vec{v}_{Ff}) \\ &= \vec{v}_{Df} \cdot \vec{v}_{Df} + \vec{v}_{Ff} \cdot \vec{v}_{Ff} + 2\vec{v}_{Df} \cdot \vec{v}_{Ff}\end{aligned}$$

即

$$v_{Di}^2 = v_{Df}^2 + v_{Ff}^2 + 2v_{Df}v_{Ff}\cos(\theta + 41^\circ)$$

對比動能關係式，可得

$$2v_{Df}v_{Ff}\cos(\theta + 41^\circ) = 0$$

因兩球末速皆不為零，可得

$$\theta = 49^\circ$$

- (c) D 球以速度大小 v_{D2} ，與質量相同且原先靜止的 G 球發生正向彈性碰撞，如同上述的情況 2，碰撞後，D 球靜止，此時 G 球速度大小為 v_{G2} 。接著即將開始拉長彈簧，但是，由於彈簧伸長後小球會有徑向振盪，所以若要達到題目所言作等速率圓周運動，彈簧伸長量必須為零。

意即，彈簧 k 值相對於小球的 m, v 值，會大到讓彈簧幾乎完全沒有伸長量，才能符合題目所言作等速率圓周運動的情況。

另外，若是要討論“近似”作等速率圓周運動的情況，則是指在徑向振盪幅度極小情況下(徑向速度亦極小)。設此時 G 球切線速度大小為 v_{G2} ，彈簧伸長量為 x ，則向心力關係式為

$$kx = \frac{m_G v_{G2}^2}{l_0 + x} \Rightarrow m_G v_{G2}^2 = kl_0 x + kx^2$$

動位能關係式如下，其中為 E_{kr} 為徑向動能極小忽略不計，

$$\frac{1}{2}m_G v_{D2}^2 = \frac{1}{2}m_G v_{G2}^2 + \frac{1}{2}kx^2 + E_{kr}$$

$$\Rightarrow m_G v_{D2}^2 = kl_0 x + kx^2 + kx^2$$

$$\Rightarrow 2kx^2 + kl_0 x - m_G v_{D2}^2 = 0$$

$$\Rightarrow x = \frac{-kl_0 + \sqrt{k^2 l_0^2 + 8km_G v_{D2}^2}}{4k} \text{ or } \frac{-l_0}{4} + \sqrt{\frac{l_0^2}{16} + \frac{m_G v_{D2}^2}{2k}}$$

由上式可再次確認，當彈簧 k 值遠大於小球的 m, v 值時，伸長量接近零。

(d) F 球與質量相同的 H, I 兩球發生對稱性彈性碰撞，碰撞後 H, I 兩球速度大小 v_H, v_I 相同。

在 H 與 P 極短的完全非彈性碰撞期間，Q 保持靜止不動，僅需考量 H、P 的動量守恆，設完全非彈性碰撞完成瞬間，H、P 的共同速度為 u ，則

$$u = \frac{m_H v_H}{m_H + m_P}$$

在 H、P 完成碰撞後，H、P、Q 總動能的最小值為三質點系統的質心動能，意即，此時彈簧有最大壓縮量。

由動量守恆可得此系統的質心速度

$$v_{cm} = \frac{m_H v_H}{m_H + m_P + m_Q}$$

若彈簧之最大壓縮量為 x_1 ，則

$$\frac{1}{2} k x_1^2 = \frac{1}{2} (m_H + m_P) u^2 - \frac{1}{2} (m_H + m_P + m_Q) v_{cm}^2$$

代入後得

$$x_1^2 = \frac{m_H^2 v_H^2}{k} \left(\frac{1}{m_H + m_P} - \frac{1}{m_H + m_P + m_Q} \right)$$

同理

$$x_2^2 = \frac{m_I^2 v_I^2}{k} \left(\frac{1}{m_I + m_J} - \frac{1}{m_I + m_J + m_S} \right)$$

由於

$$v_H = v_I, m_H = m_I = m_F, m_P = m_Q = m_F,$$

$$m_J = 2m_F, m_S = 3m_F$$

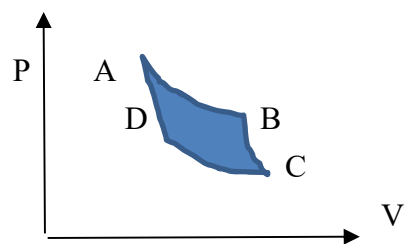
可得

$$\begin{aligned} \frac{x_2^2}{x_1^2} &= \frac{\frac{1}{m_I + m_J} - \frac{1}{m_I + m_J + m_S}}{\frac{1}{m_H + m_P} - \frac{1}{m_H + m_P + m_Q}} = \frac{\frac{1}{1+2} - \frac{1}{1+2+3}}{\frac{1}{1+1} - \frac{1}{1+1+1}} \\ &= \frac{\frac{1}{3} - \frac{1}{6}}{\frac{1}{2} - \frac{1}{3}} = 1 \end{aligned}$$

x_2 是 x_1 的 1 倍。

【第六題參考解】

(a) P-V 圖：



(b-1) $|W|$ 單位為 $\text{kg}(\frac{\text{m}}{\text{sec}})^2$ ，因此 a 的單位為 $\text{kg}(\frac{\text{m}}{\text{sec}})^{-1}$, b 的單位為

$$\text{kg}(\frac{\text{m}}{\text{sec}})$$

(b-2)

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_{in}|} = \frac{T_S - T_O}{T_S} = \frac{av^3}{av^3 + bv} = \frac{1}{1 + E/v^2}$$

$$\rightarrow v = \sqrt{E \frac{T_S - T_O}{T_O}}$$

(b-3) (A)