

高中物理科教學評量模式 及認知層次說明

連坤德

國立高雄師範學院物理系

高中物理與其他科目，諸如歷史、國文有所不同，是需要進行操作及實驗的，因此爲了達到教學評量的目的，它需要下列三種評量的模式：

(一) 物理概念核心型：

本模型係以主要物理概念爲核心，而以次概念爲題幹，設計出一組題群，以診斷出學生學習困難，進而作爲教師輔導及矯正學生錯誤概念之評量模式。例如我們要考「牛頓第二及第三定律」，那麼「牛頓第二、第三定律」即爲物理概念的核心，而其次概念包括①慣性坐標②力與加速度③作用力與反作用力……等等。則經由此次概念爲題幹可設計出一組題群，以達診斷學生學習困難之目的。

(二) 科學過程核心型：

本模型係以形成物理概念之探討過程爲核心所進行的教學評量模式。例如我們做波義耳定律實驗時，實驗的每一次都需要將溫度維持一樣的數值，即所謂的控制變因，還有在實驗過程中，要觀察壓力與體積大小如何變化，並將它們的數值測量出來。實驗完畢之後更要畫出壓力與體積關係圖表，經由圖表作比較、分析，預測推演之用。因此歸納起來，本模型命題之探討過程包括：觀察、測量、分類、預測、推演、認識變因、控制變因、運用圖表、建立定律等。

(三) 實作技能核心型：

本模型係針對學生實驗儀器及零件之認識、實驗操作中可能面臨之困難，解決辦法以及簡單實驗設計為核心的評量模式。

以上三種評量模式，多位專家採用了「Bloom分類的認知層次」，即將每種模式分成記憶、理解、應用、分析、綜合、評鑑等六個層次，個人則認為要決定這些認知層次是相當的困難，因此只將認知層次分成初、中、高三個層次，為便於說明，將三種模式主觀地以三種層次舉例說明如下：

(一) 物理概念核心型：

1. 初層次：物理科是一門探討「為什麼」的科學，故考記憶性之題目乃無意義。是以了解一個概念定為初層次。

2. 中層次：是以了解二個、三個或四個概念均定為中層次。

3. 高層次：是以了解五個或五個以上之概念定為高層次。

茲以牛頓第二、第三定律及摩擦力之主要概念為例，敘述如后：

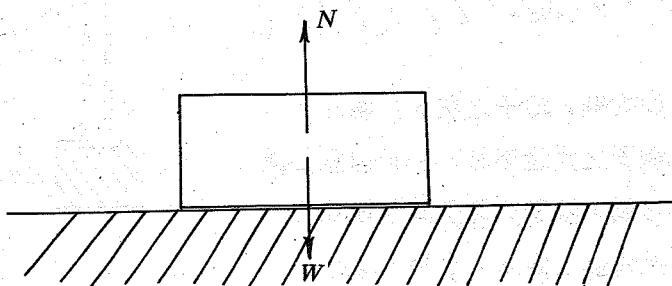
例一：

題目內容：火車由西向東以等速 $\vec{v}$ 通過月台，設月台為慣性坐標，問火車是否為慣性坐標？（正確答案與理由相符方計分）

層次說明：僅涉及慣性坐標一個概念，故屬初層次。

例二：

題目內容：如下圖一物體置於光滑之水平地面上，地面對物體之支持力是 N ，物體之重力為 W ，它們的大小相等，方向相反，問它們是否互為作用力及反作用力？（正確答案與理由相符方計分）



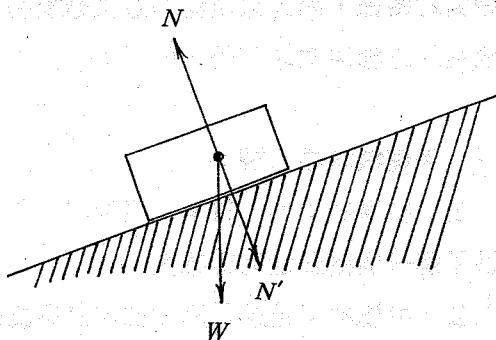
層次說明：僅涉及牛頓第三定律——互為作用力與反作用力之對象。因為只談到一個概念，是屬於初層次。

