

閃光攝影簡諧運動求證儀

高中組物理第二名

省立台南家齊女子中學

作者：池育嫣等七名

指導老師：徐森川

一、研究動機：

在物理課中，我們學習到簡諧運動是一種變加速運動，而變加速度運動甚難求出其任意位置之物理量。因此，老師提到「取一週期振幅與簡諧運動相同之參考圓之投影即代表此簡諧運動」。對此我們除了從課本理論中吸取觀念外，並希望得一實驗之驗證，以達科學求真求實的精神。於是我們設計下面的儀器和實驗。

二、研究目的：

1. 由簡諧運動經定時閃光裝置所得照片中，分析其速度變化，而確實得知「簡諧運動是變加速運動」。
2. 由簡諧運動和具有相同振幅週期的圓周運動作為其參考圓經用定時閃光攝影所得照片中分析其間物理量的關係而得以證明圓周運動的投影恰為該簡諧運動。

三、研究設備器材：

1. 設計四組實驗器材分別控制

- (1) 日光燈的頻率
- (2) 圓盤的頻率
- (3) 彈簧的起動
- (4) 彈簧的小球和轉盤的小球同相位

第一組器材：

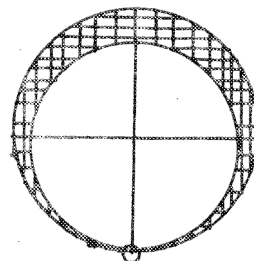
本實驗由於應用閃光攝影，日光燈需要每秒閃光 10 次及 15 次。為使日光燈每隔極短時間閃光一次，故將日光燈串聯後再和高壓變壓器串聯，然後與閃光頻率控制器串聯。

本器材所用之閃光頻率控制器每秒五轉，每轉可接通電流 12 次、6 次、4 次、3 次、2 次、1 次、故等時距閃光每秒可控制使達 60 次、30 次、20 次、15 次、10 次、或 5 次（此實驗係採用每

秒 10 次、15 次兩種時距)

第二組器材：

爲使圓盤之週期和簡諧運動相同，故將圓盤接於一變速馬達上，以便調整其轉速。並在圓盤上接一小球明顯表示等速圓周運動的情形，用以對應第三項裝置中的小球在圓盤上封以半圓弧的黑紙並將小球嵌於透明半圓的 $\frac{1}{2}$ 處。(如圖)



