

分科測驗（111 學年度起適用）

物理考科參考試卷

試題解析

第壹部分、選擇題

1-2題為題組

試題編號：1

參考答案：E

測驗內容：必修物理 PEa-Vc-1 科學上常用的物理量有國際標準單位。

PEa-Vc-2 因工具的限制或應用上的方便，許多自然科學所需的測量，包含物理量，是經由基本物理量的測量再計算而得。

選修物理 力學二與熱學 PEb-Va-14 一質點的角動量等於其位置向量和動量的向量外積，其時間變化率等於質點所受的力矩。

測驗目標：1a. 知道基本的物理名詞、定義及現象

學習表現：科學認知

試題解析：1. 此試題測驗考生對於國際單位制（SI）之了解以及物理量—角動量的認知。

2. 第 14 屆國際度量衡大會採用七個基本物理量及對應單位如下：

基本物理量	國際標準單位	單位符號
長度	公尺	m
質量	公斤	kg
時間	秒	s
電流	安培	A
溫度	克耳文	K
發光強度	燭光	cd
物質數量	莫耳	mol

3. 角動量 = 位置向量 × 動量；動量 = 質量 × 速度；速度 = 位移 / 時間

4. 故動量的國際標準單位應表示為 公斤 × 公尺 / 秒，角動量的國際標準單位應表示為 公斤 × 公尺² / 秒。

5. 綜合上述分析，本題正確答案為(E)。

試題編號：2

參考答案：B

測驗內容：選修物理 力學二與熱學 PEb-Va-14 一質點的角動量等於其位置向量和動量的向量外積，其時間變化率等於質點所受的力矩。

測驗目標：1b. 知道基本的物理規則、學說、定律及原理

學習表現：科學認知

試題解析：1. 此題測驗考生是否理解角動量對時間的變化率之物理內涵。

2. 角動量對時間的變化率為 $\frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t}$ ，由於角動量 $\vec{L} =$ 位置向量 $\vec{r} \times$ 動量 \vec{p} ，則

$$\frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t} = \frac{\Delta}{\Delta t} (\vec{r} \times \vec{p}) = \vec{r} \times \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{\tau} \text{ (力矩)}。$$

3. 各選項說明如下：

(A) 合力為質點動量對時間的變化率。錯誤選項。

(B) 合力矩為質點對某一位置之角動量對時間的變化率。正確選項。

(C) 一質點的動能與其質量成正比，也與其速率平方成正比，其數學關係式為 $K = mv^2 / 2$ ，其中 K 為該質點之動能， m 為質點質量， v 為質點之運動速率。錯誤選項。

(D) 一質點的重力位能，與其所在之重力場與位置有關。以地表附近重力加速度為 g ，且離地高度為 h 處為例，若定義地面為重力零位面，則質點所具有的重力位能為 $U = mgh$ ，其中 U 為該質點之重力位能， m 為質點質量。錯誤選項。

(E) 功定義為一質點受固定量值之外力 F 與平行於外力方向產生位移 d 的乘積。錯誤選項。

4. 綜合上述分析，本題正確答案為(B)。

試題編號：3

參考答案：D

測驗內容：選修物理 波動、光及聲音 PKa-V a-13 光有干涉與繞射的現象，其亮紋和暗紋決定於相位差。

電磁現象二與量子現象 PKd-Va-1 用湯木生陰極射線管及密立坎油滴實驗測量電子的荷質比及電量。

PKd-Va-4 愛因斯坦分析光電效應，提出光量子論。

PKd-V a-6 拉塞福提出正電荷集中在核心，電子分布在外的原子模型。

測驗目標：1d. 知道重要科學史的發展歷程

2d. 了解科學理論的侷限性

學習表現：探究能力－思考智能 tc-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生對於近代物理發展的歷史中，重要實驗之認識與實驗含意之理解。

2. 各選項說明如下：

- (A) 湯姆森為了進一步了解陰極射線的特性，改良了陰極射線管，藉由調整外加電場、磁場的強度，與研究電子的運動軌跡，測定了電子的荷質比，使後續的科學家得以進一步探究電子的特性。錯誤選項。
- (B) 楊氏雙狹縫干涉實驗中，光經過兩道狹縫，在屏幕上呈現亮暗相間的條紋，此為波動干涉的結果，故可說明光具有波動性，但非光具有粒子性的實驗證據。錯誤選項。
- (C) 陰極射線的探究，最早可以追溯到 1858 年，物理學家普呂克觀察氣體放電現象時所發現，到了 1876 年由物理學家哥爾茨坦確定此射線由陰極所產生。然而陰極射線的本質一直到 1897 年，湯姆森確定其本質為帶負電的粒子，並命名為電子。錯誤選項。
- (D) 物理學家密立坎於 1916 年發表他對光電效應的研究，其實驗結果證實了愛因斯坦的光量子理論與愛因斯坦光電方程式，為光的粒子性提供重要證據。正確選項。
- (E) 拉塞福藉由 α 粒子的散射實驗結果，提出了原子內部存在著正電荷集中於原子核的有核模型。錯誤選項。

3. 綜合上述分析，本題正確答案為(D)。

試題編號：4

參考答案：C

測驗內容：必修物理 PKa-Vc-1 波速、頻率、波長的數學關係。

選修物理 波動、光及聲音 PKa-Va-6 兩個振幅、波長、週期皆相同的波相向行進會經由干涉形成駐波。

測驗目標：4b. 融會貫通多個概念、公式、定律或原理以解決問題

學習表現：探究能力－問題解決 pa-V a-2

試題解析：1. 此題測驗考生對於駐波形成條件，以及駐波波速、頻率、波長與繩長關係之理解，考生需由題幹中提及繩波的波速關係式，結合駐波形成條件之概念延伸推論，方能正確答題。

2. 依據題意，PQ 兩點之間有三個清楚的駐波節點，得知 PQ 兩點間有四個駐波波腹，故可列式 $\overline{PQ} = \frac{\lambda}{2} \times 4 = 4$ ，並推算出形成駐波的波長 $\lambda = 2$ (m)。

3. 繩波的振動頻率 f 與起振器的振動頻率相同，振動頻率 f 與波速 v 、波長 λ 符合關係

$$式 v = f\lambda，因此繩波的振動頻率 f = \frac{v}{\lambda} = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \times \frac{1}{\lambda}。$$

4. 繩子的一端固定在桌上的起振器 P 點，另一端經光滑的定滑輪 Q，懸掛質量為 1.0 kg 的重物，故在 P、Q 兩點間之均勻細線因受重物的重力作用以及滑輪下方均勻細線之重量，所產生張力為 $T = (1.0 + 0.010/5) \cdot 10 = 10.02$ (N)；均勻細線的平均線密度

$$\mu = 0.010/5 = 0.002 \text{ (kg/m)}。故繩子之波速 $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{10.02}{0.002}} \approx 70.78 \text{ (m/s)}。$$$

5. 故均勻細線的振動頻率 $f = \frac{v}{\lambda} = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \cdot \frac{1}{\lambda} \approx 70.78 \cdot \frac{1}{2} \approx 35 \text{ (Hz)}$ ，亦為起振器的振動頻率。

