

# 2020 年第 21 屆亞洲物理奧林匹亞競賽及 第 51 屆國際物理奧林匹亞競賽

國家代表隊初選考試

## 理論試題

2019 年 11 月 2 日

13 : 30~16 : 30

考試時間：三小時

### 〈〈注意事項〉〉

- 1、本試題包括填充題三十格及計算題兩大題，合計總分為 150 分。
- 2、填充題部分，請直接將答案填入指定之答案格內，未填入指定之位置者不予計分。
- 3、計算題部分，請在答案卷指定之位置作答。
- 4、可使用掌上型計算器（含科學工程式計算機）。
- 5、限以藍色或黑色原子筆作答。

2020 年第 21 屆亞洲物理奧林匹亞競賽  
及第 51 屆國際物理奧林匹亞競賽  
國家代表隊初選考試試題

※本試題含填充題和計算題兩部分，總分為 150 分，考試時間三小時。

壹、填充題(每格 4 分，共 30 格，合計 120 分)

- 一、垂直上拋一質量為 1.0 公斤之橡皮球，在運動過程中，橡皮球遭遇到空氣阻力  $f$ ，且  $f$  與橡皮球之速度  $v$  的量值成正比，其函數關係為  $f = -\alpha v$ ， $\alpha$  為阻力係數且  $\alpha > 0$ 。已知橡皮球自拋出後之速度與時間關係如下數據圖所示。設重力加速度為  $10 \text{ m/s}^2$ ；則阻力係數  $\alpha = \underline{\quad(1)\quad} \text{ kg/s}$ 。在拋出後的第七秒，橡皮球是在哪一個位置？(a)原拋出位置上方；(b)原拋出位置；(c)原拋出位置下方。答案：    (2)    。

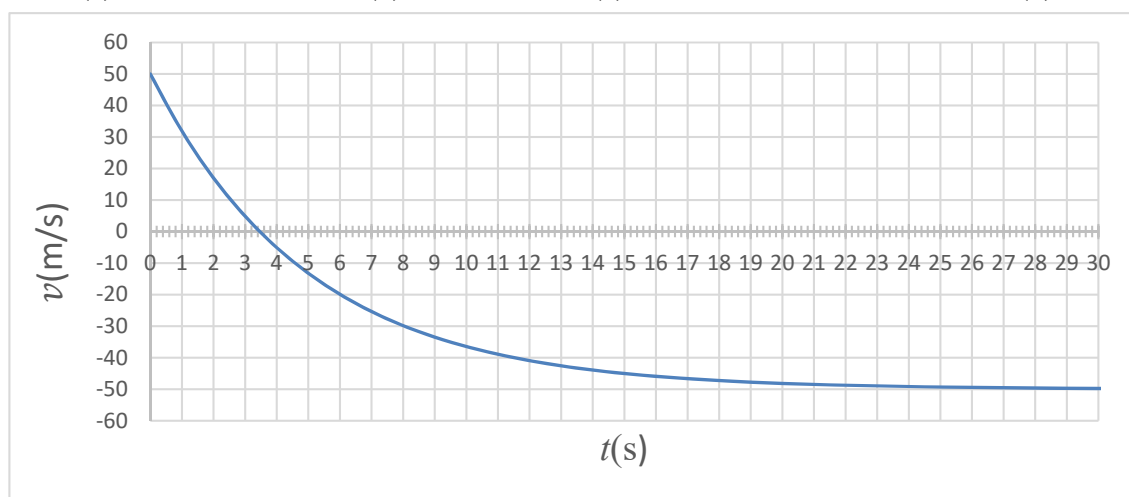


圖 1

- 二、一直徑為 3.0 mm 雨滴，從距離地面 1200 m 高處往下掉落。假設雨滴掉落時為球狀，已知水的密度為  $1000 \text{ kg/m}^3$ 、空氣密度為  $1.2 \text{ kg/m}^3$ ，且球形雨滴在空氣中的拖曳係數為 0.60；則雨滴的終端速度為     (3)     m/s。

註：拖曳力的公式為  $D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$ 。其中， $D$  為拖曳力， $C$  為拖曳係數， $\rho$  為空氣密度， $A$  為有效截面積， $v$  為速度。

- 三、台鐵某列車以 90 km/h 的等速率轉彎進入直線軌道當時，司機吃驚地發現前方 600 m 處有一個貨櫃火車頭，恰巧也從旁側軌道併入同一軌道，且正以 36 km/h 作等速度移動，兩車同向行駛；如圖 2 所示。列車司機見狀在 2 秒後踩下煞車。接下來台鐵列車以等減速度運動，且速率在 60 秒後降至 30 km/h，問此時客車跟貨櫃火車頭的距離為     (4)     m。