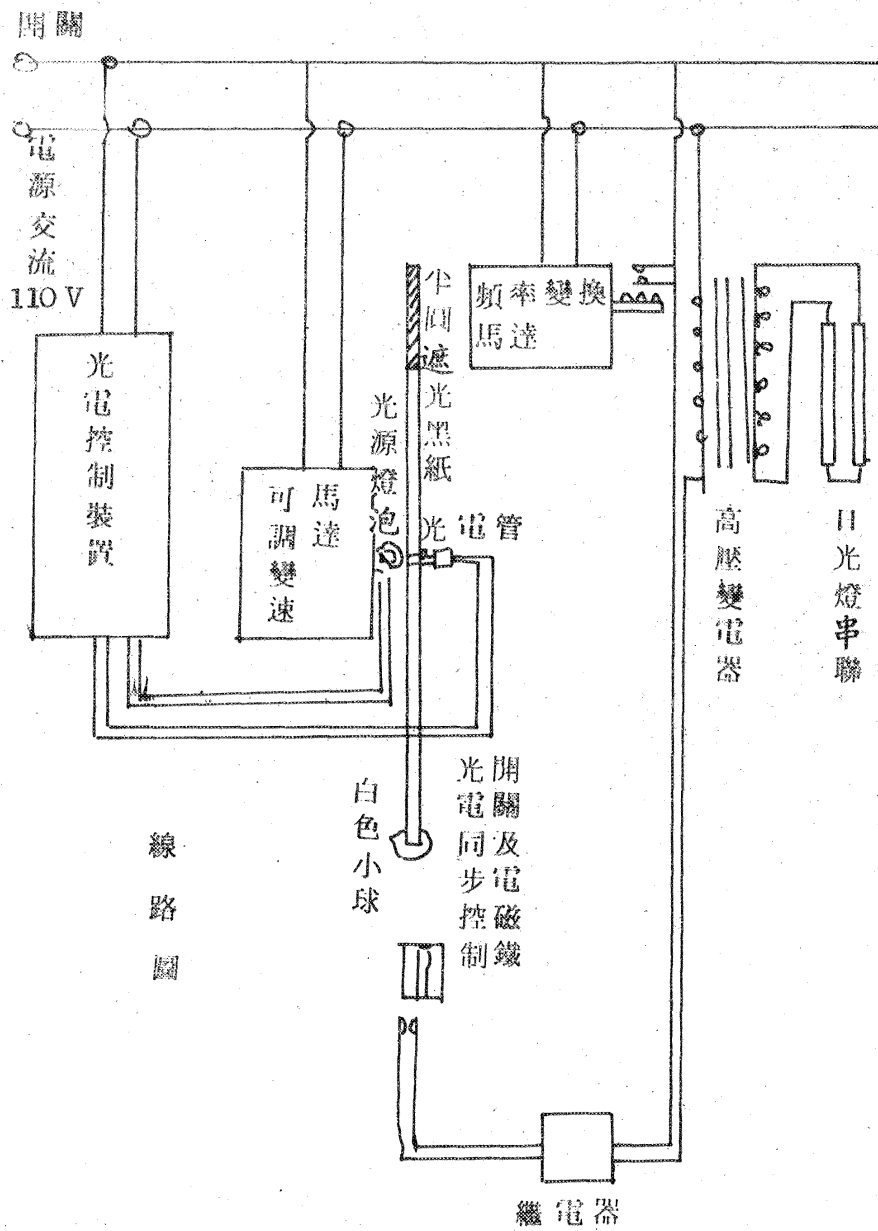
第三組器材：

利用彈簧接連一小球，明確的顯示簡諧運動的軌跡於小球上引一細線將彈簧由平衡點向下施力使小球引至圓盤的下端(即在參考圖上使其振幅相同)細線另端則夾在電磁開關中，以此電磁開關控制簡諧運動之起動。

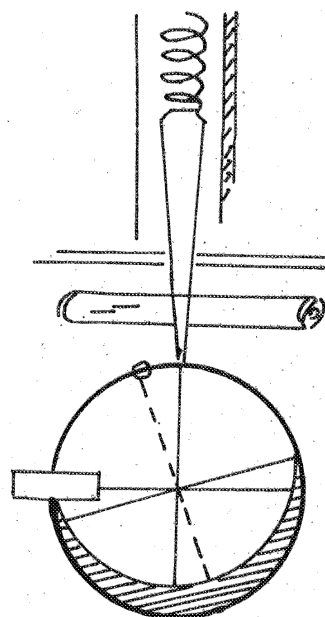
第四組器材：

利用透明圓盤上封以半圓弧黑紙，當圓盤轉動時，則有一個半週期的時距間，光電管的光源被黑紙遮去，而使得光電管所控制的繼電器接通電流確實控制電磁開關和閃光頻率控制器開關。

2 將上列四組器材組合後線路圖如下：



首先將總開關按下，使變速馬達開始帶動圓盤，而光電管的光源亦同時開始照射。當轉盤的小球與彈簧的小球達同一位置時，轉盤上之半圓弧黑紙就開始遮去光電管的光源，使得光電管的繼電器開始作用將電磁開關打開釋放彈簧，開始簡諧運動。（恰和轉盤小球同時出發）閃光頻率控制器亦在同時開始閃爍，導致底片感光。直到轉盤小球抵最高點時（即經過半週期），簡諧運動的小球亦抵最高點。此時，黑紙不再遮去光源，日光燈便停止閃爍（底片不再感光）。（如圖）



研究的過程：

1 實驗前準備工作：

- (1) 裝置器材，採系統化的構造。
- (2) 製造暗房。
- (3) 檢查線路。
- (4) 反覆試驗以決定適當的馬達頻率（ 0.7576 次/秒）閃光頻率（每秒10次，15次）及高電壓。