6. 綜合上述分析，本題正確答案為(C)。

試題編號：5

參考答案：B

測驗內容：選修物理 電磁現象一 PKc-Va-7 載流導線如長直導線、圓線圈、長螺線管，會產生磁場，遵循必歐－沙伐定律及安培右手定則。

測驗目標：3a. 套用單一物理定義、公式、定律或原理解題

學習表現：探究能力－問題解決 pe-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生對於載流圓形導線所建立磁場之理解，以及應用概念解題的能力。

2. 根據必歐－沙伐定律，可推得載流圓形線圈中心的磁場量值 $B = \frac{\mu_0 I}{2R} \propto \frac{I}{R}$ ，其中 I 為

載流圓形線圈之電流， R 為圓形線圈之半徑。

3. 某點原磁場相當於一個半徑為 R ，通有順時針方向的電流 I 的圓形線圈在圓心處所建立之磁場，其磁場量值 $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$ 。欲讓該點的磁場為零，需加上一通有電流的圓形線

圈，同樣以該點為圓心，且此線圈在圓心處所建立磁場量值為 $B' = B = \frac{\mu_0 I}{2R}$ ，但方向

與 B 相反之磁場，故線圈所需電流方向為逆時針電流。

4. 各選項分析如下

(A) 電流方向為逆時針， $B' = \frac{\mu_0(2I)}{2(R)} = \frac{\mu_0 I}{R} \neq B$ ，不符合實驗需求。

(B) 電流方向為逆時針， $B' = \frac{\mu_0(2I)}{2(2R)} = \frac{\mu_0 I}{2R} = B$ ，符合實驗需求。

(C) 電流方向為逆時針， $B' = \frac{\mu_0(I)}{2(\sqrt{2}R)} = \frac{\mu_0 I}{2\sqrt{2}R} \neq B$ ，不符合實驗需求。

(D) 電流方向為順時針， $B' = \frac{\mu_0(2I)}{2(R)} = \frac{\mu_0 I}{R} \neq B$ ，不符合實驗需求。

(E) 電流方向為順時針， $B' = \frac{\mu_0(2I)}{2(\sqrt{2}R)} = \frac{\mu_0 I}{\sqrt{2}R} \neq B$ ，不符合實驗需求。

5. 綜合上述分析，本題正確答案為(B)。

6-7題為題組

試題編號：6

參考答案：C

測驗內容：必修物理 PBa-Vc-1 電場以及磁場均具有能量，利用手機傳遞訊息即是電磁場以電磁波的形式來傳遞能量的實例。

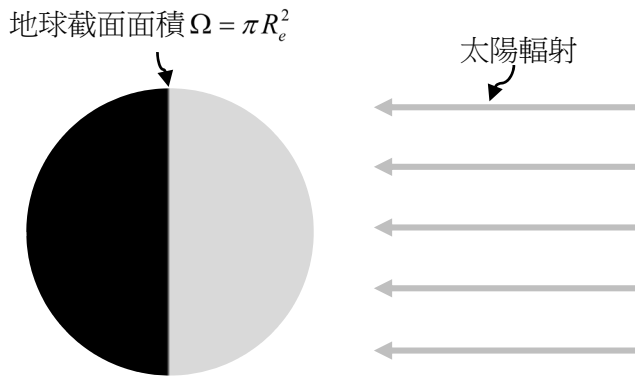
測驗目標：3b. 應用圖示、模型或抽象知識來表達物理概念、方法及原理

學習表現：探究能力－問題解決 pa-V a-2

試題解析：1. 此題測驗考生是否理解太陽能輻射功率與地球表面單位面積接收輻射功率的關係。

2. 因太陽與地球的距離為 $(3 \times 10^5) \times 500 = 1.5 \times 10^8$ (km)，相較於地球半徑 6400 km，其比率為 $(1.5 \times 10^8) / (6.4 \times 10^3) \approx 2.3 \times 10^4$ ，因此對地球而言，太陽的距離相當遙遠，太陽光源可以視為平行光源，如圖所示。

3. 假設太陽垂直照射處的地球表面，每平方公里所接受到的平均功率約為1 GW，則理想上受太陽照射的地球表面（圖中面對太陽輻射的右半球面）所接受到的太陽能總功率應為 $1.0 \times (\pi R_e^2) = 1.0 \times (\pi \cdot 6400^2) \approx 1.28 \times 10^8$ (GW)，其中 R_e 為地球半徑。



4. 綜合上述分析，本題正確答案為(C)。

試題編號：7

參考答案：A

測驗內容：必修物理 PBa-Vc-1 電場以及磁場均具有能量，利用手機傳遞訊息即是電磁場以電磁波的形式來傳遞能量的實例。

PBa-Vc-3 質量及能量可以相互轉換，其轉換公式為 $E = mc^2$ 。

測驗目標：4c. 分析文本、數據或圖表等資料以解決問題

學習表現：探究能力－問題解決 pa-V a-2

- 試題解析：1. 此題測驗考生是否理解太陽能輻射總功率與單位面積所接收到的輻射功率之間的關聯，以及質量與能量的相互轉換關係。
2. 距離太陽中心 $(3 \times 10^5) \times 500 = 1.5 \times 10^8$ (km) 處的地球，其每平方公里可接收到的太陽輻射功率為 1.0 GW。由於太陽輻射是以太陽為中心的球對稱輻射，可知距離太陽中心 $(3 \times 10^5) \times 500 = 1.5 \times 10^8$ (km) 處的球面，每秒鐘通過的能量為 $1.0 \times [4\pi \cdot (1.5 \times 10^8)^2] = 2.83 \times 10^{17}$ (GW)。由此推算出每秒鐘由太陽核心內部所輻射的功率約為 2.83×10^{17} (GW) = 2.83×10^{26} (W)。
3. 由於太陽輻射的能量來自於核心內部核反應的質量減損，由質量與能量的轉換關係式 $\Delta E = \Delta m \times c^2$ 得 $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{2.83 \times 10^{26}}{(3 \times 10^8)^2} \approx 3.14 \times 10^9$ (kg)，此為太陽因核心內部的核反應，每秒鐘所減損的質量。
4. 綜合上述分析，本題正確答案為(A)。

試題編號：8

參考答案：E

測驗內容：選修物理 力學二與熱學 PBb-V a-1 理想氣體狀態方程為 $PV = nRT$ ，此溫度 T 為絕對溫度。

PBb-V a-2 將牛頓力學定律應用到理想氣體動力論，可以推導出氣體壓力以及體積與內能的定量關係。將此結果套用到理想氣體狀態方程式則可得出理想氣體的內能與絕對溫度成正比的結論。

測驗目標：3c. 應用物理概念或模型解釋物理現象

學習表現：探究能力－思考智能 tr-V a-1

- 試題解析：1. 此題測驗考生對理想氣體狀態方程式及理想氣體動力論的理解，考生需能正確判斷氣體的體積、壓力、溫度等變因在特定條件下之間的關聯性，以及氣體溫度與分子平均動能的關係，方能正確答題。
2. 各選項分析如下：
- (A) 由 $PV = nRT$ 可以得知，當 T 越高， PV 會越大；然而因密閉容器的體積 V 可以改變，故當 T 越高，可能僅為體積 V 越大，氣體壓力 P 仍維持不變。錯誤選項。
- (B) 由 $PV = nRT$ 可以得知，若容器體積 V 越大，可能是因為氣體的溫度 T 升高所造成的，氣體的壓力 P 仍維持不變。錯誤選項。

