

## 物理考科非選擇題評分標準說明

程暉滢

98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。此份評分標準說明希望能讓考生更明白指考物理科非選擇題的答題要求，也希望對高中教學有正面的意義。

### 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. 如圖 15 所示，有一半徑為  $R$ 、重為  $W$ 、材質均勻的光滑輪子，與高  $h$  的階梯接觸，靜置於水平地面上。今在輪子中心處施一水平力  $F$ ，使其爬上階梯，若輪子不變形，回答下列問題。
1. 輪子在受到一水平力  $F$ ，但尚未脫離地面，呈靜態平衡時，輪子受到哪些力？列舉並繪出其力圖。（4分）
  2. 承上題，列出輪子所受垂直與水平分力的方程式。（2分）
  3. 以輪子與階梯的接觸點為參考點，列出力矩方程式，求在輪子中心處最少需施力多少才能使輪子脫離地面？（4分）

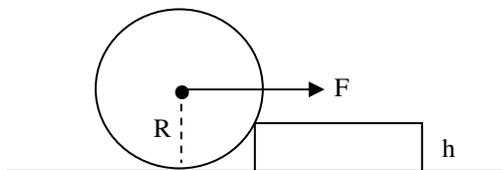
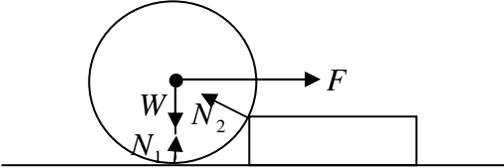
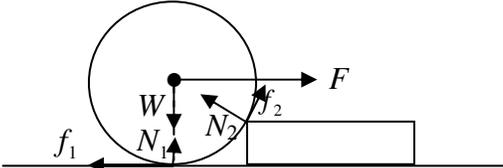


圖 15

## 可能的作法、評分要點與作答錯誤類型

## 第1小題 (4分)

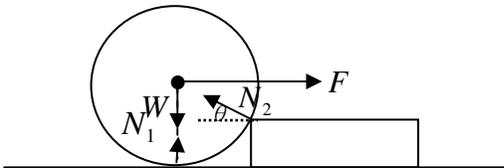
第1小題要先分析靜力平衡下輪子所受的力。由於試題中未說明接觸面光滑與否，因此忽略摩擦力與考慮摩擦力都被列為可給分的作法。

可能的作法	評分要點
<p><b>法一：不考慮摩擦力</b>  <math>F</math> 為外施水平力，<math>W</math> 為重力，<math>N_1</math> 為地面對輪子正向力，<math>N_2</math> 為階梯的反作用力</p> 	<p>概念正確            (靜力平衡)</p> <p>圖示正確            (圖示並列出輪子所受的力)</p>
<p><b>法二：考慮摩擦力</b>  <math>F</math> 為外施水平力，<math>W</math> 為重力，<math>N_1</math> 為地面對輪子的正向力，<math>N_2</math> 為階梯的反作用力，<math>f_1</math> 為地面對輪子的靜摩擦力，<math>f_2</math> 為階梯對輪子的靜摩擦力。</p> 	<p>答案正確            (<math>F</math> 為外施水平力，<math>W</math> 為重力，<math>N_1</math> 為地面對輪子的正向力，<math>N_2</math> 為階梯的反作用力)</p> <p>(若考慮摩擦力，則除了上述四個力之外，則需再列出 <math>f_1</math> 為地面對輪子的靜摩擦力，<math>f_2</math> 為階梯對輪子的靜摩擦力)</p>

在第 1 小題，有部分考生會寫錯重力的形式，例如  $Wg$ 、 $\frac{W}{g}$ 。對於  $N_2$  的方向，有些考生未使其指向圓心。另外，在考慮摩擦力的作法中，有一些考生只列出  $f_1$  而未列  $f_2$ 。