2 實驗工作：

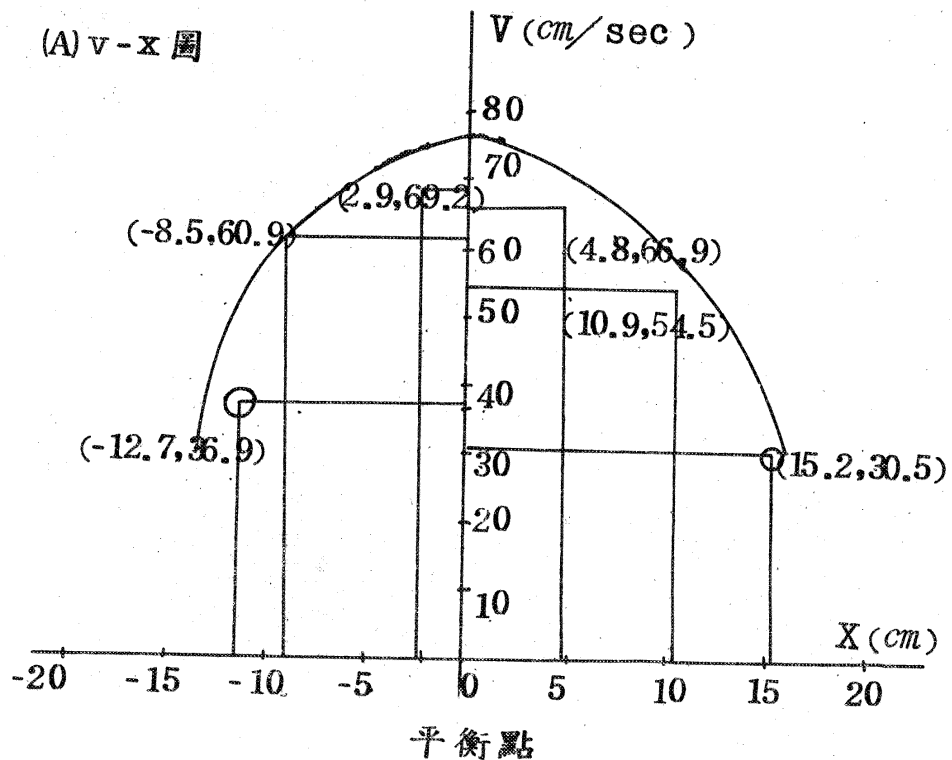
- (1) 先接通電流。
- (2) 將第三組器材中的小球引至定位而由細線及電磁開關控制起動。
- (3) 造成暗房。
- (4) 打開相機快門以便施用閃光攝影術。
- (5) 按下總開關在經半週期後將總開關關閉。
- (6) 關閉相機快門。此實驗需多次重覆獲得諸多資料以求得準確之數據。