(C)由理想氣體動力論與理想氣體方程式可以得知，單原子理想氣體分子的平均動能

$$E_k = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2} \frac{PV}{N}$$

，雖然壓力增大，但體積仍可以隨之減少，因此無法確定平均動能會增大。錯誤選項。

(D)理想氣體的溫度越高，氣體分子的平均動能越大，但因系統質心速度為零，故各方向的速度和均為零，故氣體平均速度應為零。錯誤選項。

(E)由理想氣體動力論可以得知，單原子理想氣體分子的平均動能 $E_k = \frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}mv_{\text{rms}}^2$ ，

其中 m 為理想氣體分子的質量， v_{rms} 為氣體分子的方均根速率。因此氣體的溫度越高，氣體分子的方均根速率越大。正確選項。

3. 綜合上述分析，本題正確答案為(E)。

試題編號：9

參考答案：A

測驗內容：選修物理 力學一 PKb-V a-2 地球表面的重力與重力加速度。

PKb-V a-3 行星與人造衛星的運動。

測驗目標：4b. 融會貫通多個概念、公式、定律或原理以解決問題

學習表現：探究能力－思考智能 tr-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生對於萬有引力的重力位能、行星表面的重力加速度等概念，是否正確認識並理解其間的關聯，考生須具備關鍵概念「物體能脫離行星重力的束縛，其動能必須足夠提供物體移動至無窮遠處」，即能掌握答題方向。

2. 若定義無窮遠處的重力位能為零，則質量為 m 的物體在火星表面的重力位能

$$U = -\frac{GMm}{R}$$

，其中 R 為火星的平均半徑， G 為萬有引力常數， M 為火星質量。

3. 若物體要從火星表面脫離火星的重力，則需有足夠的動能可以克服火星的重力位能。

若物體於火星表面的脫離速率為 v ，則 $\frac{1}{2}mv^2 = 0 - (-\frac{GMm}{R}) = \frac{GMm}{R}$ ，可以得到

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2 \times \left(\frac{GM}{R^2}\right) \times R} = \sqrt{2gR}$$

，其中 g 為火星表面的重力加速度。

4. 若此質量為 m 的物體，要從地球表面脫離地球的重力，由上述推論可以得知脫離速率

為 $v' = \sqrt{2g_e R_e}$ ，其中 g_e 為地球表面的重力加速度， R_e 為平均地球半徑。比較火星表面

物體的脫離速率 v 與地球表面物體的脫離速率 v' ，可以得知：

$$\frac{v}{v'} = \frac{\sqrt{2gR}}{\sqrt{2g_e R_e}} = \sqrt{\left(\frac{g}{g_e}\right) \times \left(\frac{R}{R_e}\right)} = \sqrt{0.4 \times 0.5} = \sqrt{0.2} = \sqrt{\frac{1}{5}}$$

5. 綜合上述分析，本題正確答案為(A)。

試題編號：10

參考答案：E

測驗內容：選修物理 力學一 PEb-Va-8 牛頓三大運動定律包括慣性定律、運動定律、作用與反作用定律。

測驗目標：3d. 應用物理概念於生活情境或其他學科

學習表現：探究能力－思考智能 tc-V a-1

- 試題解析：1 本題測驗考生是否正確理解牛頓三大運動定律的內容，以及其在生活中的應用。
2. 當物體運動狀態發生變化時，代表物體受到外力的作用。牛頓第二運動定律說明了物體所受的外力與其加速度成正比，且物體所受外力方向與其速度變化量的方向相同，故選項(A)、(B)並非正確選項。
 3. 牛頓第一運動定律說明當物體不受外力作用時，物體的運動狀態將會維持其原先的狀態不會發生改變。選項(C)中，船的前進及加速過程，涉及運動狀態的變化，其解釋涉及牛頓第二運動定律，而前進的動力源自於用槳划水提供的反作用力，為牛頓第三運動定律的應用。
 4. 選項(D)中所提及的火箭，其前進的原理為藉由燃燒燃料並排放廢氣，提供其前進的動力，為牛頓第三運動定律的應用；當火箭加速的過程中，其運動狀態發生了變化，此現象的解釋涉及牛頓第二運動定律。
 5. 選項(E)中的溜冰選手因猛推一下牆壁而反彈，其動力來源為手猛推牆壁時，牆壁給予的反作用力，為牛頓第三運動定律的應用；當溜冰選手反彈後，以等速度離開，此現象的解釋涉及牛頓第一運動定律。
 6. 綜合上述分析，本題正確答案為(E)。

試題編號：11

參考答案：D

測驗內容：選修物理 電磁現象二與量子現象 PKc-Va-4 電位差等於電流乘以電阻，此為歐姆定律。

PKc-V a-6 電路有串聯、並聯及迴路等形式，電路中的能量及電量必須守恆。

測驗目標：4c. 分析文本、數據或圖表等資料以解決問題

學習表現：探究能力－問題解決 pa-V a-2

- 試題解析：1. 本題測驗考生將歐姆定律應用於電阻器，以及從圖表中觀察電壓、通電時間之圖形，推算出通過電阻器電量。
2. 根據歐姆定律，通過電阻器兩端的電流、電壓與電阻間的關係為 $I = V / R$ ，將電壓 V 除以電阻 R 就是電流 I 。

3. 從圖中可以發現，當時間為 30 ns 時，光電倍增管輸出一個脈衝訊號，故電阻器的電壓開始增大；當時間達到 40 ns 時，電阻器兩端的電壓達到最大值 100 mV，此時通過電阻器的電流為 $I = 0.1 / 50 = 0.002$ (A)；當時間為 50 ns 時，此時脈衝訊號輸出完畢，故電阻器電壓歸零，電流也歸零。
4. 將電壓與時間的曲線關係圖 ($V-t$ 圖) 轉換成電流與時間的曲線關係圖 ($I-t$ 圖)，圖中曲線下面積的物理意義就是電流 I 在時間間隔 Δt 內，通過電阻器時所對應的總電量 Q 。因光電倍增管與此電阻器串聯，故由此可以推算出光電倍增管所輸出的電量 $Q' = Q = \frac{1}{2} \times \left(\frac{100 \times 10^{-3}}{50} \right) \times (50 \times 10^{-9} - 30 \times 10^{-9}) = 2 \times 10^{-11}$ (C)。
5. 綜合上述分析，本題正確答案為(D)。

試題編號：12

參考答案：BDE

測驗內容：選修物理 力學一 PEb-V a-1

電磁現象一 PKc-Va-1 可以用電力線表示出電場的大小與方向。

測驗目標：4b. 融會貫通多個概念、公式、定律或原理以解決問題

學習表現：探究能力－問題解決 pe-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生電子在均勻電場下的加速運動，以及電場與電壓的關係。考生需要融會貫通帶電粒子在均勻電場下的受力情形與運動學的概念，方能正確答題。

2. 電子在量值為 E 的均勻電場中作等加速度運動，其飛行時間 $t_1 = \frac{L}{v}$ ，離開平行金屬板

的瞬間，垂直方向的偏移量可記為 $y_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{eE}{m} \right) \times \left(\frac{L}{v} \right)^2$ ，其中 e 為電子電量， m 為電子

質量，此時垂直方向的速度量值為 $v_{\perp} = \frac{eE}{m} \times \frac{L}{v}$ ；離開平行金屬板後，電子作等速度運

動，抵達螢幕時的飛行時間 $t_2 = \frac{D}{v}$ ，垂直方向的偏移量可記為 $y_2 = v_{\perp} t_2 = \left(\frac{eE}{m} \times \frac{L}{v} \right) \left(\frac{D}{v} \right)$ 。

