

## 99 學年度指定科目考試

### 物理考科非選擇題評分標準說明

【第一處 / 程暉澄】

99學年度指定科目考試（簡稱指考）物理考科非選擇題有兩大題，每大題各佔10分，共計20分。以下將先說明評分基本原則，並列出各題可能的作法，再說明評分要點。

#### 壹、評分基本原則

##### 一、是否用適合且正確的概念來解題

解題的方式有很多種，但考生用以解題的觀點必須符合題目所設定的情境。考生表述的概念內容必須正確，解題所用的相關公式也要正確（若觀念正確，也用對相關公式，但計算錯誤，可獲得部分分數）。

##### 二、是否求得正確答案

答案的形式可能不只一種，訂定評分標準時會將答案所有形式列出，本說明僅列出較多考生作法的答案與對應的評分要點。不論考生寫出的答案形式為何，要獲得滿分，該答案必須完全正確。

#### 貳、評分要點說明

##### 試題

一、波耳的氫原子模型假設電子以質子為圓心作等速率圓周運動，已知氫原子的電子在基態時，圓周運動的半徑為  $5.3 \times 10^{-11} \text{m}$ 。計算下列各題。

1. 此電子所受靜電力的量值。（2分）
2. 此電子作圓周運動的速率。（2分）
3. 此電子作圓周運動所產生的電流。（3分）
4. 此電子作圓周運動所產生的電流在圓心形成的磁場量值。（3分）

##### 可能的作法、評分要點與作答錯誤類型

此題雖然引用波耳氫原子模型的假設，但其實用電磁學的相關概念就可以解題，也有不少考生運用近代物理的概念來作答，亦能獲致正確答案。以下分別以電磁學與近代物理的觀點，列出各小題可能的作法與評分要點。

## 第1小題 (2分)

| 可能的作法  | 評分要點   |
|--|--|
| <b>法一：由庫侖定律獲知電子所受的靜電力</b><br>$F = \frac{ke^2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \approx 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$                            | 概念正確<br>(由庫侖定律或電子繞原子核所需的向心力獲知電子所受的靜電力)<br><br>列式正確<br>(庫侖定律的正確形式;或由氫原子的電子在基態時的能量式代入電子繞原子核所需向心力的公式)<br><br>答案正確<br>(量值 $8.0 \times 10^{-8} \text{ N} \sim 8.4 \times 10^{-8} \text{ N}$ 之間皆給分, 數值與單位都要正確) |
| <b>法二：由電子繞原子核所需的向心力獲知電子所受的靜電力</b><br>氫原子的電子在基態時的能量 $13.6 \text{ eV} = \frac{1}{2}mv^2$<br>電子繞原子的向心力 $F = \frac{mv^2}{r} = \frac{2 \times 13.6 \text{ eV}}{r} \approx 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$ |  |

## 第2小題 (2分)

| 可能的作法  | 評分要點  |
|--|---|
| <b>法一：由靜電力等於向心力求電子的速率</b><br>$\frac{mv^2}{r} = \frac{ke^2}{r^2} \quad (\text{或} \frac{1}{2} \frac{ke^2}{r} = \frac{1}{2}mv^2)$ $v = \left(\frac{ke^2}{mr}\right)^{1/2} = \left(\frac{9 \times 10^9}{9.1 \times 10^{-31} \times 5.3 \times 10^{-11}}\right)^{1/2} \times 1.6 \times 10^{-19} \approx 2.2 \times 10^6 \text{ m/s}$ | 概念正確<br>(可由靜電力等於向心力或能量、角動量量子化的概念求得電子速率)<br><br>列式正確<br>(列出靜電力等於向心力的關係式; 列出能量或角動量量子化的關係式)<br><br>備註: 由於電子的速率需代入第3小題求電流, 因此第2小題只對概念與列式計分, 速率量值的分數則是包含於第3小題。 |
| <b>法二：由氫原子的電子在基態時的能量求電子的速率</b><br>$13.6 \text{ eV} = \frac{1}{2}mv^2$ $13.6 \times 1.6 \times 10^{-19} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2$ $\therefore v = \left(\frac{13.6 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 2}{9.1 \times 10^{-31}}\right)^{1/2} \approx 2.2 \times 10^6 \text{ m/s}$                         |   |
| <b>法三：由角動量量子化求電子的速率</b><br>$\ell = rmv = n\hbar$ $v = \frac{1.06 \times 10^{-34}}{5.3 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{-31}} \approx 2.2 \times 10^6 \text{ m/s}$   |   |