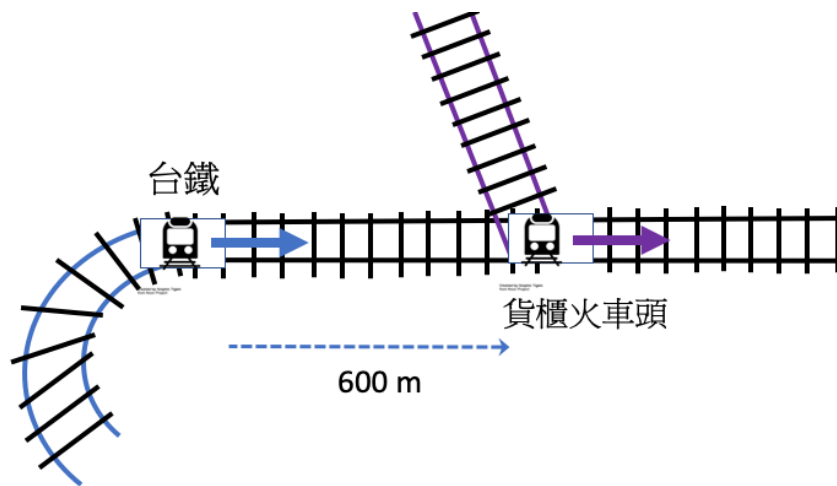


圖 2 台鐵司機看見貨櫃火車頭跟它進入相同軌道示意圖

四、在很多有關液體靜力學的實驗中，有一項著名的實驗稱為「帕斯卡木桶實驗」。實驗示意圖如圖 3 所示，在一半徑  $R$  為 21 公分、高  $H$  為 1.0 公尺且充滿水的木桶中，垂直插入一支內半徑  $r$  為 0.30 公分的細管，在細管中慢慢加水，當細管中的水柱恰好比桶面高 12 公尺時，木桶上蓋會爆開。問木桶上蓋在正要爆開前所受力的  $F =$  (5) ；木桶上蓋所受的力與加入細管中水的重量之比值  $\beta =$  (6) 。設重力加速度為  $10 \text{ m/s}^2$ 。

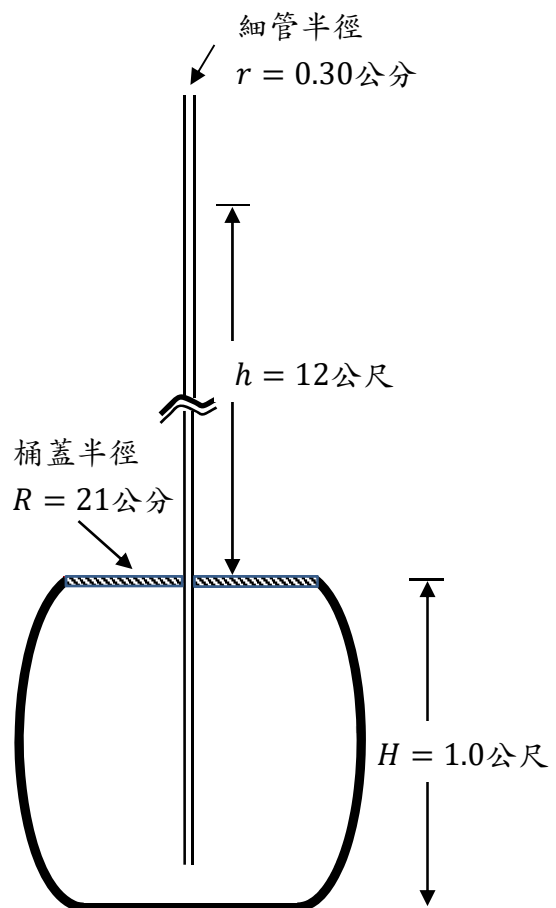


圖 3

五、一個連通管實驗裝置內裝有有甲、乙兩種不可壓縮，也不互溶的液體，密度分別為 $\rho_{\text{甲}}$ 、 $\rho_{\text{乙}}$ 。

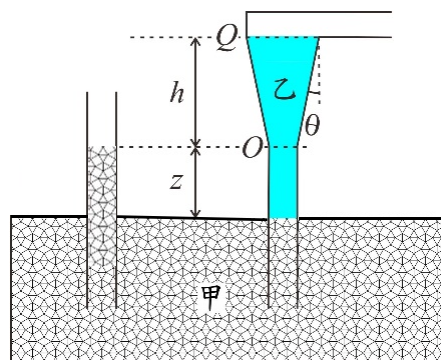


圖 4

- (a) 在靜止時兩種液體的液面位置如圖 4 所示，左管液面高度為  $z$ ，且左、右兩管的液面高度差為  $h$ ，試求  $h = \underline{\quad(7)\quad}$  (以  $\rho_{\text{甲}}$ 、 $\rho_{\text{乙}}$ 、 $z$  表示之。)

- (b) 在左側管子中對甲液體施力，使甲液體的液面以  $v_0$  的速率等速向下移動，在某一時間的液體位置圖如圖 5 所示。若左管的直徑為  $d$ ，右側直管在  $O$  點以下的直徑和左管相同，而橫管的直徑是右管在  $Q$  處的直徑之三分之一，試計算此時乙液體在右側橫管內的移動速率為  $\underline{\quad(8)\quad}$ 。