因此可得電子在螢幕上所產生光點的總垂直偏移量為 $y = y_1 + y_2 = \frac{eE}{m} \frac{L}{v^2} \left(\frac{L}{2} + D \right)$ 。此

外，因電池的電壓 V 不變，且平行金屬板的板距為 d ，可得關係式 $V = dE$ ，因此總垂直偏移量可改寫為 $y = \frac{eV}{md} \frac{L}{v^2} \left(\frac{L}{2} + D \right)$ 。

3. 各選項分析如下：

- (A) 根據 $V = dE$ ， V 固定， d 變為 2 倍，則 E 變為一半。錯誤選項。
 (B) 根據 $V = dE$ ， V 固定， d 變為一半，則 E 變為 2 倍。正確選項。

(C) 根據 $y = \frac{eV}{md} \frac{L}{v^2} \left(\frac{L}{2} + D \right)$ ， d 變為 2 倍，則 y 變為一半。錯誤選項。

(D) 根據 $y = \frac{eV}{md} \frac{L}{v^2} \left(\frac{L}{2} + D \right)$ ， d 變為一半，則 y 變為 2 倍。正確選項。

(E) 根據 $y = \frac{eV}{md} \frac{L}{v^2} \left(\frac{L}{2} + D \right)$ ， v 變為一半，則 y 變為 4 倍。正確選項。

4. 綜合上述分析，本題正確答案為(B)(D)(E)。

試題編號：13

參考答案：BE

測驗內容：選修物理 力學一 PEb-Va-6 質點作等速圓周運動時其速率及角速度不變，但有向心加速度，因此速度的方向會改變。

力學二與熱學 PEb-Va-11 質點系統的動量對時間的變化率等於外力的總和，如外力的總和為零，則系統動量守恆。

PEb-Va-14 一質點的角動量等於其位置向量和動量的向量外積，其時間變化率等於質點所受的力矩。

測驗目標：4b. 融會貫通多個概念、公式、定律或原理以解決問題

學習表現：探究能力－思考智能 tr-V a-1

試題解析：1. 此題藉由探討錐動擺的運動，測驗考生對於動量、角動量以及受力情形等概念。

2. 各選項分析如下：

(A) 當鋼珠等速圓周運動時，由於鋼珠的運動方向不斷改變，因此動量並不守恆。錯誤選項。

(B) 鋼珠所受合力方向指向 O 點，由力矩 $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$ 得知，因鋼珠對 O 點的位置向量 \vec{r} 與鋼珠所受的合力 \vec{F} 彼此相互平行，故產生之合力矩 $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{0}$ ，其中合力 \vec{F} 作為等速圓周運動所需之向心力。因鋼珠所受合力矩為零，故對 O 點的角動量守恆。正確選項。

(C) 由於鋼珠對 O 點作等速圓周運動，在運動期間受到重力與繩張力的合力作為向心力，指向圓心 O 點。錯誤選項。

(D) 由於鋼珠作水平等速圓周運動，在鉛垂線方向所受之合力為零，但水平方向，會持續受到指向圓心 O 點合力，作為等速圓周運動所需之向心力。錯誤選項。

(E) 若擺線的張力為 T ，擺線張力在鉛垂線方向上的分力為 $T \cos \theta$ ，其量值與重力相同，但方向相反，故鉛垂線方向所受之合力為零；擺線在水平方向上的分力量值為 $T \sin \theta$ ，提供鋼珠以圓心 O 作等速圓周運動所需之向心力。正確選項。

3. 綜合上述分析，本題正確答案為(B)(E)。

試題編號：14

參考答案：AC

測驗內容：選修物理 電磁現象一 PKc-Va-12 發電機與變壓器的原理皆為電磁感應。
PMc-Va-2 電路、電磁波、透鏡、核能、光電效應的應用。

測驗目標：4a. 根據資料進行歸納、假說或演繹

學習表現：探究能力－問題解決 pa-V a-1 po-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生以變壓器原理的背景知識，整合運用閱讀理解以及分析推論的能力，理解鉤表的原理並回答相關問題。

2. 各選項分析如下：

(A) 由題幹中可以得知，數位交流鉤表的原理為變壓器的原理，變壓器是電磁感應的應用。正確選項。

(B) 交流鉤表的原理可以視為變壓器的原理，當副線圈越多時，能測量的電流越大。然而題幹中提及的鉤表為交流鉤表，僅能測量交流電流，不能測量直流電流。錯誤選項。

(C) 測量一般家用電器使用時的電流，若未將火線與中性線各自獨立量測，流經兩線的電流大小相同，方向相反，故一起量測到的電流值為零。正確選項。

(D) 若待測電流為 7 A，副線圈的圈數為 100 圈，則連結副線圈的鉤表輸入處的電流為 0.07 A。錯誤選項。

(E) 由於交流鉤表的原理其實就是變壓器的原理，因此鉗嘴內部鐵心的材質必須是鐵磁性物質。銀雖然電阻率很小，卻不是鐵磁性物質，並不適合做為鉗嘴內部鐵心的材料。錯誤選項。

3. 綜合上述分析，本題正確答案為(A)(C)。

試題編號：15

參考答案：AD

測驗內容：必修物理 PKa-V c-1 波速、頻率、波長的數學關係。

選修物理 電磁現象二與量子現象 PKd-Va-3 普朗克分析黑體輻射現象，提出量子論之解釋。

測驗目標：4a. 根據資料進行歸納、假說或演繹

學習表現：探究能力－問題解決 pc-V a-2

試題解析：1. 此題以宇宙微波光譜的探測為題材，測驗考生是否理解黑體輻射，以及波速、波長與頻率之間的關係等概念，並經過閱讀理解文意後，結合先備知識作發展解釋的能力。

2. 各選項分析如下：

(A) 當黑體在輻射能量上達成穩定輻射狀態時，我們可稱此黑體達成熱平衡狀態，此時其熱輻射隨著頻率有一穩定分布，測量此黑體的熱輻射頻率分布可得黑體輻射的光譜分布圖。而光譜分布圖反映的是光強度對頻率的分布，故達成黑體熱平衡的粒子是光子。選項正確。

- (B) 橫軸的頻率為光子頻率。錯誤選項。
- (C) 隨著頻率增加，輻射強度先增加至峰值後，開始遞減，並非隨著頻率越高，相對應輻射強度越強。錯誤選項。
- (D) 因 $f = c/\lambda$ ，由圖中可得知，若 $c=1$ 時，強度最高點所對應的微波頻率約為 5 cm^{-1} ，故 $\lambda = 1/f = 1/5 = 0.2 \text{ (cm)} = 2 \text{ (mm)}$ 。正確選項。
- (E) 因 $f = c/\lambda$ ，若 $c=1$ 時，微波頻率 $f = 1/\lambda = 5 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ ；將隱藏的 c 寫回來時，則微波頻率 $f = c \times (1/\lambda) = (3 \times 10^8) \times (5/10^{-2}) = 1.5 \times 10^{11} \text{ (Hz)}$ 。錯誤選項。

