

一、實驗名稱：牛頓第二運動定律(Newton's Second Law)

二、實驗目的：

(一)主要目的：驗證牛頓第二運動定律。

(二)次要目的：

1. 熟悉光電計時器和光電閘測量儀器等高精度測量儀器。
2. 學習使用數位影像位置擷取與數據分析軟體以取得更準確的數據。
3. 必較不同測量工具的優缺

三、原理及分析方法

牛頓第二運動定律公式： $\sum_i \vec{F}_i = M \vec{a}$

$\sum_i \vec{F}_i$ 為物體所受總淨力， M 為體純量， \vec{a} 為物體加速度。

牛頓第二運動定律簡述：物體運動時的加速度和它所受外力總和大小成正比，但和物體的質量成反比。

此實驗藉由兩種方法來驗證牛頓第二運動定律

(一)固定受測物體的質量 M ，施以不同大小的作用力 F ，並依次觀察物體所產生之加速度 a 和 F 間的關係。

(二)固定作用力 F 的大小，改變受力物體的質量 M ，依次觀察物體所產生的加速度 a 與物體質量 M 間的關係。

四、使用儀器

光電計時器，滑車，滑軌，砝碼，ARDUINO。

五、實驗步驟

甲、實驗 part1(固定總質量，改變外力，測加速度)

1. 水平校正滑軌
2. 秤滑車和各砝碼重量

3. 先將所有砝碼放在滑車上，並測量加速度
4. 將一個砝碼從滑車移到懸掛上，並測量加速度
5. 重複 4. 五次
6. 利用 F 與 a 的關西計算出實際 $M+m$ ，並計算誤差

乙、實驗 part2(固定外力、改變總質量、測量加速度)

1. 將四個砝碼放上滑車，測加速度
2. 將一個法碼移出滑車，測加速度
3. 重複 2. 三次
4. 利用總質量與加速度的關西計算實際 F ，並計算誤差

丙、利用 arduino

1. 將電腦連上 Arduino
2. 讓滑車滑起來
3. 將數據移置 Excel 處理，並計算出加速度與誤差

丁、利用影像處理軟體(tracker)

1. 架好攝影機
2. 讓滑車滑起來
3. 用 tracker 處理影片
4. 擬合得加速度，並計算誤差

戊、斜面運動

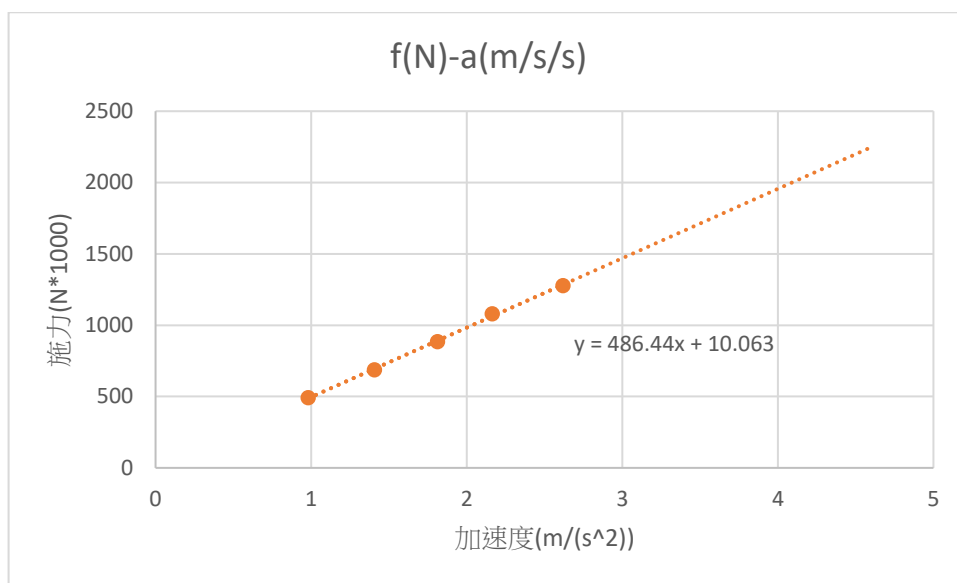
1. 讓斜面傾斜(軌道下面墊木塊)
2. 改變懸掛物質量紀錄加速度
3. 紀錄上滑與下滑瞬間的懸掛物質量
4. 計算實際值的摩擦力、角度、質量，並計算誤差

六 數據處理與分析

(一)、固定總質量，改變外力，測加速度

總質量 g	f(N*1000)	a(m/s ²)
512.08	491.372	0.9814
512.08	687.960	1.4074
512.08	884.352	1.8133
512.08	1080.744	2.1650