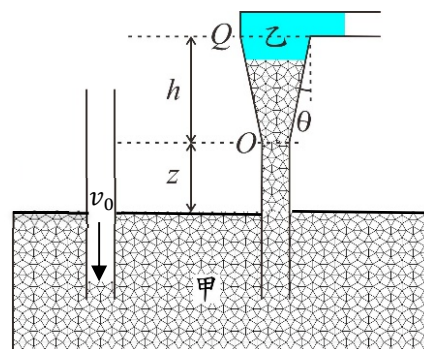


圖 5

- 六、有一長為  $\ell$ 、質量為  $M$  的均勻鐵桿，一端固定於  $A$  點，而且鐵桿以  $A$  點為支點，在鉛直面上轉動。鐵桿另一端上附有一質量為  $m$ 、體積可不計的小球，鐵桿初始位置與鉛垂線夾  $60^\circ$ ，如圖 6 所示。因重力作用系統繞  $A$  點擺動，當小球擺至最低點時，小球速率為  $\underline{\quad(9)\quad}$  m/s； $A$  點在鉛直方向受力的量值為  $\underline{\quad(10)\quad}$  N。

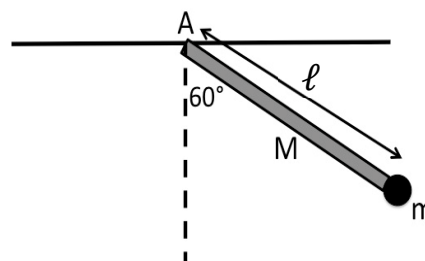


圖 6

註：均勻鐵桿繞其質心轉動之轉動慣量為  $M\ell^2/12$ ，繞其端點轉動之轉動慣量為  $M\ell^2/3$ 。

- 七、在絕熱容器中之理想氣體，其初始壓力為  $P_0$ 、體積為  $V_0$ ，先經過一自由膨脹過程，使得體積增加為  $3V_0$ ，然後再緩緩的進行絕熱壓縮至原來體積  $V_0$ ；這時壓力為  $3^{1/3} P_0$ 。(a) 上述第一階段自由膨脹過程，體積增加為  $3V_0$  時，氣體溫度為初始溫度的  $\underline{\quad(11)\quad}$  倍。  
(b) 若是由初始狀態經歷一個等熵過程後，使得理想氣體體積由  $V_0$  增加到  $5V_0$ ，則此時氣體的溫度是起初始溫度的  $\underline{\quad(12)\quad}$  倍。

- 八、一人造衛星以圓形軌道繞行地球，經過一段長時間後，因有些許空氣阻力造成該衛

星的總機械能減少了1焦耳；則該衛星的動能變化量為(13)焦耳。(用" + "值表示增加、" - "值代表減少)

九、一質量為 $m$ 的質點，置於一半徑為 $R$ 、面密度為 $\sigma$ 的半球殼球心位置；則該球殼作用於此質點的萬有引力為(14)；以重力常數 $G$ ， $m$ 和 $\sigma$ 表示之。

十、在一水平桌面上有一個質量為 $M$ 、半徑為 $R$ 的圓盤，圓盤繞著一個中心無摩擦的轉軸轉動，如圖 7 所示。沿著圓盤邊緣切線水平方向有一力 $\vec{F}$ 作用， $|\vec{F}| = F = \text{常數}$ 。已知圓盤繞中心軸的轉動慣量為 $\frac{1}{2}MR^2$ ，則(a)當桌面與圓盤間無摩擦時，圓盤轉動的角加速度為(15)，(b)若圓盤與桌面間的摩擦係數為 $\mu$ ，則 $F$ 必須大於(16)，圓盤才能夠發生轉動。

積分公式： $\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{(n+1)}$ ， $n \geq 1$

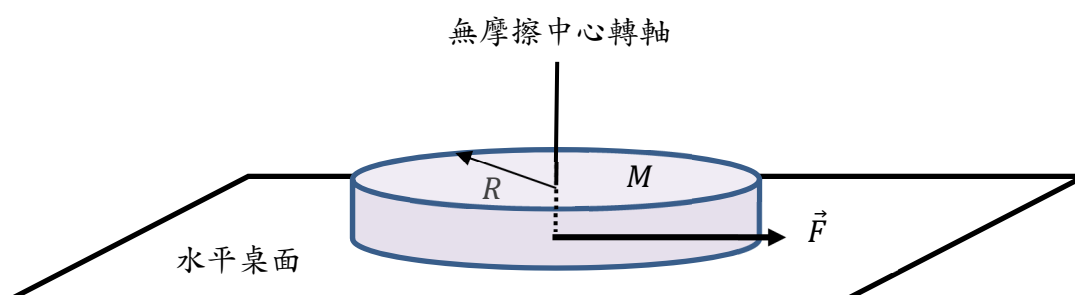


圖 7

十一、兩質量分別為 $m_1$ 、 $m_2$ 的立方體，置於光滑的水平桌面上；兩立方體間以輕質彈簧連接，彈簧彈性常數為 $k$ 。今以水平向右之常力 $F$ 施於立方體 $m_1$ 上，施力持續一段時間後，讓兩立方體由初始位置 $x_1$ 、 $x_2$ 各自產生 $\Delta x_1$ 、 $\Delta x_2$ 的位移之後；便移除此力（運動過程中不牽涉轉動）。