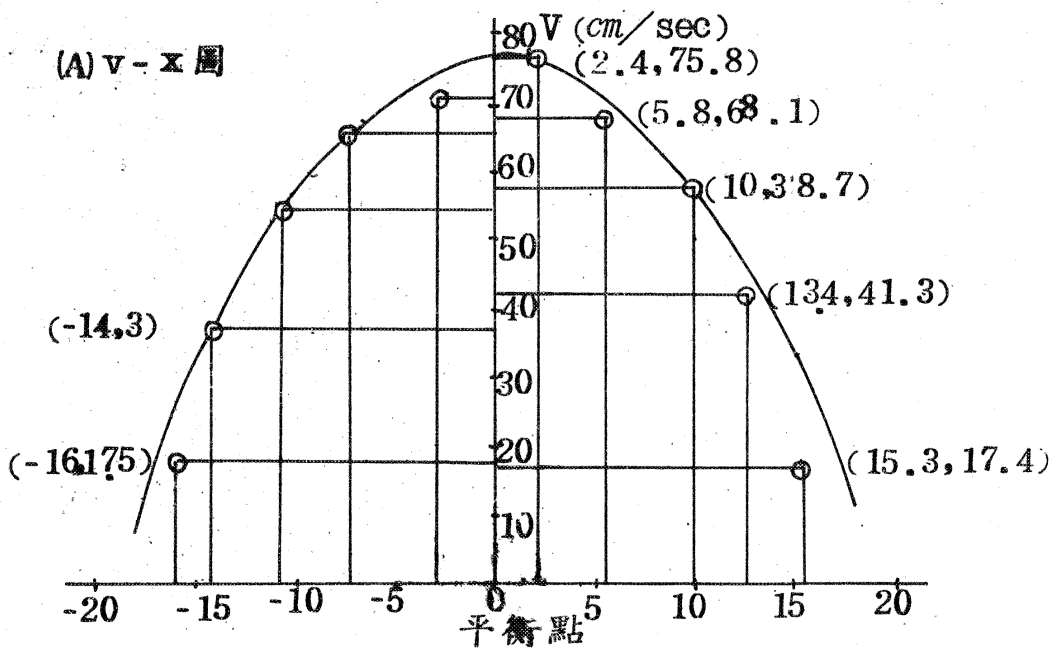
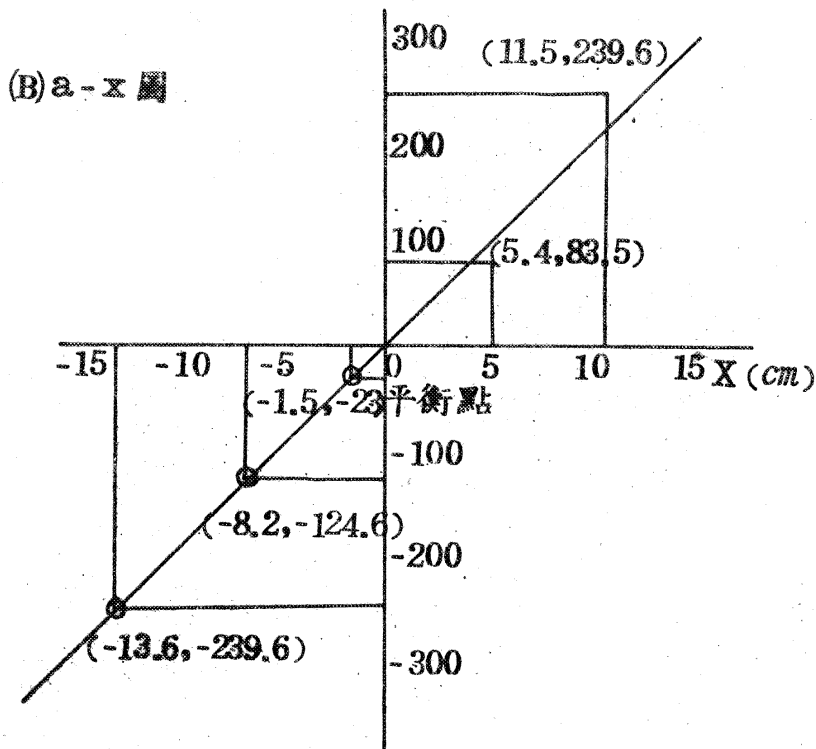
五、研究結果：