下圖為 F 對 a 作圖



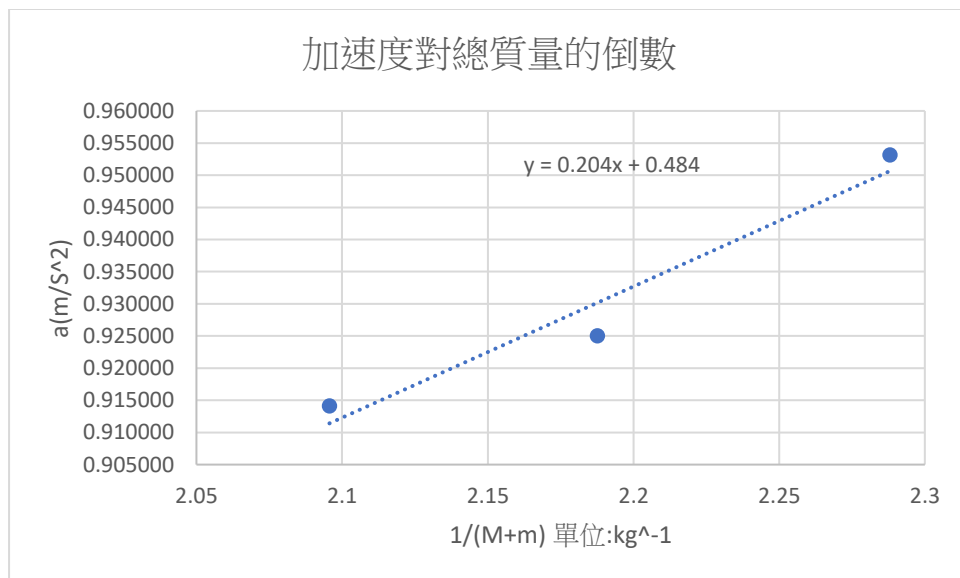
理論上質量為 512.08g。依據牛頓第二運動定律得 $M=F/a$ ，推得質量的實際值為上圖斜率 486.44g。誤差為-5.007%

(二)、固定外力、改變總質量、測量加速度

數據

F(N)	1/M+m(kg ⁻¹)	a(m/s ²)
0.5528	2.095645	0.914111
同上	2.187609	0.925000
同上	2.288015	0.953122

作圖



理論上外力為 0.5528 牛頓，依據牛頓第二運動定律 $F=(M+m)a=mg$ ，因此上圖斜率得實驗值的外力為 0.204 牛頓，誤差為 63.097%

三、arduino

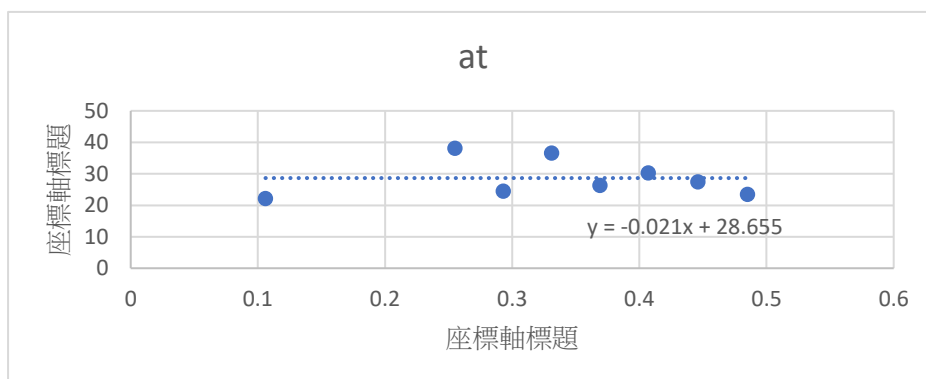
總質量 (g)	F(gw)
537.28	135.46

理論加速度為 $2.470794\text{m}/(\text{s}^2)$

數據

t	x(cm)	V(cm/s)	A(cm/s ²)
0	4.27		
0.035	4.80	15.143	
0.071	6.97	60.278	110.572
0.106	8.61	46.857	22.210
0.143	12.06	93.243	53.782
0.18	12.91	22.973	6.659
0.218	15.12	58.158	66.620
0.255	18.16	82.162	38.182
0.293	21.07	76.579	24.528
0.331	25.12	106.579	36.625
0.369	29.17	106.579	26.316
0.407	33.83	122.632	30.279
0.446	38.96	131.538	27.503
0.485	43.67	120.769	23.542

