

# 正向碰撞實驗之改進與探討

## 高中組物理第一名

高屏澎區鳳山高級中學

作者：葉秋林、唐德誠等四名

指導老師：戴湘雄

### 一、研究動機與目的：

在高中物理實驗（力學實驗 13）“正向碰撞”中，係利用紙帶打點來記錄兩滑車在碰撞前後之速度，以驗證動量守恒。但如此一來，却限制入射滑車之質量必須大於被撞滑車之質量，否則入射車反彈時，紙帶將無法記錄。同時也無法觀察兩滑車在碰撞過程的軌跡變化。而這二條軌跡曲線，不僅老師上課時用它來解釋正向碰撞，就是課本及實驗教本中亦有如是之圖形。因此我們便想，是否能在實驗中，一併把這二條曲線畫出呢？！在老師的協助下，我們設計了這個簡單的實驗，能直接把兩滑在碰撞過程之軌跡記錄下來，並由圖形來求得碰撞前後之速度，以驗證動量守恒，而且不受質量關係之限制。更可進一步的探求，碰撞期間之壓縮量（接近的距離），作用的時間，恢復係數，以及當滑質量改變時，對它們之影響。

### 二、實驗器材：

- (一) 電源供應器。
- (二) 馬達及滾軸。
- (三) 一端高斜之壓克力軌道。（附於木架上）
- (四) 兩質量相等附有記錄筆之滑車。
- (五) 1 kg 之磁碼數個。

### 三、實驗裝置：

- (一) 裝置如照片。（略）

(二)記錄位置處，係在軌道下方，墊一平滑之木板，讓紙帶穿過二者間之空隙而由馬達及滾軸帶動。

#### 四、實驗步驟：

(一)測量紙帶速率。以 1 秒為單位，求得紙帶之長度，測 10 次取平均值。

(二)令兩滑車恰接觸，靜置於記錄位置，求得兩車開始作用之距離  $d$ 。

(三)將被撞車置於記錄位置，入射滑車在斜面上，由一定高度滑下，求得碰撞軌跡。

(四)改變入射車及被撞車之質量，重覆上述實驗。

#### 五、實驗記錄：

(一)紙速：( 電壓 13 Volt )

次 數	1	2	3	4	5
紙帶長度 ( Cm )	76.90	77.74	76.90	75.21	78.92
次 數	6	7	8	9	10
紙帶長度 ( Cm )	76.90	76.05	75.20	78.58	77.74

平均值： $U = 76.98 \text{ Cm/Sec}$

(二)開始作用之距離： $d = 9.30 \text{ Cm}$

(三)各次碰撞所得之軌跡圖如下：( 略 )

#### 六、記錄分析：

(一)分析過程：

1 先於記錄圖上，標示出作用開始及完成之位置。

2. 在碰撞前、後之圖形均為直線，故由

$$\frac{\text{水平位移}}{\text{鉛直位移}} = \frac{\text{速}}{\text{紙速}}$$

即可求得碰撞前、後之車速。

3. 直接由圖上量得最接近時之距離  $d_{\min}$ ，則最大壓縮量  $\Delta S = d - d_{\min}$ 。

4. 量出，碰撞前、後半期之距離，除以紙帶速率，即得前、後半期之作用時間。

(二)分析結果：

次 數	1	2	3	4	5	6
入射車質量 $M_1$ (kg)	1.25	1.25	1.25	1.25	2.25	2.25
被撞車質量 $M_2$ (kg)	1.25	2.25	3.25	4.25	1.25	2.25
入射車初速 $V_1$ (Cm/Sec)	158.93	159.27	161.28	162.94	169.36	164.22
被撞車初速 $V_2$ (Cm/Sec)	0	0	0	0	0	0
入射車末速 $V'_1$ (Cm/Sec)	14.73	-11.57	-28.42	-51.53	54.98	18.46
被撞車末速 $V'_2$ (Cm/Sec)	124.10	86.09	69.98	56.67	174.01	126.78
恢復係數 $e = \frac{V'_2 - V'_1}{V_1 - V_2}$	0.688	0.613	0.609	0.664	0.703	0.659
最接近之距離 $d_{\min}$ (Cm)	2.82	2.65	2.50	1.56	1.94	0.92
最大壓縮量 $\Delta S$ (Cm)	6.48	6.65	6.80	7.74	7.36	8.37
前半期時間 $\Delta t_1$ (Sec)	0.0672	0.0636	0.0639	0.0779	0.0776	0.0865
後半期時間 $\Delta t_2$ (Sec)	0.0813	0.1004	0.0996	0.0983	0.0863	0.1201
作用時間 $t = t_1 + t_2$ (Sec)	0.1485	0.1644	0.1635	0.1762	0.1639	0.2066
入射車初動量 $p_1$ (kg-Cm/Sec)	198.66	199.09	202.11	203.68	381.06	369.50
被撞車初動量 $p_2$ (kg-Cm/Sec)	0	0	0	0	0	0