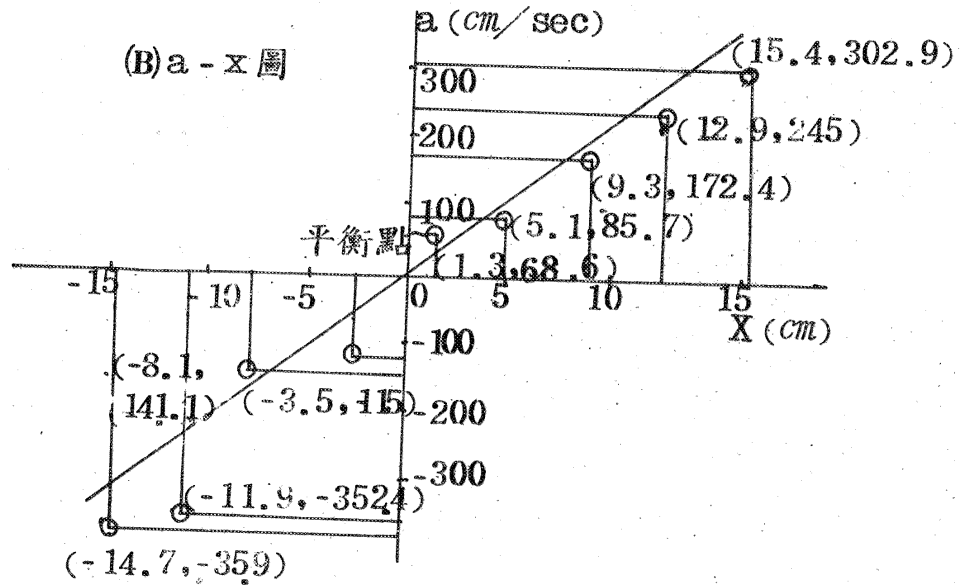
表一 閃光頻率 10 次 / sec，圓周運動速率 69.5 cm / sec

	照片的位 置 cm	按比例放 大後之位 置 cm	位置變化 量 cm	瞬時速度 cm / sec	圓周運動 投影速度 cm / sec	速度變化 量 cm / sec	加速度 cm / sec ²
a	1.15	1.39	3.69	36.90	27.15	23.96	239.6
b	4.20	5.08					
c	9.23	11.17	6.09	60.86	50.83	8.35	83.5
d	14.95	18.09	6.92	69.21	65.31	-2.30	-23.0
e	20.48	24.78	6.69	66.91	69.24	-12.46	-124.6
f	24.98	30.23	5.45	54.45	60.78	-23.96	-239.6
g	27.50	33.28	3.65	30.49	40.85		

※上表中，由簡諧運動閃光照片所得各點之位置，求兩點間之位移，除以兩閃光之時距，可得兩點間之平均速度。







表二 閃光頻率 15 次/sec，圓周運動速率 69.5 cm/sec

照片上的位置	按比例放大之位置	位置變化量	瞬時速度	圓周運動投影速度	速度變化量	加速度
cm	cm	cm	cm/sec	cm/sec	cm/sec	cm/sec ²
a	0	0				
b	0.75	1.17	17.51	16.82	20.19	302.85
c	2.35	3.68	37.70	33.71	16.33	244.95
d	4.65	7.28	54.03	48.30	11.49	172.35
e	7.35	11.51	65.52	59.79	5.72	85.73
f	9.75	15.27	71.24	67.56	4.58	68.63
g	12.85	20.12	75.81	69.49	-7.68	-115.20
h	15.75	24.67	68.13	66.10	-9.41	-141.08
i	18.25	28.58	58.73	55.88	-23.50	-352.35
j	20.01	31.34	41.34	43.10		
k	20.75	32.50	17.40	25.49	-23.94	-359.10

※兩點間的平均速度可視為兩點間中點之瞬時速度（因時距均甚短），由相鄰兩點之瞬時速度差除以時距，即得其間之平均加速度。

六結論和討論：

1 結論：

(1)彈簧的恢復力和位移成正比，故其恢復加速度，亦和位移成正比。由上面實驗的 $a - x$ 圖中， a 和 x 成正比關係，因此我們證明出「簡諧運動為變加速」之觀念。

(2)簡諧運動既為變加速，則其物理量可用參考圓投影來代表，即參考圓切線速度之投影等於簡諧運動之瞬時速度，本實驗之結果即表此觀念（誤差原因如下）。

由此觀念，即可表示，參考圓之投影均可表簡諧運動之物理量，即簡諧運動之位移 = 參考圓之投影 ($x = R \cos \theta$)

簡諧運動之恢復力 = 參考圓之投影 ($F_x = F_n \cos \theta$)

2 討論：

(1)彈簧小球經多次振動後，其振幅漸小，且週期漸增，可見空氣阻力和彈簧振動所生熱能不可忽略，此為誤差原因之一。（由圖表可知簡諧運動小球抵達最高點時，其誤差最大）。

(2)本實驗所使用之閃光頻率控制器，其電刷和轉軸接觸時間不宜過長，當日光燈亮起時，球在運動中，若時間過長，易造成影像模糊，為誤差原因之二。

(3)變速馬達轉速應精確調整，使其週期和簡諧運動週期相同。

(4)本實驗之光源，亦可用電動同步定時儀經日光照射代之。

評語：設計裝配新穎實驗儀器，頗具創意能明確比較圓週運動與簡諧運動之關係。思考程序甚佳，實驗結果頗具完整性。

附錄： 實驗裝置圖