例三：

題目內容：同例二。問物體作用於地面上的力與物體的重力是否指同一個力？（正確答案與理由相符方計分）

層次說明：僅涉及牛頓第三定律——互為作用力與反作用力之對象。因為只談到一個概念，是屬於初層次。

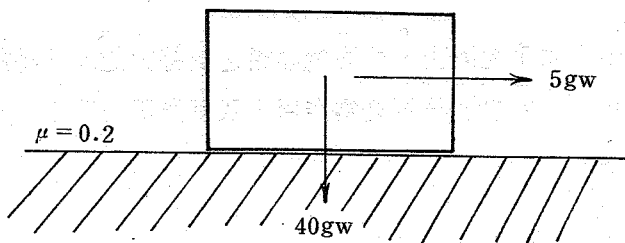
題目解說：本題之答案為「否」，為便於分析，可將地面傾斜一角度如右圖，由圖知作用於地面之力 N' 與 N 才是互為作用力與反作用力；同屬接觸力，而 W 是超距力，故 N' 與 W 不是指同一個力。



例四：

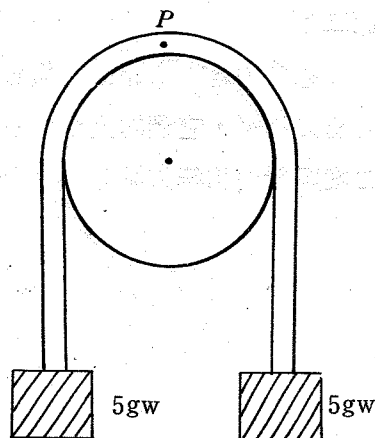
題目內容：如左下圖，一物體重 40 gw ，置於一水平桌面上，物體相對於桌面之摩擦係數為 0.2 ，張三以 5 gw 之水平力向右拉。試求摩擦力？

層次說明：涉及摩擦力與牛頓第三定律兩個概念，是屬中層次。



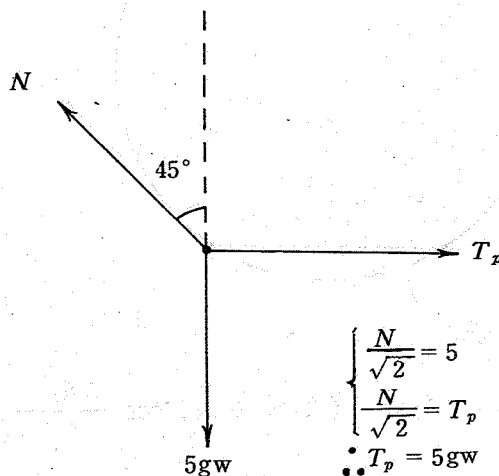
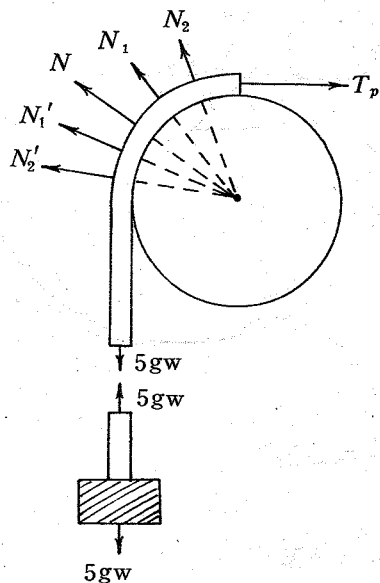
例五：

題目內容：如右圖，繩子之左、右兩端各吊一重物 5 gw ，繩子之質量不計，輪子由軸心處固定不轉動、不移動，輪子與繩子間無摩擦力，試問為何繩子在 P 點處之張力大小為 5 gw ？



