

1996年第27屆國際物理奧林匹亞競賽試題評析

林明瑞

國立台灣師範大學物理系

本屆試題主要由奧斯陸大學和挪威科技大學負責提供，命題委員會成員也包含奧斯陸地區的一些研究和教學機構的專家學者。理論試題共有三大題，每大題10分，共計30分，涵蓋力學、熱學、和電磁學；實驗試題僅有一個大題，但含五個小題，共計20分，主要在測驗力學、電磁學、和光學的實驗技巧、實驗數據處理、和實驗準確度。試題的配分如下：力學佔31%；熱學佔7%；電磁學佔56%；光學佔6%，近代物理佔1%。就試題的涵蓋面而言，「近代物理」的份量幾乎微不足道，「物理光學」則缺，使試題顯得廣度不足。就試題的配分而言，電磁學佔分比例超過一半，顯然過重，考試成績可能不易反映出學生對物理學知識的全面了解。下面就各題的內容評論如下：

一、理論第一題：

本題由五個不相屬的小題組成，難度由淺而深，配分也隨著調整。(a)小題有關電阻的串並聯計算，題目簡單，目的在給予參賽的學生能有基本的分數，免於掛零的尷尬。(b)小題則稍微難些，須利用到功能原理，即非保守力（如摩擦力）所作的功等於總力學能的變化。學生必須懂得如何寫出滑雪者滑經一小段位移所作的功，再積分全段解出。這題算是基礎力學程度的測試。(c)小題基本上只是在考熱容量的定義，學生必須把時間參數 t 消掉，求出 C_p 為溫度 T 的函數，「數學」的味道較濃。(d)小題為有關使用熱屏蔽，以降低熱輻射的問題。這一題為常見題，沒有新意。(e)小題為這五小題中，較有可觀者，也較能分出參賽者的物理程度。實際上此題只是安培定律的應用，但得小心列出兩個載流圓柱體內所生磁場的數學式，再分列出在 x -和 y -方向的磁場分量，然後應用重疊原理求得在兩月形導體之間中空區域的磁場強度。相當令人驚訝的是：這樣產生的磁場竟然是均勻磁場。

像這題有五個短題組成的題型，在歷屆國際物理奧林匹亞競賽中，還是首見；惟試題內容較淺，大多常見，難於啓迪深層的思考。但從另一方面來看，為免得學生一開始解題即受挫折，這種由易漸難的題型，還是應予肯定。

二、理論第二題：

本題由六個相關的小題，形成題組，討論電子在兩個同軸圓柱導體之間的磁場中的運動問題。(a)小題是簡單的電位能和電子動能的換算，但須分別以非相對論和相對論的方式計算。這是本屆競賽試題中，唯一觸及近代物理的題目，僅佔0.5分。(b)小題處理電子的運動軌跡，雖然電子在均勻磁場中的軌跡為圓形，但在此題中，電子從內圓柱的表面上沿徑向射出，因此其軌跡不是一個整圓。要解出使電子恰可觸及正極的臨界磁場，須畫出正確的圓軌跡，並應用其幾何關係，得出解答。這題雖稍有難度，但仍屬基本得分題。(c)小題須求出和角動量有關的常數，有一定的難度，可說是這一大題的關鍵題，其後的三個小題都須應用到這個常數式。學生若能小心應用圓柱座標的向量式，以表出電子所受的力矩，則此題當可直接順利解出。我國有兩位學生在這一小題失手。(d)和(e)兩小題相類似，實際上應合算一題，直接應用(c)題中的常數式即可求解。(f)小題則較前兩小題要深入一些，學生必須能清楚分辨電子在三維空間運動時，在各方向的速度分量，有那些是受磁場的影響，以及電子如何運動，然後應用能量守恆定律和(c)題的常數式，解出臨界磁場值。

這個大題雖然難度不高，但須應用到電學、磁學、和力學的概念，算是不錯的綜合題，但到底題目內容相當典型，創意嫌不足。

三、理論第三題：

這是利用位能的計算，以求解海洋潮汐落差的問題。取海洋表面上的一個水質點，就地球—月亮系統環繞其共同質心的轉動座標系而言，它具有三種位能：地球和月球的引力位能，以及離心力位能。解題的關鍵點有三：(1)靜止液體的表面是一個等位面；(2)離心力的位能 $-\frac{1}{2}m\omega^2 r_1^2$ ，式中徑向距離 r_1 是從共同質心算起，而不是從地心算起；(3)在位能的計算中，常數項可以捨去；其它項則須作數量級的比較，求近似解。

這一題的計算式相當繁複，若學生只知一步一趨的演算，而不懂得近似求解，那將陷於數學的泥淖之中，難於解出。這也是解「數學題」和「物理題」不同的地方；解「物理題」必須兼顧理論和實際，在複雜的計算式中，要能判斷那一項可以保留，又那些項可以捨去。有關潮汐的問題，一般教科書大多只作定性的解釋，少見作定量的說明。本題從位能的計算著手，導出高低潮的高度落差和方位角之間的理論公式，方法簡單直接，值得喝采。這一題的設計相當不錯，能分辨出學生對物理問題的解決能力，應

予好評。我國有二位學生在這一題取得滿分，真令我們欣慰。

綜觀本屆在挪威競賽的理論試題，難度較去年在澳洲的競賽試題低一些，廣度也不夠，題目內容偏向「古典式」，欠缺創意。三大題僅第三題尚有可觀之處，其餘兩題則不甚了了。有「天份」的學生可能沒有機會有「突出」的表現。在55國，258位參賽學生中，有十幾位獲得理論滿分，其中我國學生佔有二位。

