

反射投影機演示散射實驗 及光的質點學說

台灣省立嘉義高級中學 李文堂

壹、前言

高級中學物理學〔吳師友仁編著東華書局印行〕，第23章探測原子，24-1光的質點學說，利用一些簡易自製器材配合反射投影機（Over-head Projector 以下簡稱 OHP）來演示教學，教學效果非常好。

1911年拉塞福（Rutherford）提出原子行星式模型，以原子核為太陽系的中心，電子似行星繞核迴轉。一個 α -質點掠過原子核附近的強電場時， α -質點就被散射（Scattering），所運行的路徑是以原子核為焦點之一的雙曲線。書中以一平面為底，作坡度漸增而無摩擦的立狀曲面（圖1）

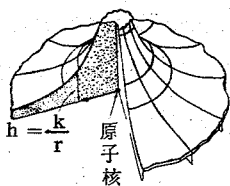


圖 1.〔摘錄自高級中學物理學下冊 p. 277〕

代表原子核的庫倫場位能，面上各點距底平面的高度 h 與各該點和曲面中心軸線的距離 r 成反比即 $h = \frac{k}{r}$ 。以一鋼珠彈向曲面，鋼珠在曲面上滾過的軌跡是三度空間的曲線，此曲線在底平

面的投影即代表 α -質點在原子核電場中運動的軌跡。利用透明的壓克力片加工製成立狀曲面，放在 OHP 上，鋼珠沾墨水沿曲面滾過，在銀幕上可觀察 α -質點散射的情形。改變描準參數 b （Impact parameter），可獲得不同的散射角 θ ，可全班共同討論 b 和 θ 間的關係。因發射鋼珠用的發射台及鋼珠可用來演示光的質點學說中的反射、折射現象，以及力學的水平拋射運動、斜向拋射運動、碰撞現象，因此一併介紹，希望師長、前輩指正。

貳、器材製作

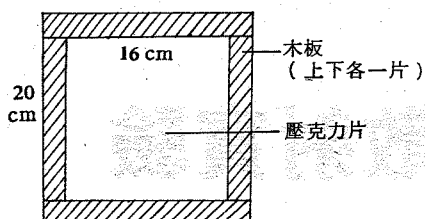
(甲)立狀曲面：

(1)材料：

- (a) 0.3 公分厚透明壓克力片，20 公分 × 20 公分（一片）。
- (b) 20 公分 × 4 公分 × 1 公分木板（八塊）。
- (c) 家庭用小電爐（一個）。
- (d) 酒瓶（一隻）、磚塊。

(2)製作方法：

- (a) 將八塊木板夾緊壓克力板的邊緣。並用鐵釘或 C 型夾固定如下圖。
- (b) 瓶子四周用磚塊圍著，使瓶口露出磚面 4 公分。
- (c) 將(a)之壓克力片在電爐上方緩加熱使其



軟化，要注意不要太接近熱源，以免壓克力一下子加熱過度而起泡。

(d)將(c)的熱壓克力片正中央對準瓶口，均勻施力於邊緣木板，壓克力片中間沿著瓶口凸起，張力的作用，使壓克力片很均勻的變形，當木板緊貼磚面時(圖2)，中央處的壓克力片凸起3公分，作者所用的瓶子口徑2.4公分，因此冷

却後會形成 $h = \frac{3.6 \text{ 公分}^2}{r}$ 的立狀曲面。

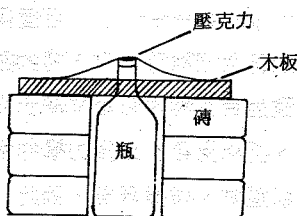
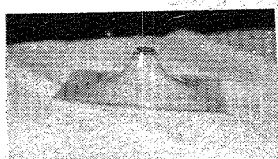