3. 綜合上述分析，本題正確答案為(A)(D)。

試題編號：16

參考答案：BC

測驗內容：選修物理 波動、光及聲音 PKa-V a-11 光的折射遵循司乃耳定律，光由光密介質進入光疏介質的入射角大於臨界角時會發生全反射。

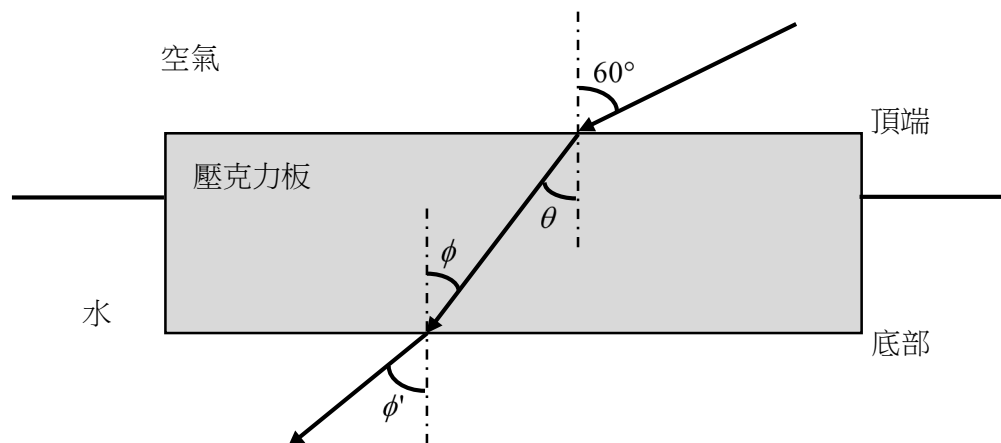
測驗目標：3a. 套用單一物理定義、公式、定律或原理解題

學習表現：探究能力－問題解決 pa-V a-2

試題解析：1. 此題測驗考生應用司乃耳定律解題的能力，並測驗考生全反射的條件。

2. 各選項分析如下：

- (A) 因壓克力板的折射率較空氣的折射率大，故綠光由空氣中射入壓克力板後，光速應變小。錯誤選項。
- (B) 空氣的折射率為 1.00，題目敘述入射角為 60° ，根據司乃耳定律可得 $1.00 \times \sin 60^\circ = 1.60 \times \sin \theta$ ，經整理求出 $\sin \theta = \frac{5\sqrt{3}}{16}$ 。正確選項。
- (C) 因水的折射率較壓克力板的折射率小，故綠光由壓克力板底部射入水中後，光速應變大。正確選項。
- (D) 綠光由壓克力板底部進入水中時，其入射角 ϕ 等於綠光從空氣中射入壓克力板的折射角 θ ，如圖所示。根據司乃耳定律可得 $1.00 \times \sin 60^\circ = 1.60 \times \sin \phi = 1.33 \times \sin \phi'$ ，其中 ϕ' 為綠光由壓克力板底部進入水中的折射角，故折射角應小於 60° 。錯誤選項。



(E) 綠光在壓克力板的底部與水的介面恰好發生全反射時，根據司乃耳定律可得， $1.33 \times \sin 90^\circ = 1.60 \times \sin \theta_c$ ，其中 θ_c 為綠光由壓克力板進入水中的入射角，此時綠光從空氣中射入壓克力板，須滿足 $1.00 \times \sin \theta = 1.60 \times \sin \theta_c = 1.33 \times \sin 90^\circ$ ，可得 $\sin \theta > 1$ ，不符合正弦函數的範圍。錯誤選項。

3. 綜合上述分析，本題正確答案為(B)(C)。

試題編號：17

參考答案：CE

測驗內容：選修物理 力學二與熱學 PEb-Va-15 許多生活上和工程上的問題都可用牛頓三大運動定律來解釋或計算，例如：靜力平衡、摩擦力、一維碰撞問題。

PBa-Va-1 功等於力和位移的向量內積，功率為功的時間變化率。

測驗目標：3c. 應用物理概念或模型解釋物理現象

學習表現：探究能力－思考智能 tr-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生是否正確理解摩擦力的概念，以及摩擦力與作功的關係。

2. 甲向右等加速前進過程中，兩木塊接觸面的摩擦力提供甲加速前進之動力，且接觸面間甲與乙無相對運動，故甲所受兩木塊接觸面的摩擦力為向右之靜摩擦力。因甲所受的摩擦力方向與甲的位移方向相同，故靜摩擦力對甲作正功。選項(A)、(B)為錯誤選項；選項(C)為正確選項。

3. 乙向右等加速前進過程中，兩木塊接觸面的摩擦力會阻礙乙的前進，且接觸面間甲與乙無相對運動，故乙所受兩木塊接觸面的摩擦力為靜摩擦力，此力方向向左。因乙所受的摩擦力方向與乙的位移方向相反，故靜摩擦力對乙作負功。選項(D)為錯誤選項；選項(E)為正確選項。

4. 綜合上述分析，本題正確答案為(C)(E)。

試題編號：18

參考答案：BE

測驗內容：必修物理 PKc-Vc-3 變動的磁場會產生電場，變動的電場會產生磁場。

測驗目標：2b. 了解文本、數據或圖表等資料的意義

學習表現：探究能力－問題解決 po-V a-2

試題解析：1. 此題測驗考生對於生活中常用爐具所對應的物理原理是否具備正確概念，以及對於表格內資訊的擷取與判讀能力。

2. 各選項分析如下：

- (A) 電磁爐的加熱原理為法拉第感應定律的應用。瓦斯爐的原理為藉由燃燒瓦斯，使儲存在分子內的化學能轉變成熱能釋出。燃燒為放熱反應，藉由釋放的熱能加熱爐具，進而烹煮食物。錯誤選項。
- (B) 電磁爐的加熱原理為法拉第感應定律的應用，使鍋底產生應電流，經電流熱效應加熱鍋具；電陶爐的加熱原理為鎳鉻電阻絲通電後升溫，此為電流的熱效應，因高溫所產生的熱輻射透過玻璃面板，進而加熱鍋具烹煮食物。正確選項。
- (C) 瓦斯爐的原理為藉由燃燒瓦斯，使儲存在分子內的化學能轉變成熱能釋出。燃燒為放熱反應，藉由釋放的熱能加熱爐具，進而烹煮食物。錯誤選項。
- (D) 由表中可以發現，電陶爐由室溫煮沸 500 ml 水所需時間為 4 分 09 秒，其熱效能為 70%，所花費時間為三種爐具最長，熱效能居中者；瓦斯爐由室溫煮沸 500 ml 水所需時間為 3 分 44 秒，其熱效能為 50%，所花費時間為三種爐具居中，熱效能為最低者；電磁爐由室溫煮沸 500 ml 水所需時間為 2 分 38 秒，其熱效能為 90%，所花費時間為三種爐具最短，熱效能最高者。故由表中的資訊可以判斷，爐具的熱效能越高，未必可在越短時間完成加熱相同材料。錯誤選項。
- (E) 由熱效能定義可知，熱效能越低者，用於加熱的功率比例越低，代表有較高比例的熱散失。正確選項。

3. 綜合上述分析，本題正確答案為(B)(E)。

第貳部分、混合題或非選擇題

19-21題為題組

試題編號：19

參考答案：A

測驗內容：必修物理 PKd-V c-1 光具有粒子性，光子能量 $E = h\nu$ ，與其頻率 ν 成正比。

PKd-V c-4 能階的概念。

測驗目標：1b. 知道基本的物理規則、學說、定律及原理

學習表現：探究能力－思考智能 tr-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生結合波耳氫原子模型與愛因斯坦的光量子概念，當電子發生能階躍遷時，釋放出的光子所對應的頻率。