層次說明：涉及牛頓第三定律，力之合成、分解，平衡條件，解方程式四個概念，故屬於中層次。

題目解說：在下方之左圖中，因輪子作用於繩子之力是朝輪子法線方向，故有力 N_1 、 N_1' 、 N_2 、 N_2' ……等等。但 N_1 與 N_1' 各可分解一力至 N 方向及 N 之垂直方向，而分解至 N 垂直方向之力互為抵消。 N_2 ， N_2' 之情形亦同。由此推論得輪子對繩子之作用力可視為只有朝 N 方向。亦即作用於繩子之外力平衡圖有如下方之右圖。

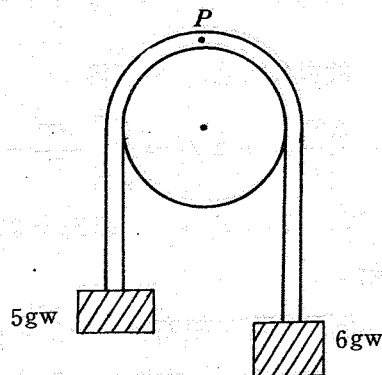


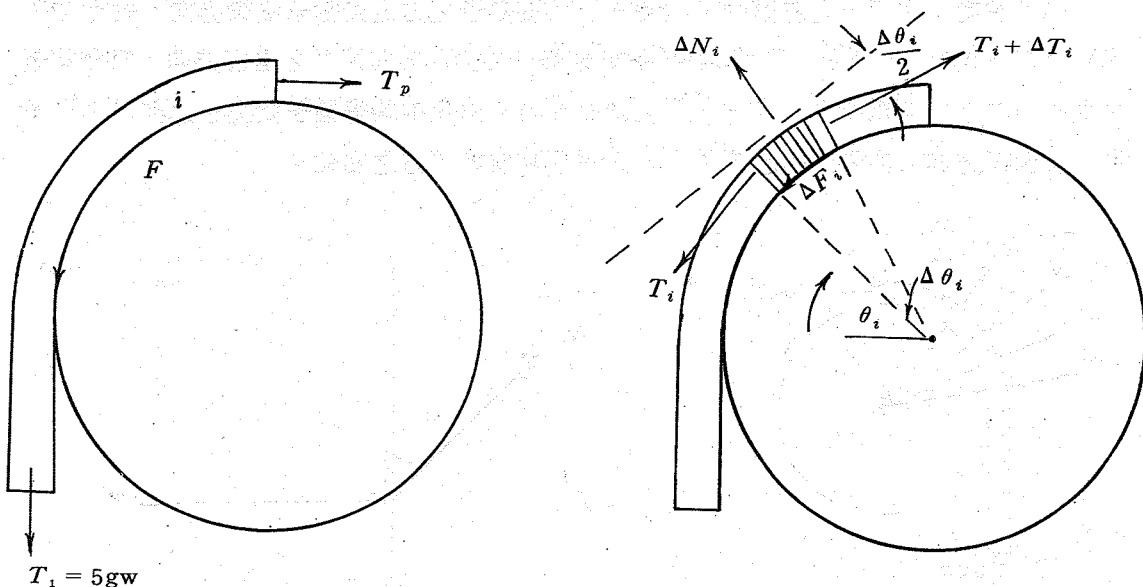
例六：

題目內容：如右圖，繩子之左端吊一重物 5 gw ，右端吊一重物 6 gw ，輪子由軸心處固定不轉動、不移動，輪子與繩子間之摩擦係數為 0.2 ，設整個系統在力平衡狀態，求繩子在 P 點處之張力大小？

層次說明：涉及牛頓第三定律，力之分解合成，摩擦力、平衡條件、微分、積分、解方程式等七個概念，故屬於高層次。

題目解說：摩擦力是延着輪子圓周之方向，如下頁左圖所示。為求摩擦力及繩子各點之張力，可在繩子任一點 i 附近取一段討論之。在 i 點附近的一段受力情形如下頁右圖所示。由力平衡條件，可知延輪子圓周及徑方向合力等於零。經積分即可得繩子任何一點之張力。





$$(1) \quad \theta \text{ 方向: } (T_i + \Delta T_i) \cos \frac{\Delta \theta_i}{2} - T_i \cos \frac{\Delta \theta_i}{2} = \Delta F_i$$