| 可能的作法  | 評分要點 |
|--|------|
| <p><b>法四：由電子角動量與軌道半徑量子化求電子的速率</b></p> $v_n = \frac{\ell}{mr_n}, r_n = n^2 \left( \frac{h^2}{4\pi^2 kmze^2} \right)$ $v_n = \frac{2\pi ke^2}{h} \times \frac{z}{n} \approx 2.2 \times 10^6 \times \frac{z}{n} \quad (\text{m/s})$ <p>氫原子(<math>z = 1</math>)的電子在基態時 <math>n = 1</math>，故 <math>v \approx 2.2 \times 10^6 \text{ m/s}</math></p> |      |

**第3小題 (3分)**

| 可能的作法   | 評分要點  |
|---|---|
| <p><b>法一：運用電流與週期的基本定義</b></p> $I = \frac{e}{T} = \frac{ev}{2\pi r} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 2.2 \times 10^6}{2\pi \times 5.3 \times 10^{-11}} \approx 1.1 \times 10^{-3} \text{ A}$   | <p>概念正確<br/>(電流的基本定義，並能運用週期的基本定義或由向心力的關係式求週期)</p> |
| <p><b>法二：由電流的基本定義出發，但由向心力的關係式求週期<math>T</math></b></p> $\frac{ke^2}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ $\therefore T = \left( \frac{m4\pi^2 r^3}{ke^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ $I = \frac{e}{T} = \frac{e^2}{2\pi} \left( \frac{k}{mr^3} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 1.1 \times 10^{-3} \text{ A}$ |   |

**第4小題 (3分)**

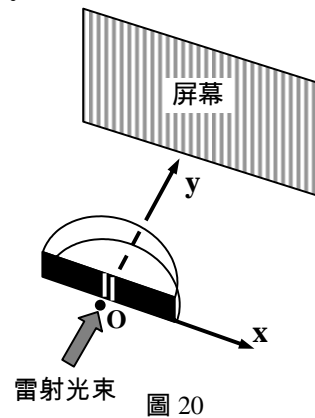
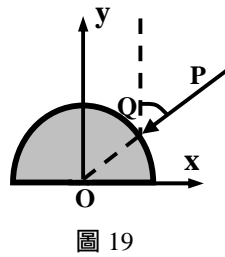
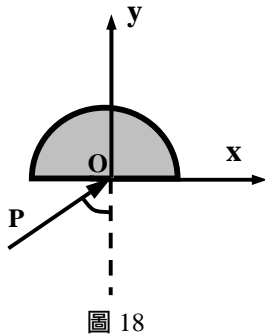
| 可能的作法  | 評分要點  |
|--|---|
| <p><b>法一：運用圓線圈中心磁場的概念</b></p> $B = \frac{\mu_0 I}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.1 \times 10^{-3}}{2 \times 5.3 \times 10^{-11}} \approx 13.0 \text{ T}$ | <p>概念正確<br/>(電子繞原子核所產生的磁場可視為圓線圈中心的磁場)</p> <p>列式正確<br/>(正確列出圓線圈中心磁場的公式)</p> <p>答案正確<br/>(量值在 12 T ~ 14 T之間皆給分，數值與單位都要正確)</p> |