2. 當電子從能階 $n = 3$ 躍遷到 $n = 1$ ，會釋放出一個光子，其能量為兩個能階的能量差 $\Delta E = E_3 - E_1$ 。

3. 根據愛因斯坦的光量子論，可以得知此氫原子釋放出的光子能量 ΔE 與頻率 ν 的關係式為 $\Delta E = E_3 - E_1 = h\nu$ ，因此 $\nu = \frac{E_3 - E_1}{h}$ ，其中 h 為普朗克常數。

4. 綜合上述分析，本題正確答案為(A)。

試題編號：20

參考答案：

(1)	$n \frac{h}{2\pi}$
(2)	$-\frac{U}{2}$

測驗內容：選修物理 電磁現象二與量子現象 PKd-V a-7 波耳假設角動量的量子化，提出氫原子模型，成功解釋氫原子光譜。

測驗目標：2a. 了解基本的物理規則、學說、定律及原理

學習表現：探究能力－思考智能 tr-V a-1

科學的態度與本質 ai-V a-2

試題解析：1. 此題測驗考生波耳氫原子模型的基本假設，考生需要知道電子角動量量子化的假設，以及古典力學中行星繞日模型的動能與位能關係，方能正確回答問題。

2. 依據波耳氫原子模型的假設，原子若要能夠穩定存在，必須滿足電子角動量量子化的條件，即電子的角動量 $l = rmv = n \frac{h}{2\pi}$ ，其中 r 為電子的軌道半徑， m 為電子的質量， v 為電子的運動速率， n 為正整數的量子數， h 為普朗克常數。

3. 若電子由原子核所提供的庫侖力作為向心力，繞原子核作等速圓周運動，其所受的向心力量值 $F_c = m \frac{v^2}{r} = \frac{ke^2}{r^2}$ ，其中 k 為庫侖常數， e 為電子電量。由上式可推得電子動能 $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r} = -\frac{U}{2}$ ，其中 $U = -\frac{ke^2}{r}$ 是電子軌道半徑為 r 所對應的電位能。

試題編號：21

參考答案： $l = rmv = n \frac{h}{2\pi} \Rightarrow v = \frac{nh}{2\pi rm}$ (1)

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r} = \frac{1}{2}m \times \left(\frac{n^2 h^2}{4\pi^2 r^2 m^2}\right) \Rightarrow r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 mke^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$E_n = K + U = -\frac{ke^2}{2r} = -\frac{ke^2}{2} \times \frac{4\pi^2 mke^2}{n^2 h^2} = -\frac{2\pi^2 mk^2 e^4}{h^2} \times \left(\frac{1}{n^2}\right) \dots\dots\dots (3)$$

測驗內容：選修物理 電磁現象二與量子現象 PKd-V a-7 波耳假設角動量的量子化，提出氫原子模型，成功解釋氫原子光譜。

測驗目標：4b. 融會貫通多個概念、公式、定律或原理以解決問題

學習表現：探究能力－思考智能 tm-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生對於波耳氫原子模型的深入理解，考生需要知道角動量量子化的假設，行星繞日模型的動能與位能關係，並了解如何由上述概念推導出電子能階的不連續性與數學關係式。

2. 從電子的角動量量子化關係式 $l = rmv = n \frac{h}{2\pi}$ 可得 $v = \frac{nh}{2\pi rm}$ ，其中 r 為電子的軌道半徑， m 為電子的質量， v 為電子的運動速率， n 為正整數的量子數， h 為普朗克常數。
3. 將 $v = \frac{nh}{2\pi rm}$ 帶入 $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{nh}{2\pi rm}\right)^2 = \frac{ke^2}{2r}$ ，可整理得出電子軌道半徑 $r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 mke^2}$ 。
4. 由於電子的總能量 $E_n = K + U = -\frac{ke^2}{2r}$ ，故將 $r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 mke^2}$ 帶入 E_n 可推導出關係式 $E_n = K + U = -\frac{ke^2}{2r} = -\frac{ke^2}{2} \times \frac{4\pi^2 mke^2}{n^2 h^2} = -\frac{2\pi^2 mk^2 e^4}{h^2} \times \left(\frac{1}{n^2}\right)$ 。

22-24題為題組

試題編號：22

參考答案： $340 = 331 + 0.6T \Rightarrow T = 15^\circ\text{C}$

測驗內容：選修物理 波動、光及聲音 PKa-V a-1 力學波須透過介質來傳播，但光可在真空中傳播。

測驗目標：2b. 了解文本、數據或圖表等資料的意義

學習表現：探究能力－思考智能 tr-V a-1

- 試題解析：1. 此題測驗考生將題幹中對於聲速與氣溫的關係描述，轉換成數學表示式的能力，並據以推估環境的氣溫。
2. 依據題意可以列出數學關係式 $340 = 331 + 0.6T$ ，其中 T 為實驗室內氣溫。
3. 由上述方程式可以解得 $T = 15$ ，因此實驗室內的氣溫約為 15°C 。

試題編號：23

參考答案： $f = 262 \times 2^2 = 1048 \text{ (Hz)}$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{1048} \approx 0.324 \text{ (m)} = 32.4 \text{ (cm)}$$

$$L = \frac{\lambda}{2} \approx \frac{32.4}{2} = 16.2 \text{ (cm)}$$

測驗內容：選修物理 波動、光及聲音 PKa-V a-7 如聲音形成駐波，其頻率最低者稱為基音，頻率高者稱為泛音。

測驗目標：3c. 應用物理概念或模型解釋物理現象

學習表現：探究能力－問題解決 pa-V a-2

- 試題解析：1. 此題測驗考生空氣柱內駐波形成的條件。考生需要知道管風琴的發聲原理為管子內的空氣能在特定聲音頻率下產生共鳴（也就是形成駐波），並理解共鳴的音頻與管長的關係。

2. 依據題目敘述，每升高 n 個八度音，聲音頻率就變為原來的 2^n 倍，又因中央 C 的頻率為 262 Hz，故最高音為中央 C 升高兩個八度音的頻率為 $262 \times 2^2 = 1048$ (Hz)。
3. 聲波的波速 v 、頻率 f 與波長 λ ，符合數學關係式 $v = f \times \lambda$ ，因實驗室氣溫約 15°C 時，聲速為 340 m/s，故可由關係式得知中央 C 升高兩個八度音的波長為
- $$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{1048} \approx 0.324 \text{ (m)} = 32.4 \text{ (cm)}。$$
4. 兩端開口的管子所做成的管風琴，要能吹出基音頻率為 1048 Hz 的聲音，則管子最短的長度 L 須為基音波長的一半，故 $L \approx \frac{32.4}{2} = 16.2$ (cm)。
5. 綜合以上分析，柯南設計的管風琴管子，最短約 16.2 cm。