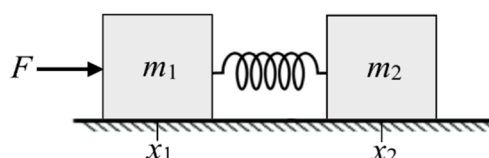


圖 8

產生 $\Delta x_1$ 、 $\Delta x_2$ 的位移所施力時間為(17)。移除施力後此系統（連接彈簧的兩立方體系統）之質心動能為(18)。

十二、重力輔助(Gravity Assists)是指利用行星與太空載具之間的重力與相對運動，改變太空載具的速度與軌道。假設太陽質量為 $M_0$ ，行星為質量 $M_1$ 與太空載具質量為 $m$ ，其中 $m \ll M_1 \ll M_0$ ；且三者在同一水平面上運動。當行星以速度 $\vec{V}$ 繞日運動，圖 9 顯示出 I 與 II 兩種可能的太空載具運動軌跡；且在行星座標系統下，遠離之太空載具以 $\vec{v}_1$ 接近行星，其後以 $\vec{v}_2$ 遠離行星。

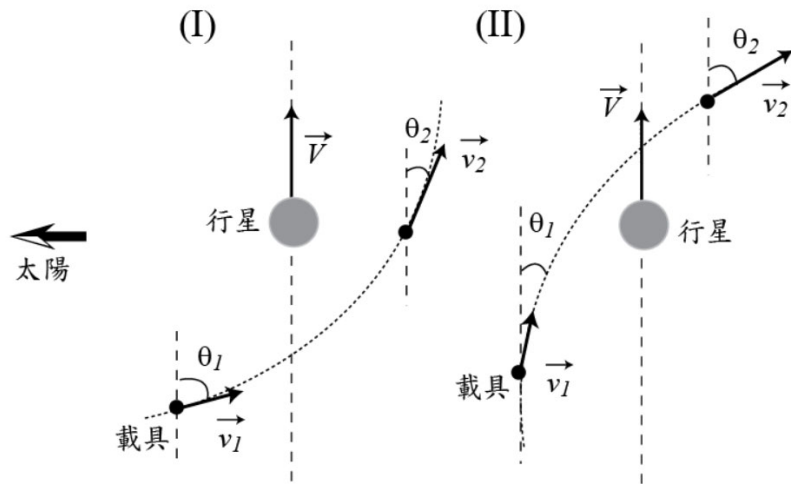


圖 9

- (a) 在行星座標系統下，太空載具行經行星的動能變化為\_\_\_\_(19)\_\_\_\_；  
 (b) 現在考慮在太陽座標系統下，太空載具的動能變化為\_\_\_\_(20)\_\_\_\_ (答案以  $m, \theta_1, \theta_2, \vec{V}, \vec{v}_1$  表示)；  
 (c) 太空載具行經行星時與行星的重力的交互作用可視為完全彈性碰撞過程。若  $\theta_1 = 180^\circ, \theta_2 = 0^\circ$ ，則太空載具行經行星後的所獲的速度為\_\_\_\_(21)\_\_\_\_。

十三、 考慮一個與外界絕熱的氣體容器，如圖 10(a)所示。其內部以一片導熱隔板分成 A、B 兩個氣室。初始時隔板以插銷固定住，兩氣室體積均為  $1 \text{ m}^3$ ；氣室 A 內之空氣壓力為  $300 \text{ kPa}$ ，溫度  $400 \text{ K}$ ；氣室 B 內之空氣  $1.5 \text{ MPa}$ ，溫度  $1400 \text{ K}$ 。空氣單位質量內能  $u(\text{kJ/kg})$  與溫度  $T(\text{K})$  的關係可參考圖 10(b)。現將插銷移除，隔板可以無摩擦自由運動，且空氣可以視為理想氣體；當達到熱力學平衡時容器內的溫度  $T = \underline{\hspace{2cm}}(22)\text{ K}$  與壓力  $P = \underline{\hspace{2cm}}(23)\text{ kPa}$ 。