$$(2) \quad r \text{ 方向: } (T_i + \Delta T_i) \sin \frac{\Delta \theta_i}{2} + T_i \sin \frac{\Delta \theta_i}{2} = \Delta N_i$$

$$(3) \quad \text{摩擦力} \quad \Delta F_i = \mu \Delta N_i$$

$$\text{又因 } \cos \frac{\Delta \theta_i}{2} \doteq 1, \quad \sin \frac{\Delta \theta_i}{2} \doteq \frac{\Delta \theta_i}{2}, \quad \Delta T_i \sin \frac{\Delta \theta_i}{2} \rightarrow 0$$

故由(1), (2), (3)解得

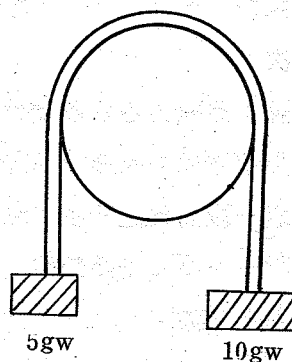
$$\frac{\Delta T_i}{T_i} = \mu \Delta \theta_i \Rightarrow \int_{T_1}^T \frac{dT}{T} = \int_0^\theta \mu d\theta$$

$$\therefore T = T_1 e^{\mu\theta} \quad \text{即 } T_p = T_1 e^{\mu\pi/2} = 5 e^{\mu\pi/2}$$

例七：

題目內容：如右圖，一無質量之繩子其左端吊一重物 $5gw$ ，右端吊一重物 $10gw$ ，輪子由軸心處固定不動，及不轉動，且輪子與繩子間無摩擦力，求任一重物之加速度？

層次說明：涉及牛頓第二、第三定律及同一繩子無質量無摩擦張力相同，解方程式等四



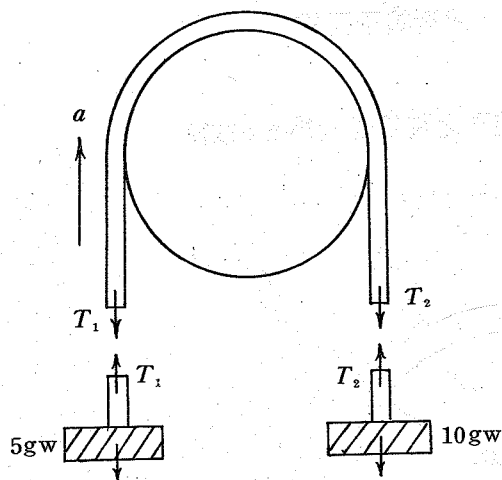
個概念，是屬中層次。

例八：

題目內容：同例七，唯輪子與繩子間有摩擦力，設摩擦係數為0.2，求任一重物之加速度？

層次說明：涉及牛頓第二、第三定律，摩擦力、力的分解合成、微分、積分、解方程式等七個概念，是屬高層次。

題目解說：



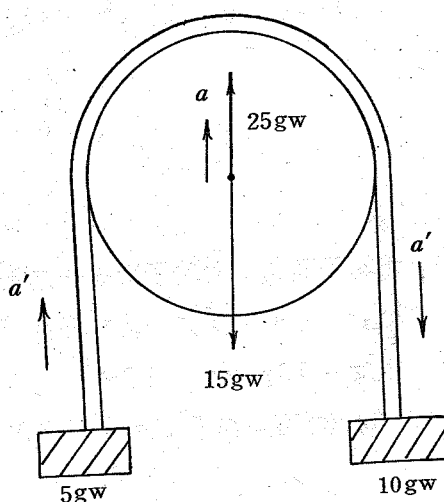
$$\begin{aligned} T_1 - 5g &= 5a \\ 10g - T_2 &= 10a \\ T_2 &= T_1 e^{\pi\mu} \end{aligned}$$

例九：

題目內容：如右圖，一無質量之繩子左端吊重物 5 gw，右端吊一重物 10 gw，輪子在軸心處固定不轉動，不移動，但輪子之重量為 15 gw，輪子與繩子間無摩擦力，張三抓緊輪子之軸心以 25 gw 之力往上提，求繩子左端之重物對地面之加速度？