試題編號：24

參考答案：

		選項欄	理由欄				
敘述一 (範例)	此空氣柱發出基頻聲音的波長為 34 cm	<table border="1"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>正確</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>不正確</td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/>	正確	<input type="checkbox"/>	不正確	由圖 11 得知，此空氣柱發出的基頻聲音頻率為 1000 Hz，則基頻聲音波長為 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{1000} = 0.34$ 因此空氣柱發出基頻聲音的波長為 34 cm。故敘述一為正確敘述。
<input checked="" type="checkbox"/>	正確						
<input type="checkbox"/>	不正確						
敘述二	此空氣柱的長度為 17 cm	<table border="1"> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>正確</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>不正確</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	正確	<input checked="" type="checkbox"/>	不正確	由圖 11 可以得知，此為一端閉口的閉管空氣柱，其長度 L 應為基頻聲音波長 λ 的四分之一倍，故此空氣柱的長度 $L = \frac{\lambda}{4} = \frac{34}{4} = 8.5 \text{ (cm)}$ 故敘述二為不正確敘述。
<input type="checkbox"/>	正確						
<input checked="" type="checkbox"/>	不正確						
敘述三	若實驗室內的空氣溫度降低，則空氣柱發出的聲音頻率亦會降低	<table border="1"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>正確</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>不正確</td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/>	正確	<input type="checkbox"/>	不正確	因 $f = \frac{2n+1}{4L}v$ ，聲速 v 會隨著空氣溫度 T 降低而下降，則頻率 f 也跟著下降。故敘述三為正確敘述。
<input checked="" type="checkbox"/>	正確						
<input type="checkbox"/>	不正確						

測驗內容：選修物理 波動、光及聲音 PKa-V a-7 如聲音形成駐波，其頻率最低者稱為基音，頻率高者稱為泛音。

測驗目標：4c. 分析文本、數據或圖表等資料以解決問題

學習表現：探究能力－問題解決 pc-V a-1

試題解析：1. 此題測驗考生圖表判讀與空氣柱內駐波的形成條件，以及氣溫變化對於空氣柱發聲頻率會如何影響。

2. 由圖 11 中可以得知，空氣柱可發出聲音頻率為 1 kHz 之奇數倍，故可判斷此空氣柱為一端閉口的閉管空氣柱。

3. 此空氣柱發出基頻聲音的頻率為 1000 Hz，因實驗室內氣溫約 15°C 時，聲速為 340 m/s，故可得知基頻聲音的波長為 $\lambda = \frac{340}{1000} = 0.34 \text{ (m)} = 34 \text{ (cm)}$ ，故敘述一為正確敘述。

4. 因此空氣柱為一閉管空氣柱，其長度 L 應為基頻聲音波長 λ 的四分之一倍，故此空氣柱的長度 $L = \frac{\lambda}{4} = \frac{34}{4} = 8.5 \text{ (cm)}$ ，故敘述二為錯誤敘述。

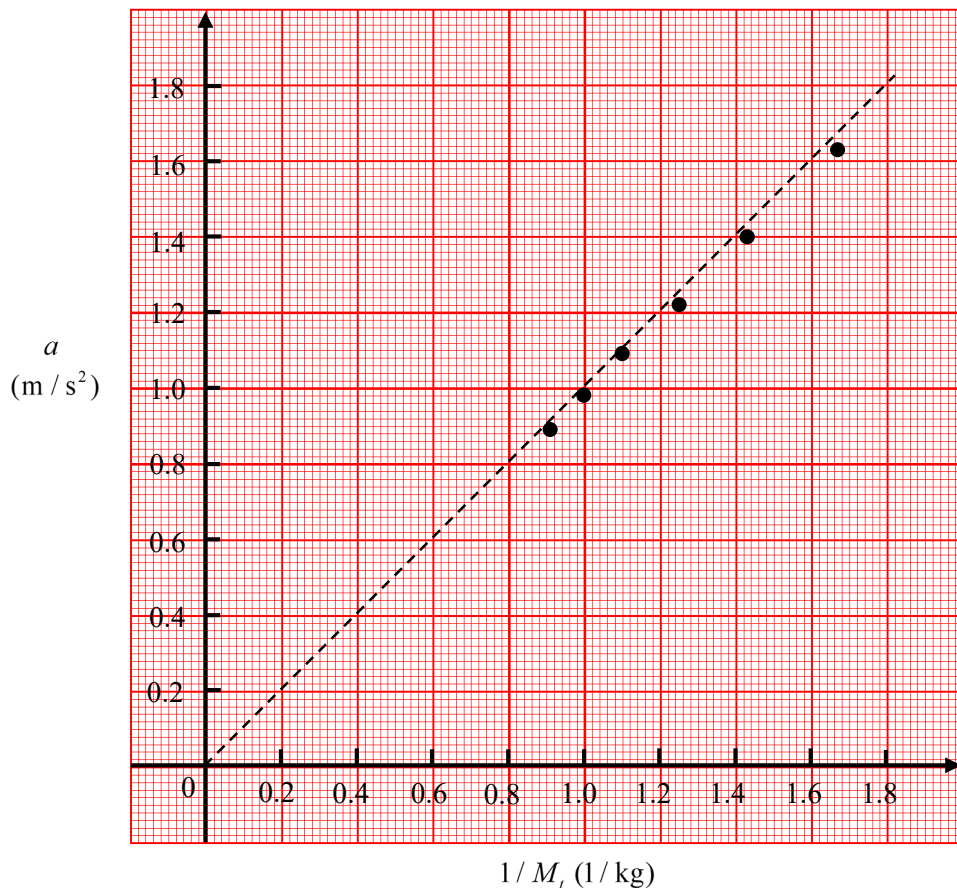
5. 閉管空氣柱的共振頻率 $f = \frac{2n+1}{4L}v$ ，其中 $n = 1, 2, 3, \dots$ ， L 為空氣管長度， v 為聲速。

已知聲速 $v = 331 + 0.6T$ ，聲速 v 會隨著空氣溫度 T 降低而下降，故若空氣溫度 T 降低，則空氣柱發出的聲音頻率 f 亦會降低，敘述三為正確敘述。