由於本題可以從電磁學或近代物理的觀點出發，因此在作法上有明顯的多樣性。評分要點包含概念、公式與答案等三部份的正確性，考生解題所用的概念與公式可看出考生是否有正確的觀念，其重要性高於所求數值結果。值得一提的是此題的評分要點使相同量值不重複計分，例如第2小題所求速率值需代入第3小題求電流，因此第2小題著重在概念與列式的正確性，而速率量值的分數則是包含於第3小題。另外，各小題的最後所求數值都考量其可在合理的誤差範圍。

考生在本題常發生的錯誤有二，一是量值只寫了數值，而忘了單位；另一則是第4小題的公式寫成距離長直導線 $r$ 處的磁場  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ 。

**試題**

二、大華利用半徑為  $5.00\text{cm}$ ，薄壁折射率為  $n_c = 1.52$ ，厚度可以忽略不計的透明半圓皿，進行下列實驗。如圖 18 所示，大華在白紙上繪製  $xy$  坐標，並以公分為單位。將半圓皿的圓心與原點  $O$  重合，直徑（平直面）與  $x$  軸重合。



1. 測量液體折射率：使入射光由  $O$  點入射，此時入射角為  $\theta = 53^\circ$  ( $\sin 53^\circ = \frac{4}{5}$ )，如圖 18 所示。裝滿待測液體之後，大華測得折射之後的光線與圓弧面交點位置的  $x$  坐標為  $2.80\text{cm}$ 。

  - (a) 大華測量所用直尺的最小刻度為何？（2分）
  - (b) 計算並以正確有效位數紀錄待測液體的折射率  $n_L = ?$ （3分）
2. 觀測光線路徑：如圖 19 所示，入射光線  $\overrightarrow{PQ}$  與  $y$  軸的夾角是  $\theta = 53^\circ$ ，且  $\overrightarrow{PQ}$  延長線與半圓皿相交於  $O$  點。當半圓皿內注滿折射率為  $n_L = 1.3$  的液體之後，射出半圓皿的光線經過第幾象限？與  $y$  軸的夾角為何？（3分）
3. 觀測雙狹縫干涉：如圖 20 所示，在  $O$  點內側放置一個雙狹縫，狹縫間距為  $0.020\text{mm}$ 。在空氣中波長是  $650\text{nm}$  的雷射光束，沿著  $y$  軸方向射向雙狹縫。屏幕位於  $y = 2.0\text{m}$ 。半圓皿內注滿折射率為  $n_L = 1.3$  的液體之後，從兩狹縫發出的光波皆可視為由  $O$  點發出，計算屏幕上所見亮紋間距。（2分）

**可能的作法、評分要點與作答錯誤類型**

本題題幹所述實驗步驟是參考選修物理「折射率的測定」實驗，測驗有關折射率與雙狹縫干涉的概念，並要考生注意數值的有效數字。以下主要由所運用的不同公式，分別列出各小題可能的作法與評分要點。

**第1小題 (5分)**

| 可能的作法  | 評分要點   |
|--|--|
| <p>(a)曉華測量所用的直尺最小刻度為 1 mm</p> <p>(b)<br/><b>法一：不考慮薄壁的折射</b></p> $n_A \sin \theta_A = n_L \sin \theta_L$ $1 \times \frac{4}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = n_L \sin \theta_L = n_L \frac{2.80}{5}$ $n_L = \frac{4}{5} \times \frac{5}{2.80} \approx 1.43$ <p><b>法二：即使考慮薄壁的折射，也不會影響答案</b></p> $\sin \alpha = \sin 53^\circ \times \frac{1}{1.52} \quad \sin \beta = \sin \alpha \times \frac{1.52}{n_L}$ $\frac{2.80}{5} = \frac{4}{5} \times \frac{1}{1.52} \times \frac{1.52}{n_L}$ $\therefore n_L = \frac{4}{5} \times \frac{5}{2.80} \approx 1.43$ <p>過程會出現1.52，但不影響答案</p> | <p>概念正確<br/>(有效數字、折射定律)</p> <p>列式正確<br/>(折射定律正確的數學形式，即使考慮薄壁的折射率，也會在計算過程中被抵銷，不會影響答案)</p> <p>答案正確<br/>(a)最小刻度為1 mm<br/>(b)寫出 <math>n_L</math> 時能夠留存正確的有效位數 (二位或三位)</p> |