註：通用氣體常數為  $R=8.314 \text{ J/K mol}$ ，1 莫耳(1 mole)空氣質量為  $0.02897 \text{ kg}$ 。

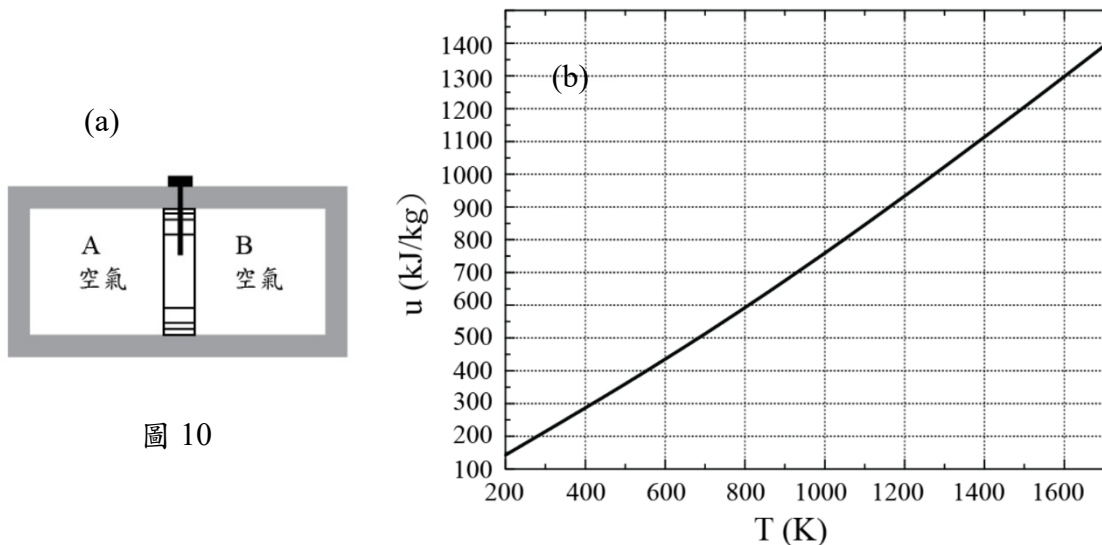


圖 10

十四、半徑 $R_0$ 的線圈上有厚度為 $d$ 的肥皂膜，肥皂膜的質量密度為 $\rho_s$ ，表面張力係數為 $\gamma$ 。另有一支吹肥皂泡用的吹氣管，吹氣管的半徑為 $R$  ( $R \ll R_0$ )，且吹氣管口貼近肥皂膜(距離遠小於 $R$ )，空氣的質量密度為 $\rho_g$ ，管中空氣的速度為 $v_g$ ，如圖 11 所示。實驗上已知 $v_g \geq v_c$ 時才能成功的吹出肥皂泡；而當 $v_g = v_c$ 時，肥皂膜上恰形成曲率半徑為 $R$ 的彎曲面，若此時肥皂膜受到吹氣管所施加的壓力差為 $P_c$ ，則 $P_c =$  \_\_\_\_\_ (24) \_\_\_\_\_，以 $R_0$ 、 $d$ 、 $\rho_s$ 、 $\gamma$ 表示之。

若 $v_c = A_0 \gamma^a \rho_g^b R^c$ ， $A_0$ 為比例常數，求 $a$ 、 $b$ 、 $c =$  \_\_\_\_\_ (25) \_\_\_\_\_。

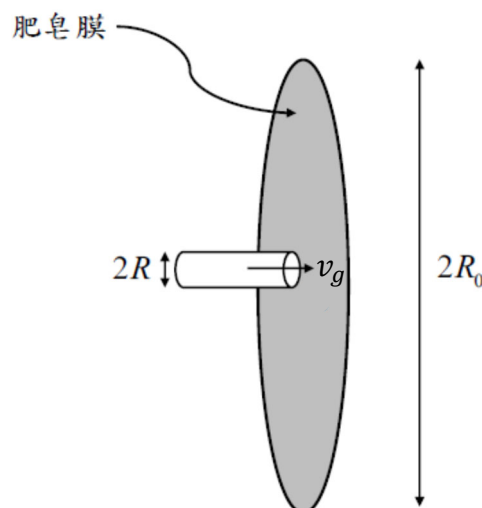


圖 11

十五、如圖 12 所示，一個置於光滑水平面上之靜止金屬箱中，有一小木塊以彈性常數各為 $k/2$ 與 $3k/2$ 之理想彈簧與金屬箱兩邊相連，小木塊原先處於平衡點，即箱內 $O$ 點；然而在 $t = 0$ 時，小木塊以初速 $v$ 開始向右運動。假設小木塊與金屬箱間也是光滑可不計摩擦，小木塊體積可忽略不計但質量為 $m$ ，又金屬箱的質量為 $8m$ ，則小木塊在金屬箱內進行振盪運動第 5 次經過 $O$ 點時(起始點不計)，金屬箱移動的距離為 \_\_\_\_\_ (26) \_\_\_\_\_。

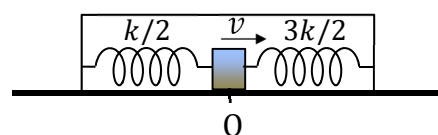


圖 12

十六、以聲波操控物體是一個新穎的無接觸式超控技術，其中聲波懸浮物體是聲波操控物體的基礎技術。一平版型物體可懸浮在產生平面聲波的振盪器上，假設懸浮之平板形物體不吸收聲波，則兩者間空氣膜的厚度為 $h(t) = h_0 + \delta h \sin \omega t$ ，其中 $h_0$ 為平板與振盪器的平均間距， $\delta h$ 為振盪器上下振動的振幅，振盪器的振盪角頻率為 $\omega$ ，如圖 13 所示。

