

1995年第26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

理論試題第一題：

本題利用一趨近遠方星球的無人太空船，觀察太空船上的氦離子對光的吸收共振狀況，用以測量該星球的質量和半徑。從星球表面上的氦離子所激發出的光子，射至太空船時，因光子的重力位能增加而使其能量降低，這就是所謂重力紅位移現象。若無其它的補償效應，則此光子將不為太空船上的氦離子所吸收。但是太空船飛向該星球，相當於船上的氦離子迎面趨向入射的光子，由於都卜勒效應，使氦離子所見光子的頻率升高。如果頻率的增加量剛好抵消重力紅位移效應的減少量，則光子將為船上的氦離子共振吸收。本題解題的關鍵點有二：

(1) 題目中為避免過份的暗示，在文中沒有出現「都卜勒效應」的字眼，學生必須能識見及此。

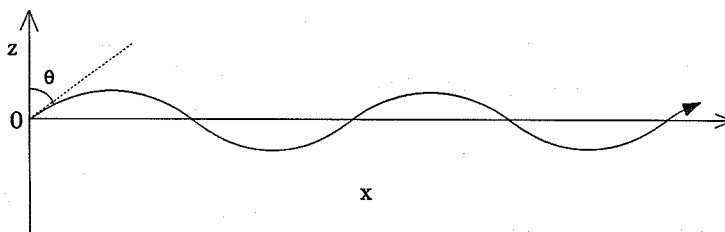
(2) 在理論計算中，學生必須能作近似值化簡，找出 $1/\beta$ 和 $1/d$ 之間的線性關係，再應用圖解方法求出星球的質量和半徑。

本題綜合應用相對論和力學的知識，問題由淺而深，可分層過濾出學生對物理的理解和分析能力，全題構成一個完整的單元。在題末的小題中，要求學生以相對論計算氦離子在發射光子時，因反衝而致的光子頻率位移，在理論列式和計算方法上有些難度。本題的命題水準相當出色。

我國五位學生在這一題（滿分為 20 分）的成績為：3, 5, 13, 14, 14。平均分數為 9.8 分。得分不如預期，主要是未能解開上述的第二個關鍵點。我國學生習於得到確實解（大概是升學考試的試題都要求有確實解的緣故），對於必須應用近似值的解法，缺乏信心，怯步不前，以致於計算繁瑣，得不出答案。至於其它國家的學生成績如何？因主辦單位在發給各國代表團的成績統計資料中，沒有列出每一道題的得分，所以無從比較。

理論試題第二題：

本題屬海洋聲學的領域。題中給予聲速和海水深度座標 z (以海的半深處設為 $z = 0$) 之間的函數關係, 要求證明聲波在起始的一段軌跡為一圓弧, 並解出欲使聲波波束從聲源抵達檢測器所需的起始射出角 (不是一個, 而是可能的一系列角度) 以及所需經歷的時間。這兩個問題是連鎖性的。為了避開連鎖, 在第一小題的證明題中, 刻意列出軌跡圓弧的半徑的式子。由此式子中, 可看出圓弧的半徑和起始射出角有關: 角度愈大, 則半徑愈小。因此從 $z = 0$ 處往上射出的聲波波束, 若角度夠大, 會形成一對稱的圓弧軌跡, 往下折回通過 $z = 0$ 而在其下的海水中, 形成另一反向的對稱圓弧。軌跡的一般形狀如下圖所示:



聲波在海水中傳播的軌跡圖

本題在內容設計及難度配分上, 甚見巧思。有關軌跡的證明題佔 6 分, 有關起始射出角及聲波傳播時間的計算則合佔 11 分。學生即使不會作第一小題的證明題, 仍可引用第一題所給的結果, 繼續試解其下的問題。但是學生必須能識出解題的關鍵所在: 若起始的射出角度愈大, 則圓弧半徑愈小。由此推論出整體的軌跡形狀。知道軌跡的形狀後, 餘下的問題便可輕易解出了。

第七屆國際物理奧林匹亞競賽的理論第二題和本題的第一小題有些類似, 但處理的波是光, 而不是聲波。本題較之前者要深入得多。雖然如此, 筆者對本題的命題水準仍願給予高度的評價。

我國學生在此題 (滿分為 20 分) 的得分為: 5, 5, 8, 11, 15。平均分數為 8.8 分。五位學生中僅一位稍佳。

理論試題第三題：

本題討論浮體的振動和轉動。題目難度普通, 原為備用題。主辦單位原先提供的理論第三題 (討論一平面鏡因受到雷射光束的照射而引起振動, 難度頗高) 涉及相對論性的座標轉換, 在國際委員會討論時, 被指超出競賽命題大綱的規定範圍, 經投票表決不

予採用，因而改用本題。本題一開始討論時，即因題目所述「桿」(rod)的意義不明白，以及桿和圓柱體的銜接方式不清楚，而引發爭議。原題中所指的「桿」，實際上是一個薄平板，和圓柱體的銜接方式如右圖所示：

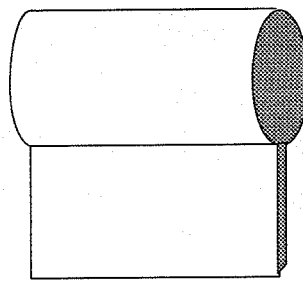
但這麼一來，當「桿」來回擺動時，如何處理水的阻力對運動的影響，將是一個棘手的問題。