層次說明：涉及牛頓第二、第三定律，同一繩子無質量無摩擦各點之張力相同；慣性坐標、加速度坐標、力之分解合成、解方程式等七個概念，屬高層次。

題目解說：牛頓第二、第三定律只在慣性坐標才能成立。設輪子對慣性坐標（將地



面設為慣性坐標)有向上之加速度 a ，而左端 5 gw 之重物對輪子亦設有一個向上的 a' 加速度，則此重物對慣性坐標而言，應有 $(a + a')$ 之加速度。同理，右端 10 gw 之重物對慣性坐標而言，應有 $(a' - a)$ 之加速度。

(a) 5 gw 及 10 gw 受力之情形如下：

$$T - 5g = 5(a' + a)$$

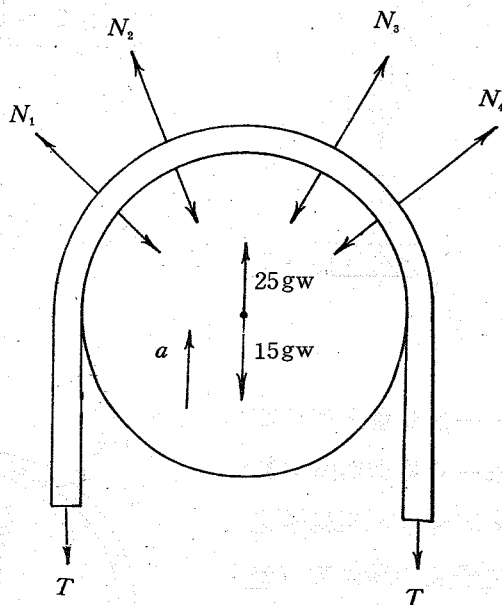
$$10g - T = 10(a' - a)$$

(b) 繩子之受力情形如下： $N_1, N_2, \dots$ 均可分解成垂直向上及水平之力，但水平之分力相互抵消，故得總向上力 N ，故對繩子而言

$$N - 2T = (\Delta m) a$$

上式中 (Δm) 是繩子的質量，但繩子之質量假設為零。故得

$$N = 2T$$



(c) 對輪子而言，因輪子壓繩子之總力為 N ，故繩子壓輪子之總力亦為 N ，但方向相反，故輪子受力後之情形如下

$$25g - 15g - N = 15a$$

由 (a), (b), (c) 可解得 T, a, a' 及 N 。

例十：

題目內容：題目與例九同，唯輪子與繩子之間有摩擦力，設摩擦係數為 μ ，求繩子

左端之重物對地面之加速度？

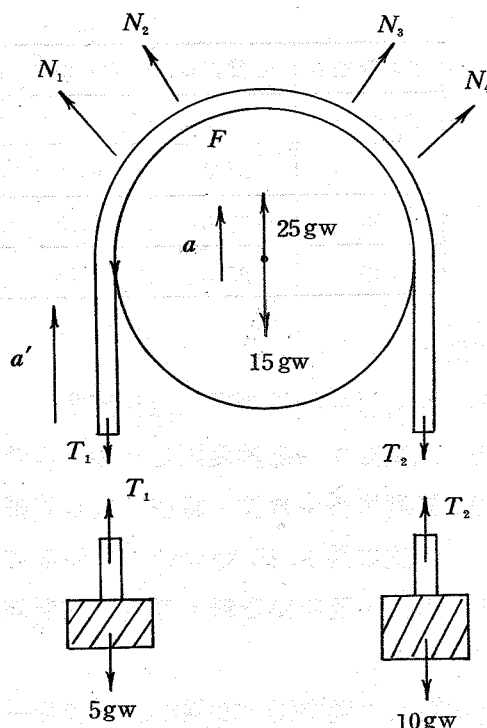
層次說明：涉及牛頓第二、第三定律，慣性坐標、摩擦力、力之分解合成、繩子有摩擦力之解法、解方程式等八個概念，故屬高層次。