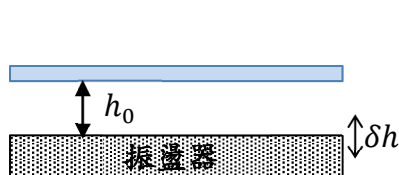


圖 13

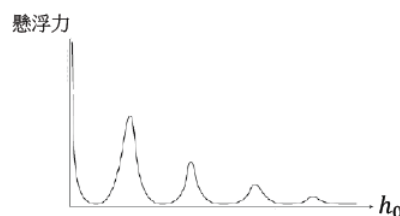


圖 14

(a)實驗上發現平板形物體所受之懸浮力，在某些特定距離 $h_0$ 達到極值，如圖 14 所示。假設聲波速度為 $c$ ，則兩連續懸浮力最大值的間距為 \_\_\_\_\_ (27) \_\_\_\_\_。

(b)若振盪器產生聲波的波長甚大於 $h_0$ ，中間空氣膜可以以理想氣體絕熱過程描述；

即 $PV^\gamma = \text{常數}$ ，其中 $P$ 為壓力， $V$ 為體積， $\gamma \approx 1.4$ ；且造成平板物體懸浮的壓力平均值可以表示為 $A\rho^x c^y \omega^z (\delta h)^a h^b$ ，其中 $A$ 為常數， $\rho$ 為氣體的密度；則 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $a$ 與 $b$ 之值為          (28)          。

十七、考慮 1 莫耳的單原子理想氣體，假設以 $p$ 與 $T$ 分別代表其壓力與絕對溫度，並以 $C_\alpha$ 代表此氣體在熱力學某一個 $\alpha$ 過程中的莫耳比熱，如右圖 15 所顯示之 $p-T$ ， $\alpha$ 用以表示圖中過程 1、2 或 3。圖 15 中三個過程都通過同一點 A，則 $(C_1 - C_2)/R =$           (29)          ，其中 $R$ 為氣體

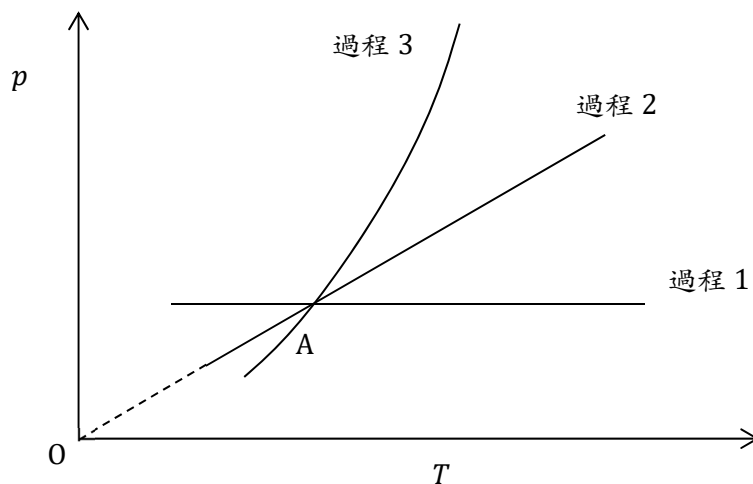


圖 15

常數。若 $C_3 = -2R$ ，則在過程 3 中， $p$ 必須與 $T$ 的          (30)          次方成正比。

計算題（每題 15 分，共二題，合計 30 分）

一、考慮一條垂直懸吊、總長為 $L$ 、線密度為 $\mu$ 的鏈子，將其左端固定，右端舉高。此鏈子底部彎曲部分很短，以致其長度與質量均可忽略。令重力加速度為 $g$ ，並將 $+y$ 軸取為垂直向下，則當鍊子右端頂點的座標為 $y$ 時，左右兩段的長度可近似如圖 16 所示。此鏈子最初靜止懸吊時，左右兩段可視為平行，且兩段頂端高度相等( $y = 0$ )。今使鏈子右頂端從靜止開始自由下落，在圖示的狀態時，右段部分各點的下落速度為 $v$ ，而左段部分為靜止，左段的底端在圖中以 B 點標示，在此點的張力量值為 $T_1$ 。

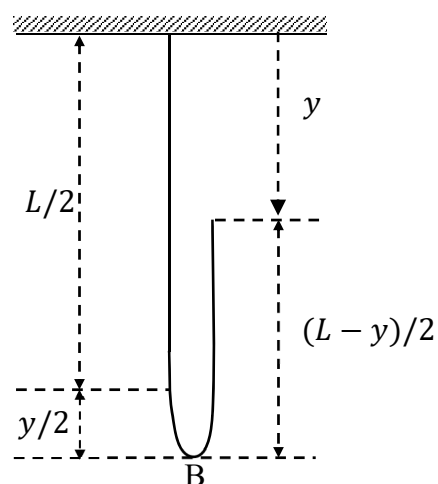


圖 16

(a) 若取 $y = 0$ 為重力位能的零點，則在圖 16 所

示狀態時，求整條鏈子的總力學能 $E$ ，答案以 $y$ 、 $v$ 、 $L$ 、 $\mu$ 與 $g$ 表示。(3 分)

(b) 若整條鏈子的總力學能守恆，求 $v$ ，答案以 $L$ 、 $\mu$ 、 $g$ 與 $y$ 表示。(3 分)

(c) 承(b)小題，求整條鏈子的質心速度 $V$ ，答案以 $L$ 、 $\mu$ 、 $g$ 與 $y$ 表示。(3 分)