圖 2



(e)利用方格紙製 $h = \frac{3.6}{r}$ 的曲線，用剪刀

剪下後，置於壓克力成品上加比對驗證，假若不符合，檢查磚面或瓶口是否不平或不均勻，再用電爐再熱壓克力片，慢慢修正。

(f)等完全冷卻後拆下木板即成。

(2)發射台：可利用高級中學質點折射實驗的木製品，最好用透明壓克力片黏製。

(1)材料：

(a)0.3公分厚透明壓克力片 15公分×1

公分(二片)，15公分×3公分(一片)，3公分×1公分(一片)，3公分×10公分(一片)——底座用。

(b)氯仿、注射筒(附針頭)。

(2)製作方法：

將上列材料用氯仿黏成斜角30°的發射台，如圖3-a所示，中間有凹槽供鋼珠滾下用。

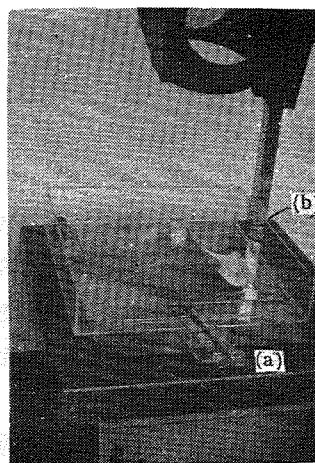


圖 3

(3)方形容器：

(1)材料：

(a)0.3公分厚透明壓克力片，25公分×25公分(一片)，25公分×2公分(三片)，

(b)氯仿、注射筒。

(2)製作方法：

用氯仿將三片壓克力條圍在壓克力板的外圍如圖3-(b)所示。

(4)折射實驗盤：

(1)材料：0.3公分厚透明壓克力片 20公分×10公分(二片)，20公分×5公分(一片)。

(2)製作方法：利用氯仿將三片壓克力黏成圖4所示的折射盤，側面隱影部份利用廢棄壓克力

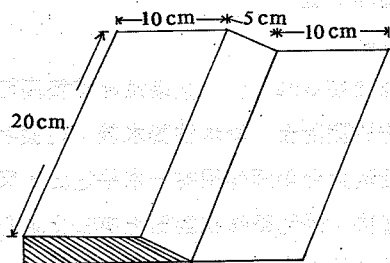


圖 4

片加以牢固。

(其他器材：

(1)鋼珠：直徑 1.2 公分左右為宜（玻璃珠亦可）。

(2)墨水：藍黑墨水、紅墨水、綠色墨水各約 30 c.c. 各放在 100 c.c. 燒杯中，各滴入少許沙拉脫等清潔劑，以減少表面張力，使鋼珠易附著墨水。

(3)試管夾：夾鋼珠沾墨水用。

(4)量角器，尺。

叁、實驗

1 散射實驗：

方形容器放在 OHP 的放映台上，上方放置立狀曲面及發射台，打開投影機，調整焦距後，使鋼珠沿發射台滾下，改變描準參數、鋼珠滾下的高度、和學生共同討論

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{kq \times qn}{E\alpha} \times \frac{1}{2b}$$

圖 5 是從銀幕上拍下的結果。

2 光的反射：

(a)平面鏡的單向反射：方形容器放在 OHP 上，另放置一塊表面光滑的鐵塊在容器右方，發射台以一定的角度（平行移動即可）射出鋼珠，在銀幕上出現單向反射如圖 6 所示。

(b)漫射：(a)中的光滑鐵塊換成粗糙不平的鐵塊，平行射入的鋼珠產生零亂的漫射現象。

(c)凹面鏡的會聚作用：從舊汽車材料行找

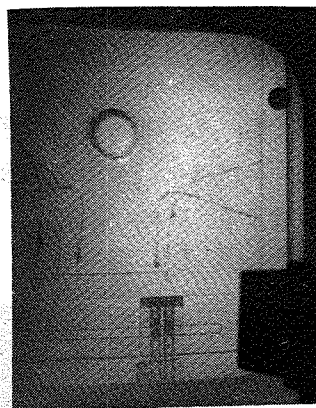


圖 5

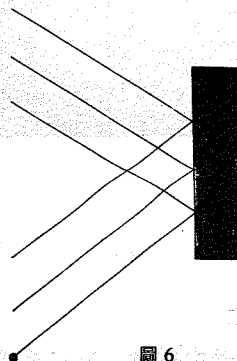


圖 6

一塊中間凹入如圖 7 所示的鐵塊當做凹面鏡，移動發射台，使鋼珠平行射入鐵塊，反射後會聚成焦點。

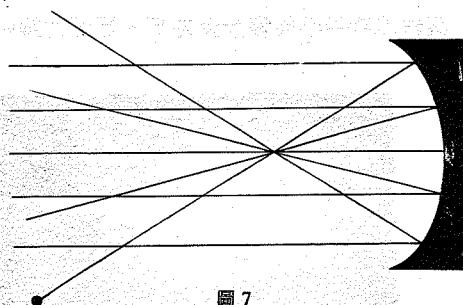


圖 7

3 光的質點折射實驗：

方形容器放在 OHP 上，再放置折射盤，盤上放發射台，使鋼珠從發射台滾下，在上板中以入射角 i 進入斜面，經斜面加速後以 r 折射至下板，改變不同的 i （鋼珠沾不同顏色的墨水），分別得不同的 r ，可利用量角器直接讀出 i 及 r

、驗證司乃耳定律 (Snell's law)