入射車末動量 $p'_1$ (kg-Cm/Sec)	18.41	-14.46	-35.53	-64.41	123.71	41.54
被撞車末動量 $p'_2$ (kg-Cm/Sec)	155.13	193.70	227.44	240.88	217.51	285.17
初動量 $p = p_1 + p_2$ ( " )	198.66	199.09	202.11	203.68	381.06	369.50
末動量 $p' = p'_1 + p'_2$ ( " )	173.54	179.24	191.91	176.47	341.22	326.71
$\Delta p = p - p'$ (kg-Cm/Sec)	25.12	19.85	10.20	27.21	39.84	42.79
$\frac{\Delta p}{p} \times 100 \%$	12.64%	9.97%	5.04%	13.57%	10.40%	11.58%

次 數	7	8	9	10	11	12
入射車質量 $M_1$ (kg)	2.25	2.25	3.25	3.25	3.25	4.25
被撞車質量 $M_2$ (kg)	3.25	4.25	1.25	2.25	3.25	1.25
入射車初速 $V_1$ (Cm/Sec)	165.76	165.50	161.66	162.84	163.83	160.96
被撞車初速 $V_2$ (Cm/Sec)	0	0	0	0	0	0
入射車末速 $V'_1$ (Cm/Sec)	-0.92	-8.29	85.93	49.27	28.60	92.01
被撞車末速 $V'_2$ (Cm/Sec)	106.78	91.12	190.78	153.96	132.20	~
恢復係數 $e = \frac{V'_2 - V'_1}{V_1 - V_2}$	0.650	0.600	0.649	0.642	0.632	~
最接近之距離 $d_{min}$ (Cm)	0.90	0.90	1.18	0.89	0.89	1.06
最大壓縮量 $\Delta S$ (Cm)	8.40	8.40	8.12	8.41	8.41	8.24
前半期時間 $\Delta t_1$ (Sec)	0.0707	0.0716	0.0711	0.0727	0.0745	0.0764
後半期時間 $\Delta t_2$ (Sec)	0.1169	0.1223	0.942	0.1065	0.1280	~

作用時間 $t=t_1 + t_2(\text{Sec})$	0.1876	0.1939	0.1653	0.1792	0.2025	~
入射 初動量 $p_1(\text{kg}-\text{Cm}/\text{Sec})$	372.96	372.38	525.40	529.23	530.14	~
致撞 初動量 $p_2(\text{kg}-\text{Cm}/\text{Sec})$	0	0	0	0	0	0
入射 末動量 $p'_1(\text{kg}-\text{Cm}/\text{Sec})$	-2.07	-18.65	279.27	160.13	92.95	~
被撞 末動量 $p'_2(\text{kg}-\text{Cm}/\text{Sec})$	347.04	387.26	238.48	346.41	429.65	~
初動量 $p=p_1 + p_2 ( \text{ " } )$	372.96	372.38	525.40	529.23	530.14	~
末動量 $p_i=p'_1 + p'_2 ( \text{ " } )$	344.97	368.61	517.75	506.54	522.60	~
$\Delta p = p - p' (\text{kg}-\text{Cm}/\text{Sec})$	27.99	3.77	7.65	22.69	7.54	~
$\frac{\Delta p}{p} \times 100 \%$	7.52%	1.01%	1.44%	4.29%	1.49%	~

## 七、討論：

(一)由於滑車與軌道間仍有摩擦力存在，故所得之末動量均略小於初動量。

(二)由本實驗結果可知，在非完全彈性之正向碰撞下：

1 若兩滑車質量相等，則碰撞後兩車之速度不互換。即若  $V_2 = 0$ ，則  $V'_1$  仍大於 0

2 碰撞前半期（接近過程）所經時間小於碰撞後半期（分離過程）之時間。（ $\Delta t_1 < \Delta t_2$ ）。

(三)2 中所述之兩點均與完全彈性正向碰撞情況不同。其原因為彈性碰撞時力為距離的函數。亦即前、後半期在相同距離下，作用力大小相同。（其  $F - d$  圖大略可表為

而非完全彈性，力則不為距離的函數，且當恢復係數  $e < 1$ ，時，其前半期之作用力均大於後半期所致。（其  $F - d$  圖，大略可表為



(四)當入射車質量固定，而被撞車之質量依次加大時，發現有下列情形：

1. 恢復係數變小。
2. 壓縮量增加。
3. 作用時間增長。

(五)造成 4. 中之原因，係由於入射車質量一定，由同一高度滑下，則其動量為一定值。當被撞 質量加大時，質心速度 ( $V_c = \frac{M_1 V_1}{M_1 + M_2}$ ) 變小，亦即二者在最接近時之速度變小，因而使作用時間增長，壓縮量增加，恢復係數變小。

(六)在第 7. 8. 9. 11. 四次實驗之圖形中，其軌跡在最近時，由於已達兩車之可能最靠近之距離（兩記錄筆相碰），因而有抖動之現象。（兩車之可能最靠近之距離為 0.89 Cm）。

(七)第 12 次實驗中，由於記錄完時，兩車尚未分離，故無法求出碰撞後之速度。

## 八、結語：

(一)若將軌道兩端均加斜面，則碰撞之情況可更多。

(二)將滑車的彈簧，改換質量輕，而彈力常數大之彈簧，或改裝兩磁性極強之馬蹄形磁鐵，則可當作正向之完全彈性碰撞，驗證正向碰撞之理論。

評語：能設計簡易的實驗，生動而有效的闡明學生較難理解之內容—物體碰撞時，其位置隨時間的變化關係。可供高中物理教師改進實驗教學之參考。