(d) 在圖 16 所示狀態時，若將鏈子右邊下落部分的運動方程式表示為

$$\frac{d}{dt} \left\{ \frac{1}{2} \mu (L - y) v \right\} = F$$

求 $F$ ，答案以 $L$ 、 $\mu$ 、 $g$ 與 $T_1$ 表示。(3 分)

(e) 若整條鏈子的總力學能守恆，求 $T_1$ 與 $v$ 、 $\mu$ 的關係。(3 分)

二、二橫截面分別為 $S$ 和 $2S$ 的圓柱形容器以如圖17所示的連接方式，形成一汽缸。每個圓柱中各置有一活塞，二活塞相距 $\ell$ ，並以一硬桿相連，構成一“工”字形活塞，將整個汽缸分隔成三個氣室。

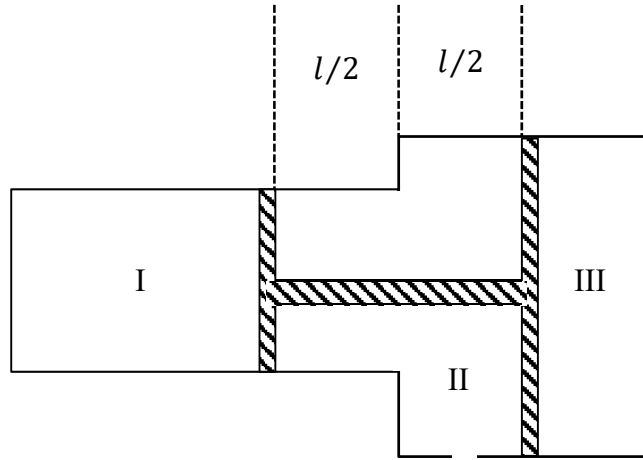


圖 17 汽缸組成示意圖

其中氣室I和氣室III為密閉並分別封有1及2莫耳的相同理想氣體（其莫耳比熱為 $C$ ），且二氣室內裝有電熱器，以供加熱之用。氣室II的汽缸壁上開有一小孔，與大氣相通。當三個氣室中氣體溫度均為 $T_1$ 時，“工”字形活塞恰處於如圖示的平衡位置，此時氣室I內的氣體柱長亦為 $\ell$ ，氣室II內有1.5 莫耳的空氣。假設大氣壓不變，汽缸壁和活塞均為絕熱，不計活塞與汽缸間之摩擦力，且活塞移動範圍不超過氣室II之通氣孔。現將氣室I和氣室III中的氣體以加熱器緩慢加熱，直到氣室I中氣體溫度升高至 $2T_1$ ，此時活塞左移一距離 $d$ ，則

- 初始狀態時，氣室III中的氣柱長度為何？（以 $\ell$ 表示。）（5分）
- 在末狀態時，氣室III中氣體溫度為何？（以 $T_1$ 、 $\ell$ 、 $d$ 表示。）（5分）
- 在此過程中，氣室I和氣室III中之氣體吸收的總熱量為何？（以 $T_1$ 、 $\ell$ 、 $d$ 、 $C$ 和氣體常數 $R$ 表示。）（5分）

2020 年第 21 屆亞洲物理奧林匹亞競賽  
及第 51 屆國際物理奧林匹亞競賽  
國家代表隊初選考試參考解答

壹、填充題(每格 4 分，共 30 格，合計 120 分)

一、

(1)  $\alpha = 0.2 \text{ kg/s}$

(2) (a)

二、

(3)  $v = 7.4 \text{ m/s}$

三、

(4) 170 m

四、

(5)  $F = \underline{1.7 \times 10^4} \text{ N}$

(6)  $\beta = \underline{4900}$

五、

(7) 
$$h = \frac{(\rho_{\text{甲}} - \rho_{\text{乙}})z}{\rho_{\text{乙}}}$$

(8) 
$$v = \left[ \frac{3\rho_{\text{乙}}d}{\rho_{\text{乙}}d + 2(\rho_{\text{甲}} - \rho_{\text{乙}})z \tan \theta} \right]^2 v_0$$

六、

(9) 
$$\sqrt{\frac{3(M+2m)}{2(M+3m)}} g\ell$$

$$(10) \underline{\frac{3(M+2m)^2}{4(M+3m)}g + (M+m)g}$$

七、

$$(11) \underline{T_f/T_0 = 1}$$

$$(12) \underline{T_f/T_0 = 5^{-1/3}}$$

八、

$$(13) \underline{+1} \text{ 焦耳}$$

九、

$$(14) \underline{\pi G m \sigma}$$

十、

$$(15) \underline{\alpha = \frac{2F}{MR}}$$

$$(16) \underline{F_c = \frac{2\mu Mg}{3}}$$

十一、

$$(17) \underline{t = \sqrt{\frac{2(m_1\Delta x_1 + m_2\Delta x_2)}{F}}}$$

$$(18) \underline{\frac{F(m_1\Delta x_1 + m_2\Delta x_2)}{m_1 + m_2}}$$

十二、

$$(19) \underline{0}$$

$$(20) \underline{m|\vec{V}||\vec{v}_1|(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)}$$

$$(21) \underline{2V}$$

十三、

$$(22) \underline{1000} \text{ K} \quad (980 \sim 1000 \text{ 都算對})$$

$$(23) \underline{P = 910.65 \text{ kPa}} \quad (900 \sim 910 \text{ 都算對})$$

十四、

$$(24) \underline{P_c = \frac{4\gamma}{R}}$$

$$(25) \underline{a, b, c = \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}}$$