作圖



據上圖加速度約為 $28.655(\text{cm}/\text{s}^2) = 0.28655(\text{m}/\text{s}^2)$ ，與理論值

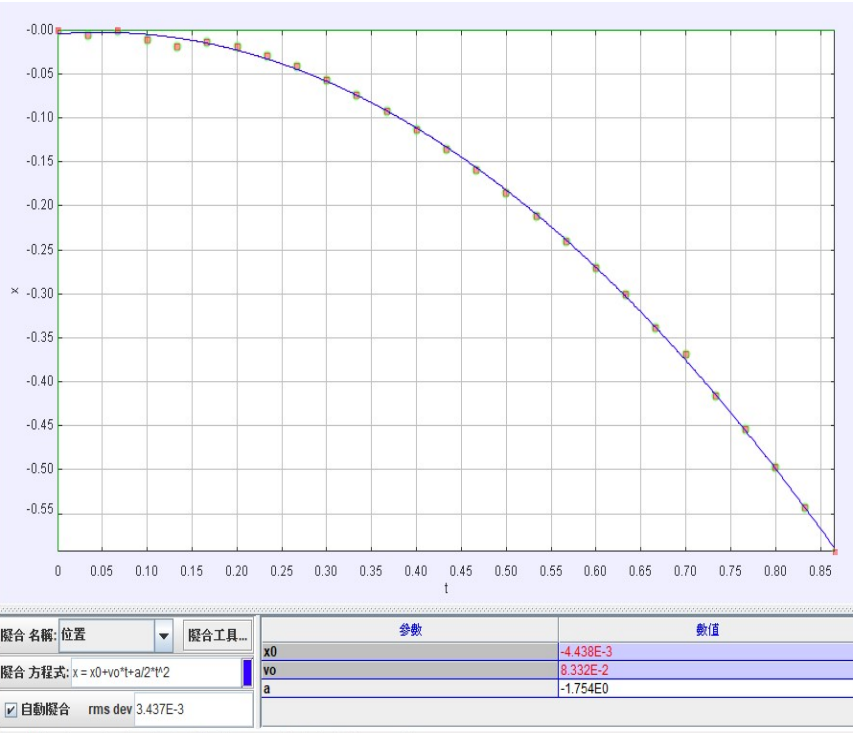
$2.470794(\text{m}/\text{s}^2)$ 相比誤差為 -88.40%

四、tracker

數據

t	x
0.000	0.001
0.033	-0.006
0.067	-0.001
0.100	-0.010
0.133	-0.018
0.167	-0.013
0.200	-0.018
0.233	-0.028
0.266	-0.041
0.300	-0.056
0.333	-0.073
0.366	-0.092
0.400	-0.112
0.433	-0.135
0.466	-0.159
0.500	-0.185
0.533	-0.211
0.566	-0.240
0.599	-0.270
0.633	-0.301
0.666	-0.338
0.699	-0.368
0.733	-0.416
0.766	-0.454
0.799	-0.497
0.833	-0.543
0.866	-0.593

分析



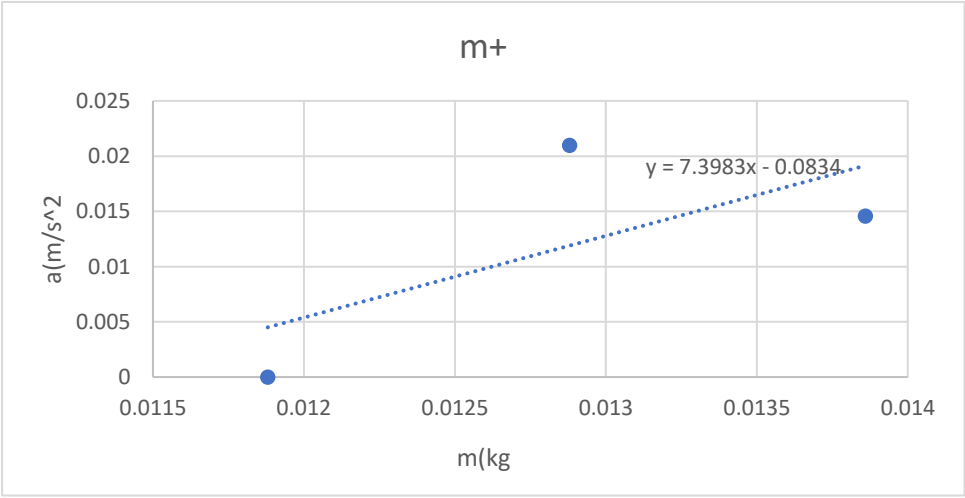
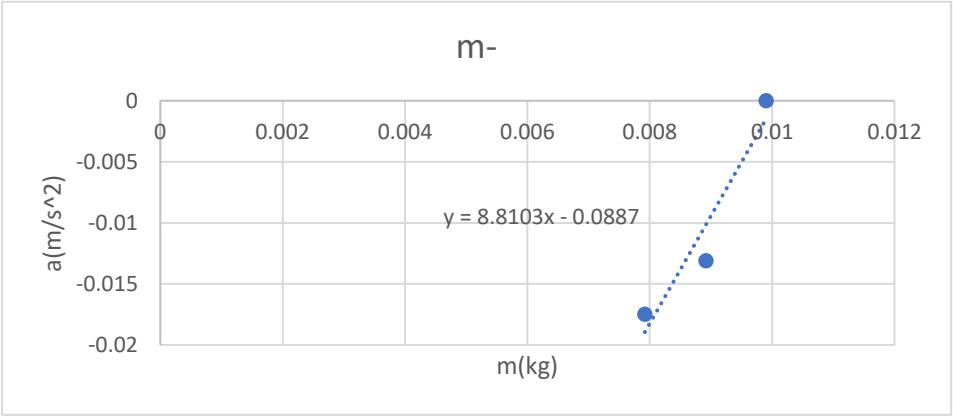
拟合線求得的加速度為 $1.754(\text{m/s}^2)$ ，與理論值