四、實驗題：

以複擺的週期測定為主軸，分成五個小題。實驗儀器完全由奧斯陸大學自製。同一套儀器上除裝有複擺和週期計時器外，還裝有霍爾感磁片，用於測定磁場強度。複擺的底端嵌有一小磁鐵，使其在磁場中擺動，由所測出的週期變化，可定出該磁鐵的磁矩。儀器的設計和構造甚為經濟實用，值得稱道。

第1題要求學生測量在不同的螺帽位置 x ，所對應的週期 T 。因為題中已給予螺距的數據，所以利用計數轉動螺帽的圈數以定出 x ，是比用直尺測量位置要來得精確。但似乎多數學生仍直覺地用尺來量，由於精確度未達最佳程度，皆被扣分。我國僅有一位學生在已進行大半實驗後，才想到使用螺距的方法，但已時不我予了。

第2題要求利用複擺，測定重力加速度 g 值。最好的方法是利用「倒擺」(*Inverted Pendulum*)的原理，所定出的 g 值可達到4個有效數字，誤差僅來自於兩轉軸之間的長度測定和擺動週期的測量而已。這一題的難度甚高，雖然題中有暗示和引導，但在大賽緊張的氣氛和有限的作答時間下，很難聯想到使用「倒擺」的方法。在這一題中，必須注意到的是當螺帽變動位置時，複擺系統(螺棒+螺帽)的質心也隨之改變，因此轉動慣量 I 和轉軸至質心間的距離 l 皆為螺帽位置 x 的函數。絕大多數的學生皆利用第1題的數據，選擇對應相同週期的兩個位置數據 x ，代入複擺週期公式中，算出 g 值，這是錯誤的作法，而且有效數字最多只有3個。除非學生在作答中，有特別考慮到質心位置變動的影響，否則得不到任何分數。這一小題佔5分，佔分比重最高。我國學生在這一小題的得分不佳，其中有一位學生倒是仔細估算了因質心變動而必須加入的校正值，雖然未能贏取多少點數，但也顯出了他分析思考的縝密，值得嘉許。

第3題要求判斷螺帽反射面的形狀和曲率半徑。這一題出得很好，能有效考較學生的物理直覺和判斷能力。由於紅外光的發射源和偵測元件並排放置，為了使點光源射出的光，經反射後能被偵測到，則須(1)反射光焦聚在偵測元件處，(2)焦聚的反射光最好能形成線狀，當複擺擺動時，此焦聚的「線狀像」上下掃描，比較容易被偵測到。

就以上的要求而言，反射面應為柱形凹面鏡，其曲率半徑即為光源至鏡面間的距離。直接觀察螺帽的反射面也可約略看出為柱面。我國有兩位學生判斷正確，獲得全分。這兩位學生也是金牌得主。

第4題要求利用測磁片（霍爾感磁片），測量磁鐵的磁場強度和垂直距離間的函數關係。這一題雖然平常，但評分的重點在於讀取數據的精確度，例如(a)小題中的測量零磁電壓，必須使用數字電表的最靈敏檔，以得到4個有效數字（競賽用的電表為四位半電表）。如果列出的數據，沒有達到要求的有效數字位數，則得不到分數。我國學生習慣性的實驗馬虎，只求作得出來，不講究數據的精確度，結果在這一題中吃了不少虧。

第5題要求先測出複擺在磁場中的擺動週期，再據以計算出磁鐵的磁矩。這一題和上一題一樣，評分著重在數據的精確度，以及如何選擇試題(4)式中 $f(z)$ 的參考點。由於在此式中須用到轉軸至複擺質心間的距離 l ，如果未能以儀器平台上的刀片，平衡複擺以定出質心位置，再精確量出 l 值，則一律扣分。我國學生因此損失不少分數。

綜觀本屆競賽的實驗試題，在實驗的作法上，題中有甚為詳細的說明，不論學生們的實驗能力程度為何，應該都可進行。試題的設計主要在考較學生的實驗技巧和實驗數據的精確度，和去年澳洲實驗試題的命題設計相同，但內容方面則要來得高明一些。本屆的實驗試題有頗多可圈可點之處，應給予好評。

我國五位參賽學生在理論和實驗題的得分如下表：

姓名	所屬高中	年級	理論				合計	實驗得分	總分	獎牌
			第一題	第二題	第三題	合計				
黃承光	台中一中	高三	10.0	10.0	10.0	30.0	15.0	45.0	金	
陳摘文	建國高中	高二	10.0	10.0	10.0	30.0	13.0	43.0	金	
王毓駒	台中一中	高二	9.5	6.5	8.5	24.5	12.0	36.5	銀	
林明仕	台中一中	高三	9.5	7.5	7.0	24.0	12.0	36.0	銀	
陳和麟	建國高中	高三	9.5	10.0	5.5	25.0	8.5	33.5	銅	

全隊的理論平均成績在與賽的五十五國中，我國位列第三名；實驗平均成績位列第十九名；總得分平均成績（理論+實驗）則位列第六名。由於實驗題的評分，非常挑惕嚴苛，各隊的實驗成績普遍被壓縮，以致彼此間的差距不大，因此總分的排名，主要取決於理論成績。