**第2小題 (3分)**

| 可能的作法  | 評分要點  |
|--|---|
| <p><b>法一：由折射定律得知發生全反射</b></p> $n_L \sin \theta_L (= n_c \sin \theta_c) = n_A \sin \theta_A = 1.3 \times \frac{4}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = \frac{5.2}{5} > 1$ <p>發生全反射，故光線由第 II 象限射出，反射角=入射角，射出光線與 y 軸夾角為 53°。</p> | <p>概念正確<br/>(發生全反射的條件)</p> <p>列式正確<br/>(折射定律正確的數學形式，或<br/>求出臨界角小於入射角 53°)</p> <p>答案正確<br/>(第 II 象限，射出光線與 y 軸夾角<br/>為 53°)</p> |
| <p><b>法二：由入射角大於臨界角知其發生全反射</b></p> <p>先求臨界角 <math>\sin \beta = \frac{1}{1.3} &lt; \frac{4}{5} = \sin 53^\circ</math></p> <p>發生全反射，故光線由第 II 象限射出，反射角=入射角，射出光線與 y 軸夾角為 53°。</p>                                 |   |

**第3小題 (2分)**

| 可能的作法  | 評分要點  |
|--|---|
| <p><b>法一：由 <math>d \sin \theta = m \lambda_L</math> , <math>m = 1, 2, 3 \dots</math> 求得亮紋間距</b></p> $d \sin \theta \approx d \theta = \frac{dX}{Y} = m \lambda_L , m = 1, 2, 3 \dots$ $\lambda_L = \frac{\lambda}{n_L} = \frac{650}{1.3} = 5.0 \times 10^2 \text{ nm}$ $X_m = \frac{Y \times m \lambda_L}{d} = \frac{2.00 \times m \times 500 \times 10^{-9}}{0.020 \times 10^{-3}} = 0.05 \times m$ $\Delta X = 0.05 \text{ m}$ | <p>概念正確<br/>(雙狹縫干涉)</p> <p>列式正確<br/>(列出 <math>d \sin \theta = m \lambda_L</math> 或<br/><math>\Delta y = \frac{r \lambda_L}{d}</math> , 並知 <math>\lambda_L = \frac{\lambda}{n_L}</math> )</p> <p>答案正確<br/>(亮紋間距為 0.05 m)</p> |
| <p><b>法二：由 <math>\Delta y = \frac{r \lambda_L}{d}</math> 求得亮紋間距</b></p> $\Delta y = \frac{r \lambda_L}{d}$ $\lambda_L = \frac{\lambda}{n_L} = \frac{650}{1.3} = 500 \text{ nm}$ $\Delta y = \frac{2.00 \text{ m} \times 500 \times 10^{-9} \text{ m}}{0.020 \times 10^{-3} \text{ m}} = 0.05 \text{ m}$  |   |

此題作法的多樣性是由於所運用的公式不同，而考生主要發生的錯誤在第1小題將薄壁的折射率代入後就無法消去，導致無法求出正確結果。

無論是第一大題或第二大題，仍會常見考生所寫出的量值沒有單位，這是多年來閱卷時都會見到的情況，在此建議高中教學時可強調量值必須包含單位的觀念。

考後的媒體報導有提及部份考生認為第一大題計算量大，且對於沒有求得最後的正確量值覺得沮喪，由前述評分標準可以得知，只要概念正確，並列出正確公式，仍可得到分數。即使第一大題看起來數字很嚇人，考生不應該放棄作答，應該靜下心來，將自己所知道的概念明確的表達出來。建議考生平常可以練習文字表達的能力，考試時才能清楚表達自己解題的想法。