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

由於在上板鋼珠運動較慢角度 i 較大，下板鋼珠運動較快 r 卻較小，學生可直接從銀幕上體會光的質點學說違反事實的地方。

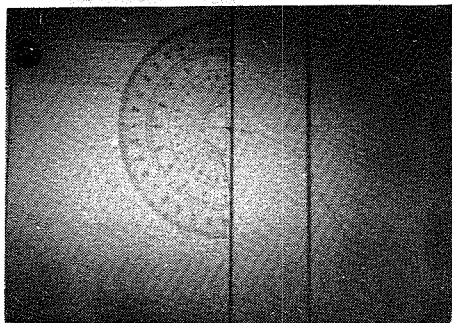


圖 8

4. 彈性碰撞：

方形容器中靜置一沾紅墨水之鋼珠，另一沾藍墨水之鋼珠沿發射台滾下，撞擊“紅”鋼珠，二者發生碰撞前後的運動軌跡可直接由銀幕看出，如圖 9 所示。另取一發射台，使二不同顏色鋼珠同時沿不同發射台滾下，更可討論斜向碰撞

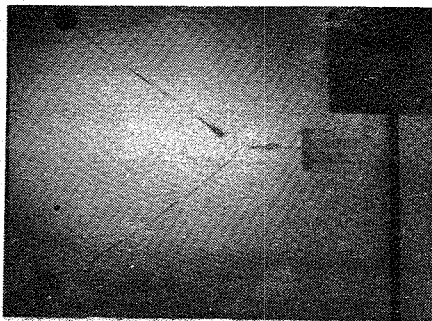


圖 9

、正向碰撞種種問題。

5. 水平拋射運動：

方形容器放在 OHP 上，上端用硬幣墊高約 1 公分，右方放發射台，鋼珠沾墨水後，從發射台滾下後，受發射台斜面作用有一水平速度，又因容器上方墊高，因此鋼珠在容器上有如受地心引力作用，因此形成水平拋射運動，改變鋼珠在發射台發射的高度（改變水平速度）得到不同的運動軌跡如圖 10 所示。

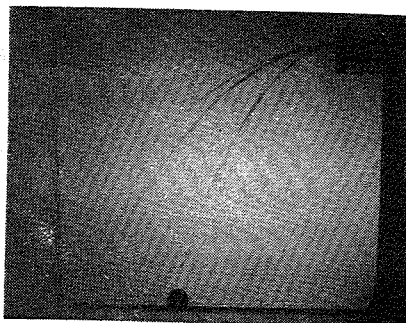


圖 10



圖 11

6. 斜向拋射運動：

方形容器放在投影機上，上端以硬幣墊高（

約一公分)，鋼珠沾上不同顏色墨水，從發射台的同一高度滾下，（初速相同），但以不同的仰角向上射，鋼珠留下斜向拋射的運動軌跡；改變發射角度，可得不同的軌跡，在方形容器下方置一量角器，可直接從銀幕觀察 θ 對射程的影響，在 $\theta = 45^\circ$ 時有最遠的射程。 □

肆、參考資料

- 1 高級中學物理學 吳友仁編著 東華書局印行
- 2 *The Physics Teacher* September 1964 P.278
- 3 *The Physics Teacher* October 1978 P.504
- 4 *Physics Laboratory Guide*, PSSC. P.59—61

請問芳齡

勇清

甲生拿出下面五張卡片，問乙生說：「那幾張卡片上有你的年齡？」乙生看過後說：「表一、二、三、四上都有，而表五沒有。」甲生立刻回答說：「你今年十五歲？」乙生問道：「你怎麼知道？」甲生解釋說：「這五張卡片的製作方法是這樣的，把每個小於 32 的正整數 C 都用二進位法表示成下面這種形式：

$$C = C_1 + C_2 \cdot 2 + C_3 \cdot 2^2 + C_4 \cdot 2^3 + C_5 \cdot 2^4,$$

其中， C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 等於 0 或 1。寫在表一中的數是 C_1 等於 1 的整數，表二中的數是 C_2 等於 1 的數，其餘類推。你的年齡在表一、二、三、四中，而不在表五中，故 $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 1, C_5 = 0$ ，因此，你的年齡是

$$1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3$$

$$= 1 + 2 + 4 + 8 = 15。$$

由於 1, 2, 4, 8 實際上是表一，二，三，四中最上面的數，所以，當你說年齡在表一，二，三，四中時，我只把這四張卡片的第一個數相加就得出你的年齡。」

表一	表二	表三	表四	表五
1	2	4	8	16
3	3	5	9	17
5	6	6	10	18
7	7	7	11	19
9	10	12	12	20
11	11	13	13	21
13	14	14	14	22
15	15	15	15	23
17	18	20	24	24
19	19	21	25	25
21	22	22	26	26
23	23	23	27	27
25	26	28	28	28
27	27	29	29	29
29	30	30	30	30
31	31	31	31	31