題目解說：力之圖解如右：

- ① $T_1 - 5g = 5(a' + a)$
- ② $10g - T_2 = 10(a' - a)$
- ③ $N - (T_1 + T_2) = 0$
- ④ $25g - 15g - N = 15a$
- ⑤ $T_2 = T_1 e^{\mu\pi}$

由這五個方程式可解得

$$T_1, T_2, a, a', N$$



(二) 科學過程核心型：

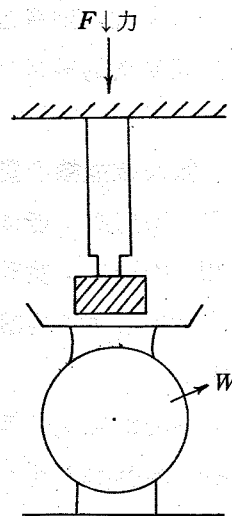
本模式層次之規定與科學概念核心型相同。惟此處概念一詞係指與過程相關之概念。

1. 初層次：只了解一個概念定為初層次。
2. 中層次：了解二個、三個或四個概念，定為中層次。
3. 高層次：了解五個或五個以上之概念，定為高層次。

例題：

本例題出自 73 年暑期教學評量研討會研習活動專輯，承辦單位是省立恒春高中。

題目內容：右圖為驗證波義耳定律之裝置，注射筒重為 $W = 0.50\text{kgw}$ ，截面積 $A = 2.50\text{cm}^2$ 。施力 F 時，彈簧秤讀數為 W ，施力後筒內壓力為 P （大氣壓力 $P_0 = 1000\text{ gw/cm}^2$ ），所得數據如下表：



注射筒空氣 體積 (cm ³)	溫度 (°C)	W (kgw)	作用力 (kgw) F = W - w	增加壓力 (kgw/cm ²)	P (kgw/cm ²) 注射筒的壓力
60	25.0	0.50	0	0	1.00
50	25.0	1.03	0.53	0.2	1.21
40	25.0	1.75	1.25	X	1.51

試問：

- (1) 此實驗中的控制變因是什麼？
- (2) 此實驗中的操縱變因是什麼？測量那一種物理量？
- (3) 試利用表中數據，將注射筒空氣體積和注射筒的壓力的關係圖，繪出其圖來？
- (4) 當施力為 1.25 kgw 時，其注射筒所增加的壓力 X 值？
- (5) 由(3)中及所得資料，可發現注射筒的壓力與注射筒氣體的體積（①無關②成正比③成反比）

層次說明：題中(1)、(2)兩小題只涉及一個概念，是為初層次。第(3)小題涉及體積與壓力及繪圖表三個概念，屬中層次。第(4)小題涉及體積、壓力及認識圖表三個概念，屬中層次。第(5)小題涉及體積、壓力、認識圖表及反比等四個概念，是屬中層次。本例題若再涉及溫度，則令溫度降得極低時，可能就有凝固現象；如果又加上認識圖表等，就會產生高層次的題目。

(三) 實作技能核心型：

1. 初層次：能使用實驗儀器及零件，定為初層次。
2. 中層次：實驗操作中面臨困難，能解決或能指出誤差原因者，定為中層次。
3. 高層次：能設計簡單實驗者，定為高層次。

