

1999 年第 30 屆國際物理奧林匹亞競賽 試題評析

林明瑞

國立臺灣師範大學 物理系

本屆試題由義大利的波隆那 (Bologna) 大學、那不勒斯 (Naples) 大學、杜林 (Turin) 大學、特里斯特 (Trieste) 大學聯合命題。理論試題共有三大題，每大題 10 分，共計 30 分，涵蓋力學、熱學、電磁學、近代物理；實驗試題僅有一個大題，分成八個小題，共計 20 分，測驗有關扭擺的力學知識、實驗技巧、數據分析、和誤差處理。全套試題的配分如下：力學(含實驗)佔 62%，熱學佔 15%，近代物理佔 3%，電磁學佔 20%。就整套試題來看，力學過重，近代物理太少，光學從缺，試題的涵蓋面顯然失之偏頗。下面就各題的內容評析如下：

一、理論試題：

(一)理論第一題：

本題討論氣體分子吸收電磁輻射後的狀態變化。具有穩定功率的雷射光，透過玻璃活塞，照射圓筒內的氣體。氣體分子吸收入射光子的能量後，被激發至高能態，然後在逐級輻射出紅外線後，降回基態。輻射出的紅外線又為其它氣體分子所吸收，轉變為氣體分子的動能。因此使氣體的溫度升高，同時也推動活塞對外界作功。本題共分成六個小題，分別計算氣體在吸收輻射能後的壓力和溫度，對外界所作的功、每秒鐘所吸收的光子總數、以及光能轉換為活塞力學能的效率等。主要在測驗學生對熱力學第一定律的理解程度，要注意的是：氣體所吸收的輻射能有一部分轉存為氣體的內能而使溫度升高，另一部分則推動活塞對外界作功。本題相當簡單，只要對內能有清楚的概念，便可輕易解出。題中有關光子數和能量的計算，是全套試題中唯一涉及近代物理的部分，但這只能算是基礎的知識，談不上能測出學生對近代物理的了解程度。這道題就認知能力的分級而言，僅是「理解」的層次，還未及「分析」的等級。作為國際競賽的試題，這一題是過於簡單了。從本文末的附表二中可看出所有獲獎學生(榮譽獎以上)在這一題的得分中數為 8.6，顯然區分學生程度的能力甚低。

命題委員會主席在試題審查會議一開始時，就強調為了避免學生因試題過難，而產生挫折感，因此本屆試題的難度在企圖確保能使約半數的學生得到一半以上的分數。這一題就是為此目標而設。題目固然簡單，但是評分時非常嚴格，特別注重計算結果的有效數字

位數，數字過多或過少都會被扣分。

我國學生在這一題的得分情形相當好，有兩位滿分，一位接近滿分，另兩位則是在內能的計算上出了差錯，丟了一點分數。

(二)理論第二題

本題計算 V 形載流導線所生的磁場強度，試題源自於物理史上的一段公案。設 V 形導線的夾角為 α ，則在其對稱軸上任一點 P 的磁場強度，在物理史上最初研究電流的磁效應時，曾有爭論：安培認為應和 $\tan(\alpha/2)$ 成正比，但是必歐和沙伐卻認為應和 $\alpha/2$ 成正比。當然理論上的爭議必須依靠實驗的驗證來解決。利用一根放置在 P 點的小磁針，因受有磁力矩的作用而產生振動，由振動的週期可以推算或比較在該點的磁場強度。但是當 α 很小時， $\tan(\alpha/2)$ 近似等於 $\alpha/2$ ，如果考慮實驗的誤差範圍，將無法分辨孰是孰非。本題的重點在要求學生解出 α 角至少要多大時，兩方所預測的振動週期可有 10% 以上的差異，從而可辨證出哪一方的理論才是正確。

這一道題有些「復古」的味道！和前幾屆引自物理前沿研究的競賽試題大相逕庭。本題可利用對稱和補償的計算技巧得出答案，但實際上利用積分求解，反而直接了當。按命題者的估計，第二題要較第一題稍難些，但實際上並不見得。從附表二可看出全體獲獎學生在本題得分的中數高達 9.0，就區別學生能力的效果而言，這一道題可說是落空了！