另外，在「桿」擺動時，圓柱體的水平軸並非

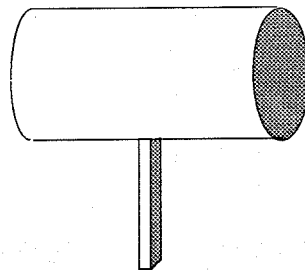
靜止不動，而是處於振動狀態，因此不能取該軸做為慣性座標系的座標軸。若以整個系統的質心(即「桿」與圓柱體的銜接點)做為參考座標系的原點，則因質心處於運動狀態，圓柱體所受的浮力對質心的力矩將不易計算。

此題爭議甚久，一度有人提議要求廢棄不用，但因另一備用題也不管用，只好勉強留用，但要求命題委員會即時討論修改文字措辭。

最後為國際委員會所接受的版本，所稱的「桿」即為普通的細桿，其與圓柱體銜接的方式如右圖所示，並且假設浮體繞圓柱體的水平中心軸線擺動。



側視圖



側視圖

本題的(a)和(b)兩小題都甚為簡易。(c)小題則稍難，學生必須準確標出各力的施力點，以計算力矩；也必須懂得如何計算桿的轉動慣量以及如何應用平行軸定理。(d)小題所得有關浮力的方程式為一超越函數。直接求解當然不易，但題中只要求證明浮角約為 90° ，則就簡單多了。

我國學生在此題(滿分為20分)的得分為：10, 11, 16, 16, 20。平均分數為14.6，表現尚佳。得分較低的兩位同學，主要是因弄錯符號及計算錯誤而失分。

實驗試題第一題：

本題測量金屬圓柱體落入甘油中的終端速度以及相關實驗數據的處理。操作簡單，主要在考較學生的眼力、實驗技巧、和讀取數據的準確度。學生必須能指出所量出的速度確為終端速度。學生也必須懂得如何使用全對數座標紙，以求得冪函數的冪次；以及從終端速度和圓柱體密度之間的線性關係中，求得甘油的密度。本題的命題水準平平，

乏善可陳。

我國學生在此題（滿分為20分）的得分為：14, 15, 16, 17, 19。平均分數為16.2分，表現不錯。得分稍低的兩位同學，是因為時間沒有掌握好，來不及畫好數據圖而被扣分。

實驗試題第二題：

本題考較學生在光學實驗上的操作技巧和判斷估計的能力。實驗的第一部分是以雷射光照射在有刻度的鋼尺上，從所得的干涉條紋圖樣中，計算出雷射光的波長。這是一個常見的實驗，一般是使雷射光以斜掠角度入射鋼尺，但本題則要求以近垂直的角度入射，方式雖不同，原理則一。由於鋼尺上的刻痕寬度不見得一致，間隔也不盡相同，因此鋼尺上的刻痕不是好的光柵，所得出的干涉圖樣會有些變形。因此欲取得好數據，還必須有副好眼力和判斷力。實驗的第二部分以後，主要是在測量光穿過塑膠容器和其內液體的透射係數。本實驗沒有提供測光儀器，僅能藉三小張濾光片（二張50%和一張25%），完全憑眼睛的視覺來估計光強。但題中提示人眼對光強的感覺呈對數性。這樣的實驗設計，真是對眼睛辨識能力的挑戰。筆者於日前曾以競賽中使用的器材（主辦單位贈送給各國代表團）在暗室中試作本實驗，確實不易取得可信的數據。對於命題者不採用價廉易得的半導體測光元件，筆者甚感困惑。顯然命題者著重在測試學生應用簡單器材，以取得合理結果的能力和實驗技巧。在實驗的第四部分中，要求測量牛奶濃度和光散射角度之間的關係。散射角的測量可藉量角器直接量得，或是先量出透出塑膠盒面的光圈直徑，再經計算求得。雖然仍不易測得準，但到底是以工具客觀量得，對取得的數據較有信心。

我國學生在這一題（滿分為20分）的得分情形為：8, 9, 10, 11, 11。平均分數9.8分，表現平平。同學們對這種著重估計和判斷的實驗題，似乎適應不良，未能發揮出能力。

本屆競賽由設立於坎培拉的澳洲國立大學主辦，命題委員會由澳洲各主要大學聯合組成。競賽試題在兩年前即已開始準備，其間曾將試題寄交國外學者審查。初稿完成後，還做過測試，經多次修改後定案。即使準備如此週到，在國際委員會一百多位各國領隊教授的審視討論下，依然有一些考慮不周之處，甚或題目遭到否決。國際競賽的試題設計確實是一項高難度的挑戰工作。本屆的試題僅理論第一題和第二題稱得上是夠水準的佳作。

本屆獲金牌獎的學生，除其中一位外，理論部分的得分全都在51分以上（滿分為60分），亦即對上文中所指出的解題關鍵點，至少能有一處突破，方有可能鍍金。我國學生的理論成績最高分為45分，距金牌的臨界值尚有差距，在關鍵點前未能破關而入，應令我們深思檢討。

我國學生平均成績和全體參賽國家的成績統計對照如下表（理論佔60分，實驗佔40分，總分共為100分）：

一、我國參賽學生成績統計

	理論	實驗	總分
平均分數	33.20	26.00	59.20
中數	29.00	25.00	54.00
最高分	45.00	30.00	72.00
最低分	24.00	23.00	49.00
標準誤差	9.63	2.92	10.13

二、全體參賽國家成績統計

	理論	實驗	總分
平均分數	29.17	20.15	49.32
中數	27.60	20.60	47.60
最高分	57.80	32.00	89.80
最低分	2.60	3.40	11.60
標準誤差	14.12	6.34	19.79

我國學生總成績平均在參賽的五十一個國家中，位居第十七名。若以理論和實驗成績分項來看：理論成績位居第二十一名，實驗成績位居第十名。實驗方面的表現相對地比理論方面要好得多。

有關我國參加本屆競賽的感想和檢討，請見本刊第182期第61-62頁。

★