例一：

本例題出自 73 年暑期教學評量研討會研習活動專輯，承辦單位是省立恒春高中。

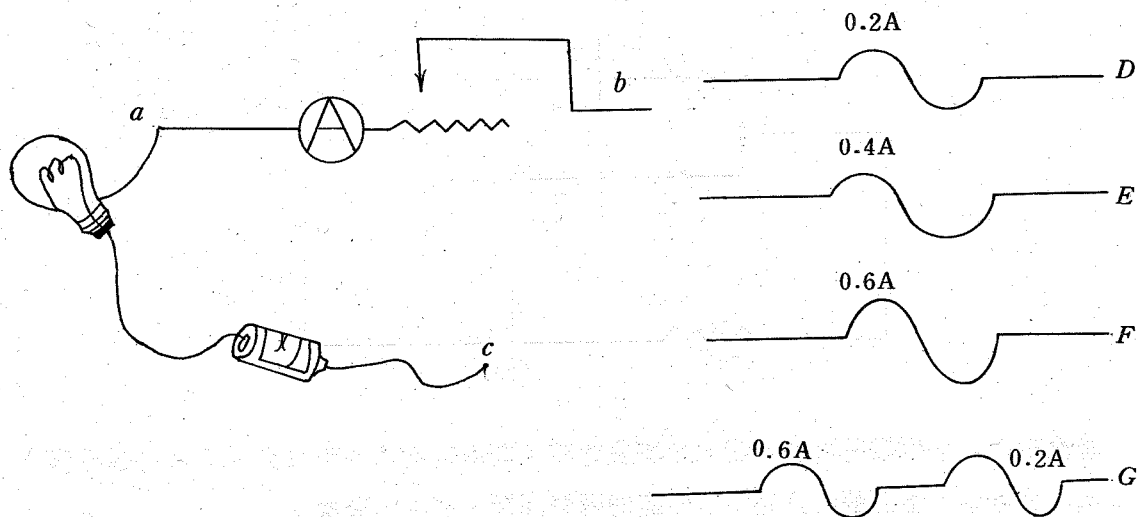
題目內容如下圖：

①  此電路符號，代表 _____。

② a, c 相接，燈泡是否會亮？

③ 承上題，若電池反接，燈泡是否會亮？

④ 若在 b, c 端接 D, E, F, G 當中之某一組，並且調整可變電阻，使電流維持



0.5 A，問何組為正確接法？

層次說明：因為論及使用零件，所以屬於初層次。

例二：

本例題出自國民中學學習成就評量理論與命題示例（物理學），台灣省政府教育廳發行。

題目內容：

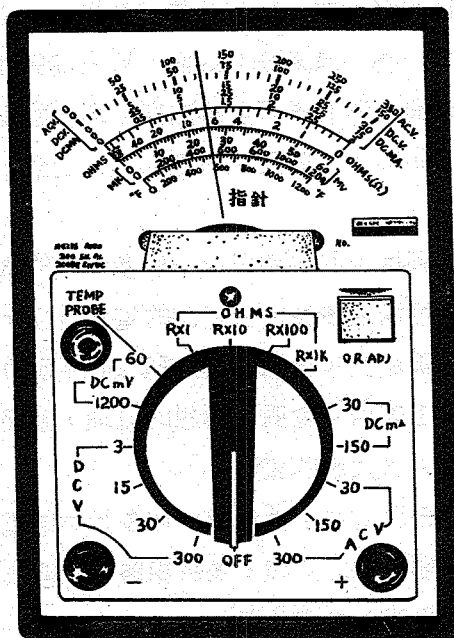
(1) 右圖為三用電錶圖，當選擇開關旋轉至 $R \times 10$ 檔上，由圖上指針所指的電阻大小為 _____ 歐姆。

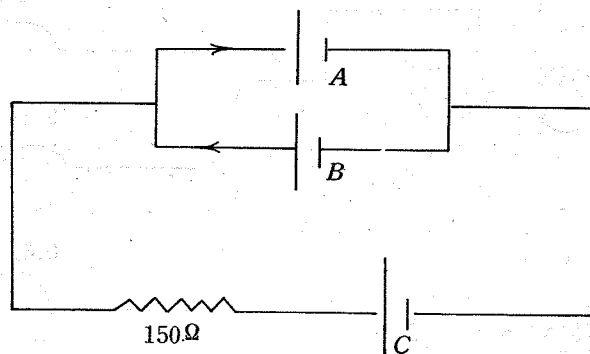
(2) 欲準確測量常用乾電池電壓，應將選擇開關旋轉至 _____ 檔。

層次說明：只論及使用儀器，故屬初層次。

例三：

題目內容：規格相同且使用一些時日的三個乾電池 A，B，C，如接成如下圖所示，由三用電錶測知，流經 A 電池之電流方向是由左方流向右方，而流經 B 電池之電流方向却是由右方流向左方，試問為何會發生此種現象？毛病出在何處？如何解決？