我國五位學生在這一題的表現，沒什麼失誤，但由於評分異常嚴格，要拿到滿滿的 10 分，卻也不是易事。

(三)理論第三題

本題討論一般星際航行中常用的方法，即當太空船經過行星附近時，利用行星的重力場，吸引太空船使其加速飛往預定的方向。本題以木星為例，當太空船(在題中稱太空探測器)靠近木星時，受到木星的重力吸引，循著雙曲線的軌道加速繞著木星飛行，最後遠離木星而去。木星的重力對太空船作用的效果就好像用彈弓將彈體射出一樣。題目的重點在計算太空船被木星的重力甩出後的最後速率和偏向角。本題共分成八個小題，逐步引導學生解出最後的結果。學生必須懂得使用伽立略轉換式或利用相對速度公式，將太空船在太陽參考坐標系中的速度轉換為在木星參考系中的速度。然後應用題中給予的雙曲線軌道方程式，計算太空船遠離木星時的速度和偏向角。最後再將這個速度轉換回在太陽參考系中的速度，並利用已知的數據計算其數值。

本題的求解過程是有些曲折，尤其在計算偏向角時容易犯錯，其難度較前兩題要大得多，對學生可算是小小的挑戰。但是若對比往屆競賽的難題，那麼這一題又不算是什麼了，

所要求的分析能力並不高，只要小心應付，不難完全解出。

我國學生有一位全對，另兩位接近滿分，餘下的兩位則在偏向角和速度的數值計算上有些失誤。五位學生在這一題的平均得分仍然高達 9.1 分，比全體獲獎學生的平均得分 7.6 分要高得多。

綜觀本屆的理論試題，實在是乏善可陳，難怪一位英國教授在試題審查會議結束時，質問命題委員會這樣的試題到底是要用來考什麼程度的學生？所有來參加國際競賽的學生都受到高度的訓練，這套題目幾無挑戰性可言！

二、實驗試題

本題為有關扭擺的力學實驗。扭擺由一個中空圓筒加上一根可旋入的長螺桿所組成。一條鋼線穿過靠近圓筒底端的貫孔後，拉緊固定在底座上，作為轉軸。圓筒則以六角螺絲從其底端旋入鎖定在鋼線上。該扭擺系統可用七個參數來描述，即 κ （扭力係數）、 M_1 （圓筒質量）、 M_2 （螺桿質量）、 R_1 （圓筒質心至轉軸的距離）、 I_1 （圓筒轉動慣量）、 ℓ （螺桿長度）、和 θ_0 （當扭力矩為零時，底座平面法線方向和扭擺之間的夾角），但每次組裝後所得的 θ_0 會有變動。因此系統參數中只有六個是真正的常數，而本實驗之目的就是要從實驗中定出這六個參數，即 κ 、 M_1 、 M_2 、 R_1 、 I_1 、和 ℓ 。本題共分成八小題，每小題相當於一個實驗測量或是相關的理論分析，逐步引導學生解出這些參數。下面就各小題分別評析：

- (1) 學生必須懂得將扭擺橫放在 T 形截面的金屬桿上，定出扭擺的質心位置。在不同的螺桿旋出位置上，測量扭擺質心至轉軸的距離 $R(x)$ 。在試題中沒有說明 T 形桿的用途，學生必須能聯想到它的功用。這是基本的力學實驗技巧，在 1996 年的奧斯陸（挪威）實驗試題中也曾用過。
 - (2) 從 $R(x)$ 的理論關係式（線性）中，利用前題的實驗數據，應用線性迴歸法解出 M_1 與 M_2 。(1) 和(2)兩題結合實驗測量和理論分析，是很好的組合，可以檢驗學生的基本實驗能力。我國五位學生在這一部分的作答，總體還算不錯，有一位取得滿分，其他四位在量取數據時，不夠精確，另外在作誤差分析時，也不夠確實，被扣了一些分數。
 - (3) 要求學生寫出扭擺的轉動慣量的理論式，作為下一步實驗的起點。
 - (4) 要求學生寫出當轉軸呈水平時，扭擺的轉動方程式，作為分析實驗數據的理論依據。寫這個方程式相當於在考驗學生的理論分析能力，以及思慮是否周詳？特別是 θ_0 的處理，雖然在試題中有清楚的圖解，但在短時間內要處理得當，得需要有相當清楚的頭腦才行。
- (3)和(4)的理論引導是很好的試題安排，可以提示學生在下一步實驗中必須考慮的物理狀況。我們有兩位學生就失誤在 θ_0 的處理上，以致於連累接下來的數據處理，丟了許多點