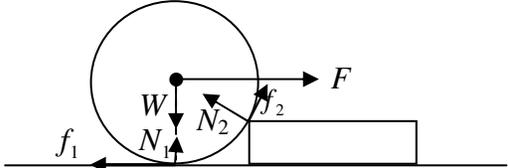
**第2小題 (2分)**

第2小題測驗力的分解，考生要能分解各力在垂直與水平的分量，並利用  $R$  與  $h$ ，分別列出輪子所受之垂直與水平分力方程式。

可能的作法	評分要點
<p><b>法一：不考慮摩擦力</b></p> <p><math>N_{2y}</math> 為 <math>N_2</math> 之垂直分力，<math>N_{2x}</math> 為 <math>N_2</math> 之水平分力</p> $N_{2x} = N_2 \left[ \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R} \right], N_{2y} = N_2 \left[ \frac{R - h}{R} \right]$ <p><math>\Sigma \vec{F} = 0</math></p> <p>垂直方向：<math>W - N_{2y} - N_1 = 0 \quad W = N_1 + N_2 \left[ \frac{R - h}{R} \right]</math></p> <p>水平方向：<math>F - N_{2x} = 0 \quad F = N_2 \left[ \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R} \right]</math></p>	<p>概念正確 (輪子所受垂直與水平分力皆為零)</p> <p>列式正確 (能分解各力在垂直與水平的分量，並分別列出輪子所受之垂直與水平分力方程式)</p>
<p><b>法二：不考慮摩擦力，但式中引用 <math>\theta</math></b></p> <p>式中引用 <math>\theta</math>，且在圖中標示出 <math>\theta</math></p>  <p><math>\Sigma \vec{F} = 0</math></p> <p>垂直方向：<math>W - N_2 \sin \theta - N_1 = 0</math></p> <p>水平方向：<math>F - N_2 \cos \theta = 0</math></p> $\sin \theta = \frac{R - h}{R}, \quad \cos \theta = \frac{\sqrt{R^2 - (R - h)^2}}{R} = \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R}$ <p>垂直方向：<math>W = N_1 + N_2 \left[ \frac{R - h}{R} \right]</math></p> <p>水平方向：<math>F = N_2 \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R}</math></p>	<p>答案正確</p>

有部分考生寫出向量式  $\vec{F} + \vec{W} + \vec{N}_1 + \vec{N}_2 = 0$ ，由於試題的要求是「列出輪子所受垂直與水平分力的方程式」，因此向量式顯然不合乎題幹要求。

以上是不考慮摩擦力的情形，此小題亦將考慮摩擦力的解法列入可給分的作法之一(如下表所示)。

可能的作法	評分要點
<p><b>法三：考慮摩擦力</b></p>  <p>a. 垂直方向</p> $W = N_1 + N_{2y} + f_{2y} = N_1 + N_2 \left[ \frac{R-h}{R} \right] + f_2 \left[ \frac{\sqrt{2Rh-h^2}}{R} \right]$ <p>b. 水平方向</p> $F = f_1 + N_{2x} - f_{2x} = f_1 + N_2 \left[ \frac{\sqrt{2Rh-h^2}}{R} \right] - f_2 \left[ \frac{R-h}{h} \right]$	<p>概念正確 (輪子所受垂直與水平分力皆為零)</p> <p>列式正確 (能分解各力在垂直與水平的分量，並分別列出輪子所受之垂直與水平分力方程式)</p> <p>答案正確</p>

**第3小題 (4分)**

第3小題有二個解題關鍵，一是輪子以接觸點作旋轉中心，因此  $N_2$  之力矩為零；另外則是當輪子離地爬上階梯的瞬間， $N_1 = 0$ 。所以只要找出外施水平力  $F$  與重力  $W$  的力矩，即可得力矩方程式。