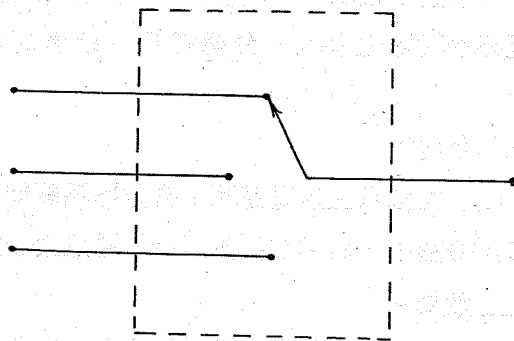


層次說明：學生做乾電池並聯、串聯實驗時，若乾電池用的時日久了，會有這毛病。本例題是考學生能否解決實驗中所面臨的困難問題，故屬中層次。

例四：

本例題出自 74 年大專聯考物理科試題。

題目內容：有一電流計其刻度為 0 至 50 毫安培，內電阻為 10 歐姆。另有電阻絲二捲，其中一捲每厘米 0.1 歐姆，另一捲每厘米 100 歐姆。還有單刀多擲開關（即多接觸點開關，如圖）一個及尺一把（不一定全用到）。



(a) 利用這些零件組成一個多量程的電流計（即可測定多種電流範圍的電流計），其最大之電流流量分別為 50 毫安培、500 毫安培及 1 安培。說明你構想的原理，並將線路連接的方式用圖表明。

(b) 再用這些零件組成一個多量程的電壓計，其最大電壓分別為 100 伏特及 500 伏特。說明你構想的原理，並將線路連接的方式用圖表明。

層次說明：屬實驗設計，定為高層次。

總結：

個人雖將三種評量模式各分成初、中、高三種層次，但出題目時，可將三種模式混合或單獨使用。且每種層次所涉及之概念宜於考前用表列出，以便利考後容易診斷出學生的困難所在，並能判斷出那些概念學生未能連接貫通。再者，考題的數目，初層次宜

佔 1/5，中層次佔 3/5，高層次佔 1/5。

參考資料：

1. 臺灣省高級中學教學評量手冊（物理科），許榮富著。P. 89～108.
2. 73 年暑期教學評量研討會研習活動專輯，省立恒春高中承辦。P. 54～55.
3. 國民中學學習成就評量——理論與命題示例。P. 112～113。臺灣省政府教育廳發行。

取材自：Frontiers of science 3：
Introduction to earth Sciences

地殼下的活動

地震的震動分二種類，一為予岩石以直接的衝擊，屬於推動的情況，學名稱之為“P”波動，另一種是橫向的搖動，稱之為“S”波動。

“P”波動在地殼內的傳達速度，約為每秒 8 公里；“S”波動，每秒傳達速度約為 5 公里。所以同時在三個設定的觀測所，測出的“P”波或“S”波的到達時間後，即可根據它們的時差，測知正確的地震發生位置。

根據地震計的記錄，只有“P”波動可以傳達地球各部位，而橫波的“S”波，不能在液體中傳達。藉此科學家知道的推論，是：地球內有融熔的“核”是被周邊固體物質地涵所包圍的。

地震的震源在附近時，地震計將同時記錄出“P”波及“S”波，此點係由南

斯拉夫的科學者所提出的。

上述情況，就是由于較輕的地殼，浮在重的地涵上所促成的。地殼和地涵的分界線，稱為“莫荷”面。

為測知地球全體地涵的深度，科學家在利用人工爆破的方法來進行。

依照地震記錄來分析，得知在大陸下的地殼較厚，而在海洋下的地殼較淺。

在地質學方面的研究，是有關地殼的岩石的資料現在已利用太空探測器，送入月球。

美國科學家現在為研究地涵的物質，已計畫直接的在太平洋下的地殼鑿穴探測。

此外為求知地球內部的真象，有待對地震儀的觀察資料的搜集研究。

然而意外的，已可由地震儀測知核子的試爆。

（本刊資料）