數。

- (5)在不同的螺桿旋出位置上，測量扭擺的平衡角度 $\theta_e(x)$ 。這個小題主要在評量學生如何測量角度及估計誤差。在提供的實驗器材項目中沒有量角器，因此角度的測量是由其正弦值來計算。其實就是量角器，所測出的角度值不見得精確。角度的正弦值是由兩個邊長相除而得，長度可以量得相當準確，因此所得角度的不準量可隨之降低。多年來國際物理奧林匹亞競賽在實驗題的評分上，對於數據的精確度和不準量(即通稱的誤差)的估計有嚴格的要求，佔分比例愈來愈高。反觀國內的實驗教學，雖曾再三呼籲重視這兩項，但一直沒什麼起色！
- (6)應用(3)和(4)的理論關係式，求出扭力常數 κ 。這一小題對學生的數據處理能力是高水準的考驗。學生可能很容易寫出扭擺的平衡條件方程式，但不一定能輕易看出這個式子能夠線性化，可應用線性迴歸的方法求出扭力常數和其不準量。(5)和(6)兩小題合佔 9.5 分，幾乎佔實驗題總分(20 分)的一半。我國學生在角度的測量上，大致尚可，但對於不準量的估計仍有漏失；在數據的處理上，顯得經驗不足，瑕疵頗多，分數不是很好看。
- (7)將扭擺的轉軸改成沿鉛直方向，在不同的螺桿旋出位置上，測量扭擺的振動週期 $T(x)$ 。利用週期的數據可解出剩餘的兩個參數： I_1 和 l 。本小題的解法和前題相同，也是將相關的理論式線性化，從最佳吻合直線的斜率和截距，解出 I_1 和 l 。我國學生在這一小題的表現，只有兩位學生得出完整的數據和分析，但可惜只有一位得到令人滿意的分數，至於其他三位學生可能由於時間將盡，雖列有數據，但來不及仔細分析，有關不準量的估計全被扣分，分數相當難看。
- (8)至此有關扭擺的參數都已解出。本小題是利用扭擺來演示數學和基本粒子學所探討的分叉現象(bifurcation)。先將扭擺的轉軸改回沿水平方向，長螺桿盡量旋入圓筒內部，調整扭擺的鎖定螺絲，使其在平衡時能盡可能地鉛直豎立，並在螺桿尾端旋入一個長螺帽(即加上一小質量)，然後逐步旋出螺桿，找出扭擺的平衡位置。當螺桿旋出若干長度後，扭擺會出現兩個平衡位置，這就是所謂的分叉現象。在不同的平衡位置上測量扭擺的週期，繪出週期對位置的關係曲線，則在交叉點附近時，會出現一個峰值。本小題並不要求學生作交叉現象的理論分析，只是要求學生得出足夠的實驗數據點，能顯現出峰值的存在。這一小題的配分僅佔總分的 12.5%，但獨具教育意義，也格外突顯命題者的用心，引導學生思考當代的物理研究問題，猶如畫龍點睛般使這個扭擺實驗顯得有深度，有內含。不過我猜想各國參賽的學生，包括我國的學生在內，奮戰至此，即使仍然有心有力，但可能沒剩下多少時間可供發揮了。