$2.470794(\text{m/s}^2)$ 相比誤差為 -29.01%

五、斜面

	m(g)	a(cm/s ²)
	13.86	1.455675
	12.88	2.09868
m+	11.88	0
m-	9.9	0
	8.92	1.74745
	7.92	1.31178

	實際	理論	誤差
摩擦力(N)	1.0672		
質量(g)	302.32	381.78	-0.20813
角度(度)	2.4275	1.6	0.5172



六、結果與討論

利用同一組滑車與懸掛物，測得的誤差

工具	tracker	arduino	光電計時器
誤差	-29.01%	-88.40%	63.10%

光電計時器我覺得和其他兩樣工具相較麻煩許多，手動重置，還要等他跑到加速度的值，然後將數據放進 excel 處理，在蒐集數據和統計資料要花費比較多的時間。

Arduino 是蠻方便的，不過連開電腦，按開始時，會一段延遲，為了因應就會造成前面的數據沒有意義，並且不知道到底甚麼時候才是物體運動開始的瞬間，畢竟手會抖。處理辦法，下次不要用手拿，用東西先固定住物體，然後放掉，解決初始值的問題。

TRACKER 誤差最小，我個人也最喜歡用 tracker，只要把影像放進軟體，設定座標，運動物體，就會自動得出個時間點的位置、速度、加速度，加上內建擬合工具真的好用。

七、問題：

1. 滑車軌面與滑車間的所產生的摩擦之大小，是否與滑車的速度有關？試述其理由。

A: 無關，摩擦力只與正向力和摩擦系數有關。

2. 試述如何以實驗方法估計軌道與每台滑車間的摩擦力？

A: 水平校正滑軌，將滑車至於軌道上，慢慢加重懸掛物的重量，直到開始動的瞬間懸掛物的重量即為靜摩擦力。減少一點點重量，直到滑車做等速度運動，此重量為滑車與軌道得動摩擦力。

3. 如果牛頓第二運動定律的驗證實驗中，若質量改變量太小和太大，對實驗結果分別有何缺點？

A: 質量改變太小，誤差造成的影響變大，誤差容易很大。質量改變太大則，數據點不夠連續，在取趨勢線的時候容易出現問題，而且質量越大正向力就越大

進而增加摩擦力對實驗結果的影響。

4. 所得擬合曲線是否經過原點?原因何在?

A: 以 tracker 那張 $x-t$ 圖為例，他沒有經過原點。原因，我們取的原點沒有完美的在運動開始的瞬間。若 $v-t$ 圖，沒經過原點，意思是我們的初始速度不為零，可能的原因是當實驗 $t=0$ 時實際上不是運動開始的時候，或是單純的初始速度不為 0。

八、心得

聽說這次的實驗很多人都做很久，好緊張，不過實驗操作起來其實不難，有點像高中的滑車實驗，不過多了一些特別的器材，像是光電計時器和 arduino，不用再用一張紙慢慢量間距求加速度，實驗起來方便許多。還有那個斜面實驗，真心覺得設計出來這個實驗的人真是個天才。

可能是經過實驗一的洗禮後，excel 的運用和等等數據處理，這次實驗花在處理數據的時間有明顯的進步，為自己掌聲鼓勵。