可能的作法	評分要點
<p><b>法一：</b></p> <p>輪子以接觸點作旋轉中心，因此 <math>N_2</math> 之力矩為零，則</p> $F \cdot (R-h) = (W - N_1) \cdot \sqrt{R^2 - (R-h)^2}$ <p>而當輪子離地爬上階梯的瞬間，<math>N_1 = 0</math></p> <p>故力矩方程式為</p> $F \cdot (R-h) = W \cdot \sqrt{R^2 - (R-h)^2}$ $\Rightarrow F \geq \frac{\sqrt{2Rh-h^2}}{R-h} W$	<p>概念正確 (輪子以接觸點作旋轉中心，因此 <math>N_2</math> 之力矩為零。)</p> <p>(當輪子離地爬上階梯的瞬間，<math>N_1 = 0</math>。)</p> <p>列式正確</p>
<p><b>法二：</b></p> <p>輪子以接觸點作旋轉中心，因此 <math>N_2</math> 之力矩為零，則</p> $F \cdot R \sin \theta = (W - N_1) \cdot R \cos \theta$ <p>而當輪子離地爬上階梯的瞬間，<math>N_1 = 0</math></p> <p>故力矩方程式為 <math>FR \sin \theta = WR \cos \theta</math></p> $\sin \theta = \frac{R-h}{R} \quad \cos \theta = \frac{\sqrt{2Rh-h^2}}{R} \quad \therefore F \geq W \frac{\sqrt{2Rh-h^2}}{R-h}$	<p>(正確找出各力的力臂，並列出力矩方程式。)</p> <p>答案正確</p>

由於在此小題中  $N_1$ 、 $N_2$  皆為零，因此不需再考慮摩擦力的影響。另外，此小題常見的錯誤就是  $F$  或  $W$  的力臂列錯。

**試題**

二. 某生欲以安培計 A (其電阻為  $R_A$ )、伏特計 V (其電阻為  $R_V$ ) 及可調變的直流電源供應器 E, 來驗證歐姆定律並測量電阻器 R 的電阻, 已知電阻器 R 的電阻約略為數歐姆的低電阻。忽略接線的電阻與電源供應器的內電阻, 回答下列各問題。

1. 分析比較圖 16 中的甲、乙兩種電路圖所能求出的電阻器 R 的電阻, 並說明何者較能準確測量此電阻器的電阻。(4 分)
2. 測量時, 需要讀取那兩個儀器的數據? 此數據所形成的數據組要有何種關係方能驗證歐姆定律?(3 分)
3. 如何分析上述的數據組來獲知此電阻器的電阻? 並說明此實驗值與電阻器的實際電阻, 它們兩者間大小的關係。(3 分)

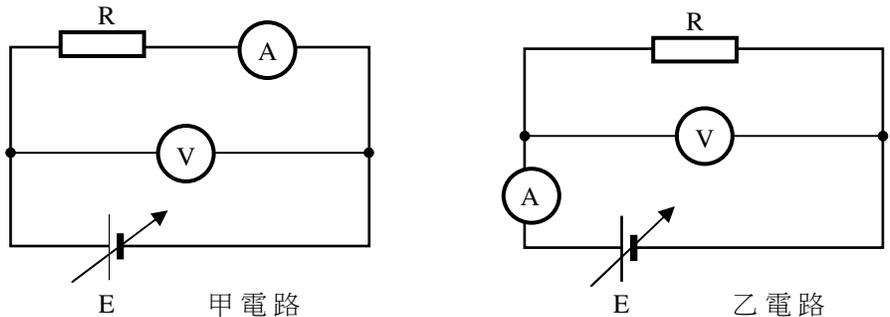


圖 16

**可能的作法、評分要點與作答錯誤類型**

**第 1 小題 (4 分)**

首先考生要先知道試題中待測電阻與安培計的內電阻相近, 故待測電阻不能與安培計串聯。再運用歐姆定律與電阻串並聯的觀念, 分析甲電路與乙電路所測得的電阻值與誤差, 便可得知應使用乙電路。