整個實驗表面上看起來需要解出好多參數，似乎相當複雜，但實際上操作還算簡單，只是所需要的理論分析和數據處理能力，卻相當可觀。在評分上對於有效數字、不準量估計、和誤差槓標示有嚴格的要求，更增加得分的難度，要想取得高分，並不是易事。這個實驗題雖然偏在力學的實驗，但題目新穎，對於參賽學生的實驗技巧和數據分析能力，具有甚佳的區別能力，應可評為優良的試題。

附表一為我國五位參賽學生的成績統計。由於主辦單位根據競賽章程的規定，僅公佈獲獎(榮譽獎(含)以上)學生的成績資料，因此附表二只能統計全體獲獎學生的成績。本屆競賽獲獎學生共 212 人，佔參賽總人數的 72.6%，因此附表二的成績統計大致可以反映國際學生的物理水平。就理論成績而言，我國學生的團隊平均得分為 28.3 分，對照國際學生的平均成績 24.1 分，超出 4.2 分，已跨出一個標準差(4.1 分)，顯示我國學生的理論成績可列為優秀。就實驗成績來看，我國學生的團隊平均得分為 12.5 分，對照國際學生的平均成績 11.4 分，僅超出 1.1 分，落在一個標準差(3.6 分)之內，顯示我國學生的實驗成績只能算是中上，急須再加兩把勁，推動向上。就總分(理論+實驗)而言，我國團隊得分為 40.9 分，對照國際學生的總分平均 35.5 分，超出 5.4 分，相當接近一個標準差(6.5 分)，從國際尺度來衡量，我國資優學生的物理學習成就可評為甚佳。

附表一

1999 年第 30 屆國際物理奧林匹亞競賽
我國學生的參賽成績統計表

姓名	理論 第一題 (10.0)	理論 第二題 (10.0)	理論 第三題 (10.0)	理論 成績 (30.0)	實驗 成績 (20.0)	總分 (50.0)	獎別	名次	百分 排名
林智敏	8.9	10.0	8.5	27.4	17.5	44.9	金牌	17	6%
陳俊嘉	10.0	9.7	10.0	29.7	14.4	44.1	金牌	23	8%
黃齊亨	9.8	9.8	7.7	27.3	14.5	41.8	銀牌	37	13%
陳志清	10.0	9.9	9.7	29.6	7.8	37.4	銀牌	95	33%
魏軍浩	8.6	9.5	9.5	27.6	8.5	36.1	銅牌	105	36%
平均	9.5	9.8	9.1	28.3	12.5	40.9			

附表二

1999 年第 30 屆國際物理奧林匹亞競賽
全體獲獎學生競賽成績統計表

項目	理論 第一題	理論 第二題	理論 第三題	理論 總分	實驗 總分	總分
滿分	10.0	10.0	10.0	30.0	20.0	50.0
平均分數	8.2	8.1	7.9	24.1	11.4	35.5
中數	8.6	9.0	7.9	24.8	11.2	35.9
最高分	10.0	10.0	10.0	30.0	20.0	49.8
最低分	0.0	1.0	1.5	13.3	3.1	24.0
標準誤差	1.9	2.4	1.5	4.1	3.6	6.5

主辦單位僅公佈各國獲獎學生成績資料。

(上接第 73 頁)

四、研討地點

第一場：臺灣師大科教大樓五樓（民國八十九年四月十五日，星期六）

地址：臺北市汀州路 4 段 88 號 TEL:02-29316273

參加縣市學校：臺北市、基隆市、新竹縣市地區教師

第二場：高雄市立陽明國中（民國八十九年五月六日，星期六）

地址：高雄市三民區義華路 166 號 TEL:07-3892919

參加縣市學校：高雄縣市、屏東縣、臺南縣市、嘉義縣市地區教師

第三場：花蓮縣立花崗國中（民國八十九年六月三日，星期六）

地址：花蓮市公園路 40 號 TEL:03-8323924

參加縣市學校：花蓮縣、臺東縣、宜蘭縣地區教師