十五、

$$(26) \underline{\frac{10\pi v}{27} \sqrt{\frac{m}{k}}}$$

十六、

$$(27) \underline{\frac{\pi c}{\omega}}$$

$$(28) \underline{1, 2, 0, 2, -2}$$

十七、

$$(29) \underline{1}$$

$$(30) \underline{9/2}$$

計算題（每題 15 分，共二題，合計 30 分）

第 1 題評分標準：

| 小題         | 內容                                                                                                                                                      | 得分 | 備註 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| (a)<br>3 分 | <p>求出整條鏈子的總重力位能:</p> $V = -\mu L g Y = -\frac{\mu g}{4}(L^2 + 2Ly - y^2).$                                                                              | 1  |    |
|            | <p>求出整條鏈子的總動能:</p> $K = \frac{\mu}{4}(L - y)v^2.$                                                                                                       | 1  |    |
|            | <p>求出總力學能:</p> $E = \frac{\mu}{4}(L - y)v^2 - \frac{\mu g}{4}(L^2 + 2Ly - y^2)。$                                                                        | 1  |    |
| (b)<br>3 分 | <p>列出力學能守恆式:</p> $E = -\frac{\mu g L^2}{4}.$                                                                                                            | 2  |    |
|            | <p>求出 <math>v = \sqrt{\frac{gy(2L-y)}{L-y}}.</math></p>                                                                                                 | 1  |    |
| (c)<br>3 分 | <p>寫出質心速度與 <math>v</math> 的關係：<math>V = \dot{Y} = \frac{(L-y)}{2L}v</math></p>                                                                          | 2  |    |
|            | <p>求出質心速度：<math>V = \frac{1}{2L}\sqrt{gy(L-y)(2L-y)}</math></p>                                                                                         | 1  |    |
| (d)<br>3 分 | <p>正確寫出力:</p> $F = \frac{1}{2}\mu(L - y)g - T_1。$                                                                                                       | 3  |    |
|            |                                                                                                                                                         |    |    |
| (e)<br>3 分 | <p>寫出</p> $\frac{dE}{dt} = \left(-\frac{1}{4}\mu v\right)v^2 + \frac{1}{4}\mu(L - y)\left\{2v\frac{dv}{dt}\right\}$ $-\frac{1}{4}\mu g[v(2L - y) - yv]$ | 1  |    |
|            | <p>將(d)的結果帶入化簡得到:</p> $\frac{dE}{dt} = \left(\frac{1}{4}\mu v^2 - T_1\right)v.$                                                                         | 1  |    |
|            | <p>由力學能守恆得出:</p> $T_1 = \frac{1}{4}\mu v^2.$                                                                                                            | 1  |    |

第 2 題評分標準：

| 小題      | 內容                                                                                                                                                                | 得分 | 備註 |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| (a) 5 分 | 列出初始時氣室 I、II、III 中氣體滿足的理想氣體方程式：<br>$p_1 l S = RT_1$ $p_0 \left( \frac{l}{2} \cdot S + \frac{l}{2} \cdot 2S \right) = \frac{3}{2} RT_1$ $p'_1 l' \cdot 2S = 2RT_1$ | 2  |    |
|         | 列出力學平衡條件： $p'_1 \cdot 2S = p_1 \cdot S + p_0(2S - S)$                                                                                                             | 1  |    |
|         | 得出： $l' = l$                                                                                                                                                      | 2  |    |
| (b) 5 分 | 列出結束時氣室 I、III 中氣體滿足的理想氣體方程式：<br>$p_2(l - d)S = RT_2 = 2RT_1$ $p'_2(l + d) \cdot 2S = 2RT'_2$                                                                      | 1  |    |
|         | 得出力學平衡條件：<br>$p'_2 \cdot 2S = p_2 \cdot S + p_0(2S - S).$                                                                                                         | 2  |    |
|         | 求出溫度：<br>$T'_2 = \frac{(3l-d)(l+d)}{2l(l-d)} T_1.$                                                                                                                | 2  |    |
| (c) 5 分 | 求出大氣對密閉氣體系統所作的功：<br>$-W = -\frac{d}{l} RT_1.$                                                                                                                     | 1  |    |
|         | 求出系統中密閉氣體的內能增加量：<br>$\Delta U = \left[ \frac{(3l-d)(l+d)}{2l(l-d)} - 1 \right] CT_1.$                                                                             | 2  |    |
|         | 求出密閉氣體系統吸收的總熱量為：<br>$Q = \Delta U + W$ $= \left[ \frac{(3l-d)(l+d)}{2l(l-d)} - 1 \right] CT_1 + \frac{d}{l} RT_1.$                                                | 2  |    |