可能的作法	評分要點
<p><b>法一：</b>                      用乙電路測量較準確, 理由如下:                      設安培計、伏特計的內阻分別為 <math>R_A</math> 與 <math>R_V</math>。                      甲電路所測得的電阻 <math>R_m = \frac{V}{I} = R + R_A</math>                      乙電路所測得的電阻 <math>R_m = \frac{V}{I} = \frac{V}{I_R + I_V} = \frac{V}{\frac{V}{R} + \frac{V}{R_V}} = \frac{R}{1 + \frac{R}{R_V}}</math>                      因為安培計的電阻 <math>R_A</math> 接近待測電阻 <math>R</math>, 待測電阻不能與安培計串聯, 故不能使用甲電路, 而需使用乙電路。                      而伏特計的電阻 <math>R_V</math> 遠大於待測電阻 <math>R</math>。                      所以乙電路所測得的電阻 <math>R_m = \frac{V}{I} = \frac{R}{1 + \frac{R}{R_V}} \approx R</math></p>	<p>概念正確                      (歐姆定律、電阻的串並聯、高電阻法與低電阻法的應用)                      列式正確                      (分析甲電路與乙電路所測得的電阻值與誤差)                      答案正確</p>

可能的作法	評分要點
<p><b>法二：</b>            待測電阻兩端電壓為<math>V_R</math>，通過電流為<math>I_R</math>            甲電路測得電壓為<math>V_{甲}</math>，電流為<math>I_{甲}</math>  <math>\therefore V_{甲} &gt; V_R \quad I_{甲} = I_R \quad \therefore \frac{V_{甲}}{I_{甲}} &gt; \frac{V_R}{I_R}</math>            乙電路測得電壓為<math>V_{乙}</math>，電流為<math>I_{乙}</math>  <math>\therefore V_{乙} = V_R \quad I_{乙} &gt; I_R \quad \therefore \frac{V_{乙}}{I_{乙}} &lt; \frac{V_R}{I_R}</math>  <math>\therefore \frac{V_{甲}}{I_{甲}} &gt; \frac{V_R}{I_R} &gt; \frac{V_{乙}}{I_{乙}}</math>            因為<math>R</math>為低電阻，甲電路測得電壓會有較大的誤差，但乙電路測得電流誤差小，故用乙電路。</p>	<p>概念正確            (歐姆定律、電阻的串並聯、高電阻法與低電阻法的應用)</p> <p>列式正確            (分析甲電路與乙電路所測得的電阻值與誤差)</p> <p>答案正確</p>

此小題常看到考生分析了甲、乙電路的測量值，卻沒有指出應該使用哪一個電路。

### 第2小題 (3分)

題幹中只有伏特計與安培計兩個儀器，因此答案只能是兩者的讀值。

可能的作法	評分要點
<p>a. 測量伏特計電壓值與安培計電流值。            b. 電壓與電流應呈線性關係。</p>	<p>概念正確            (歐姆定律)</p> <p>表述正確            (電壓與電流應呈線性關係)</p> <p>答案正確</p>

**第3小題 (3分)**

此小題主要測驗考生對於數據的分析，求電阻正確的方法應是由電壓對電流的數據圖求斜率，但考慮高中課程內容，亦將由各數據組求平均電阻值列為可給分的作法。然而，老師們教學時應該強調由電壓對電流的數據圖求斜率，才是正確的作法。

可能的作法	評分要點
<p><b>法一：</b></p> <p>a. 在方格紙做電壓對電流的數據圖，數據點連成直線，其斜率為</p> $\frac{V}{I} = R_m$ <p>b. 實際電阻值 <math>R &gt; \frac{R}{1 + \frac{R}{R_V}}</math> 乙電路所得之實驗值</p>	<p>概念正確 (歐姆定律、數據分析)</p> <p>表述正確 (由電壓對電流的數據圖求斜率，或由各數據組求平均電阻值)</p>
<p><b>法二：</b></p> <p>a. 對各數據組 <math>V_k, I_k</math> 求 <math>R_k = V_k / I_k</math>；再求平均之電阻值</p> $R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N}{N}$ <p>b. 實際電阻值 <math>R &gt; \frac{R}{1 + \frac{R}{R_V}}</math> 乙電路所測得之實驗值</p>	<p>(分析待測電阻的實驗值與實際值之差異)</p> <p>答案正確</p>

由以上的說明可看出，不論是計算題或問答題，評分標準的訂定都有全面的考量，儘量把可能的情況囊括其中。而筆者分析考生常見錯誤，一方面希望幫助試題再釐清題意，另一方面也希望提醒考生在作答時務必清楚表達想法，尤其對所使用的符號需做明確的定義。