25-26題為題組

試題編號：25

參考答案：



圖中各點形成一通過原點之斜直線，表示 $a \propto \frac{1}{M_t}$ ，故可知受力不變下，物體的加速度

量值 a 與質量 M_t 成反比。

測驗內容：選修物理 力學一 PEb-V a-8 牛頓三大運動定律包括慣性定律、運動定律、作用與反作用定律。

測驗目標：4d. 分析實驗變因、比較實驗結果或解釋實驗數據

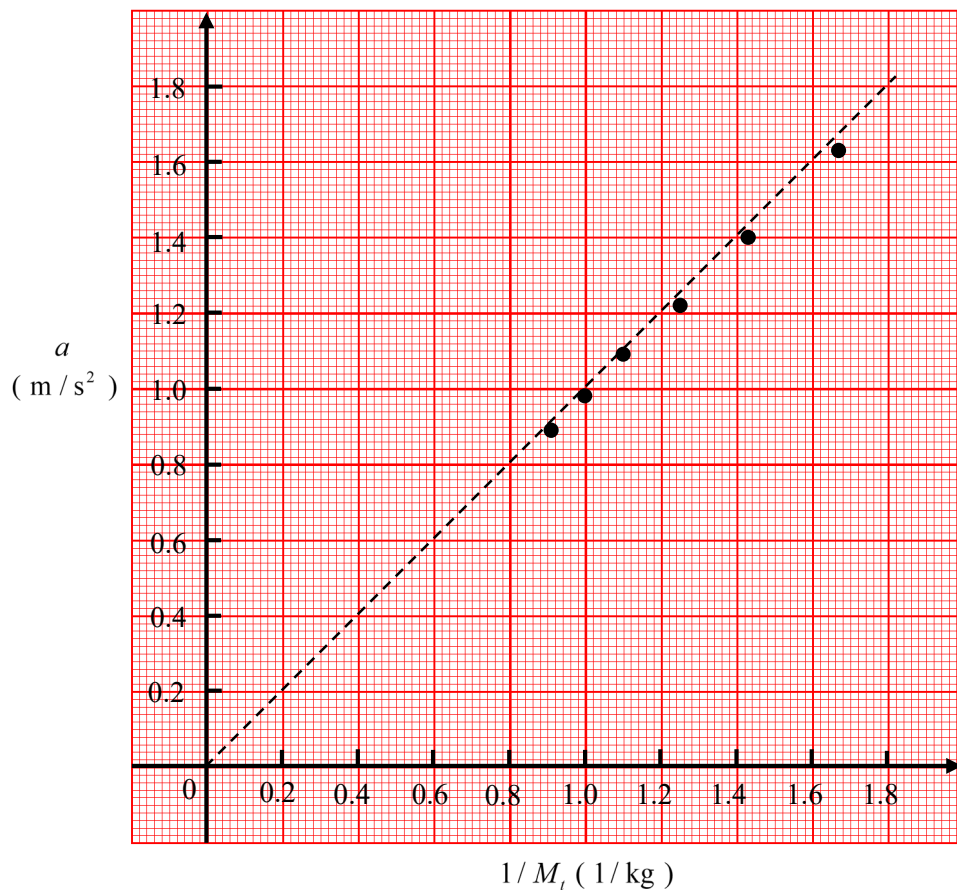
學習表現：探究能力－問題解決 pa-V a-1

試題解析：1. 此題與實驗緊密結合，藉由讓考生思考和設計所作圖形的樣貌，測驗考生對於牛頓第二運動定律實驗的理解程度。

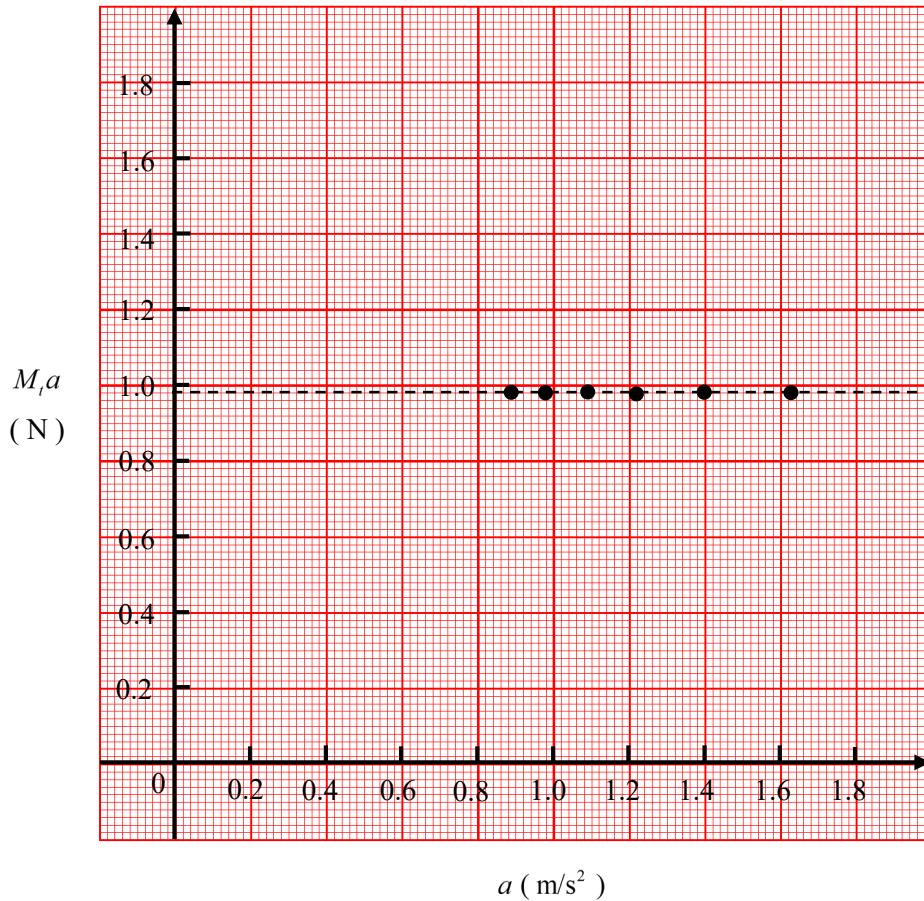
2. 將表的數據做整理後求出 $\frac{1}{M_t}$ ，並將 a 對 $\frac{1}{M_t}$ 作圖，得表與圖形如下：

$$M = 0.50 \text{ kg} \quad m = 0.10 \text{ kg}$$

	$M + 6m$	$M + 5m$	$M + 4m$	$M + 3m$	$M + 2m$	$M + m$
M_t (kg)	1.10	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60
$1/M_t$ (1/kg)	0.91	1.00	1.10	1.25	1.43	1.67
a (m/s^2)	0.89	0.98	1.09	1.22	1.40	1.63



3. 圖中各點形成一通過原點之斜直線，表示 $a \propto \frac{1}{M_t}$ ，故可知受力不變下，物體的加速度量值 a 與質量 M_t 成反比。
4. 或將表的數據做整理後求出 $M_t a$ ，並將 $M_t a$ 對 a 作圖，得表與圖形如下：



$$M = 0.50 \text{ kg} \quad m = 0.10 \text{ kg}$$

	$M + 6m$	$M + 5m$	$M + 4m$	$M + 3m$	$M + 2m$	$M + m$
M_t (kg)	1.10	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60
a (m/s ²)	0.89	0.98	1.09	1.22	1.40	1.63
$M_t a$ (N)	0.979	0.98	0.981	0.976	0.98	0.978

5. 圖中各點形成一斜率趨近於零的水平線，表示 M_t 與 a 的乘積幾乎為定值，故可知受力不變下，物體的加速度量值 a 與質量 M_t 成反比。

試題編號：26

參考答案：將滑車上的槽碼一次一個移至滑輪細繩下端懸掛著，使系統總質量始終維持定值（ $M + 6m$ ），使滑車上的槽碼依次減少（分別為 $4m$ 、 $3m$ 、 $2m$ 、 $1m$ 、 $0m$ ），而對應作用力 F 依次增大（分別為 $2mg$ 、 $3mg$ 、 $4mg$ 、 $5mg$ 、 $6mg$ ）。

測驗內容：選修物理 力學一 PEb-V a-8 牛頓三大運動定律包括慣性定律、運動定律、作用與反作用定律。

測驗目標：2c. 了解實驗原理、過程、儀器的用途與材料的特性

學習表現：探究能力－問題解決 pe-V a-2

試題解析：1. 此題測驗考生對於牛頓第二運動定律的實驗情境，如何做適當實驗設計觀察自變項與應變項之間的關係，並做表達敘述的能力。

2. 將滑車上的槽碼一次一個移至滑輪細繩下端懸掛著，使系統總質量始終維持定值（ $M + 6m$ ），使滑車上的槽碼依次減少（分別為 $4m$ 、 $3m$ 、 $2m$ 、 $1m$ 、 $0m$ ），而對應作用力 F 依次增大（分別為 $2mg$ 、 $3mg$ 、 $4mg$ 、 $5mg$ 、 $6mg$ ）。