

國立雲林科技大學電子系

使用Arduino的物理實驗平台之設計與開發

主持人：黃永廣

共同主持人：吳昭榮、連韻文

助理：趙崇凱、郭柏興等

科技部計畫編號：102-2511-S-224 -002 -MY2

大綱

- 前言
- 研究動機與目的
- 文獻探討
- 系統架構與實驗工具
- 實驗課程介紹
- 各項實驗結果分析
- 結論與未來展望

前 言

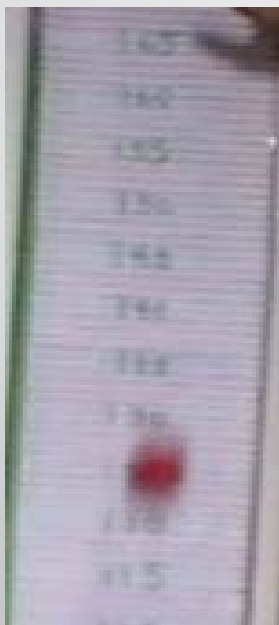
- 在物理學課程的教學屬於較為抽象且被動學習的課程教學，因為抽象不易理解則容易造成負面的學習態度，透過動手做實驗使學生可以發展研究、質疑、批判性思維，解決問題和決策能力以及改善學生對知識理解和自然科學的態度(Kaya, H. & Boyuk, U., 2011)。
- 本研究主要為開發
 - Arduino嵌入式開發板的應用、網頁數學建模平台(InduLab)
- Arduino應用在某高中的物理實驗課程
 - 斜坡運動(Arduino, NXT)、牛頓第二運動定律(Arduino, NXT)
 - 單擺實驗(Arduino, 手機, NXT)、自由落體(Arduino, 手機)



研究動機和目的

➤ 傳統物理實驗常見的三個問題：

➤ 低精確度、低取樣率、數據點少



自由落體 - DV拍攝



單擺實驗 - 碼表與單擺



斜坡運動 - 打點計時器



牛頓第二運動 - 光電閘與光電計時器

- 本研究所使用的Arduino開發板的基本優勢
 - 擁有較為平價的量測器材
 - 器材架設方便可以取代傳統實驗
 - 避免人為辨識或抄寫紀錄時的誤判
 - 有較高的取樣率和精確度
- 本研究於物理實驗課程中提供給學生：
 - 以實際操作方式與有限的規定下，給予學生發揮想像力與創意思考來完成實驗環境的架設
 - 透過數學模型驗證結果，並建模出接近於實驗的理想公式
 - 驗證實驗數據且分析實驗結果，給予學生檢討改進的空間



系統架構與物理實驗工具

三種量測工具



Arduino



Lego Mindstorms NXT



HTC one S

實驗簡介

實驗名稱		單擺實驗	自由落體	斜坡運動	第二牛頓運動
實驗工具		Arduino NXT 手機	Arduino 手機	Arduino NXT	Arduino NXT
感測器	Arduino	MX2125雙 軸加速度計	Ping超音波感測器		
	手機	內建陀螺儀	內建相機		
	NXT	陀螺儀		NXT超音波感測器	
實驗建模系統		InduLab (版本11.5)			

系統開發工具與系統架構

- Flex
 - 前端使用者介面的開發與設計
- Apache HTTP Server
 - 網路平台伺服器的架設
- PHP
 - 用來前端平台與後端平台間的聯繫
- MySQL
 - 資料庫，收集使用者的數據與資料



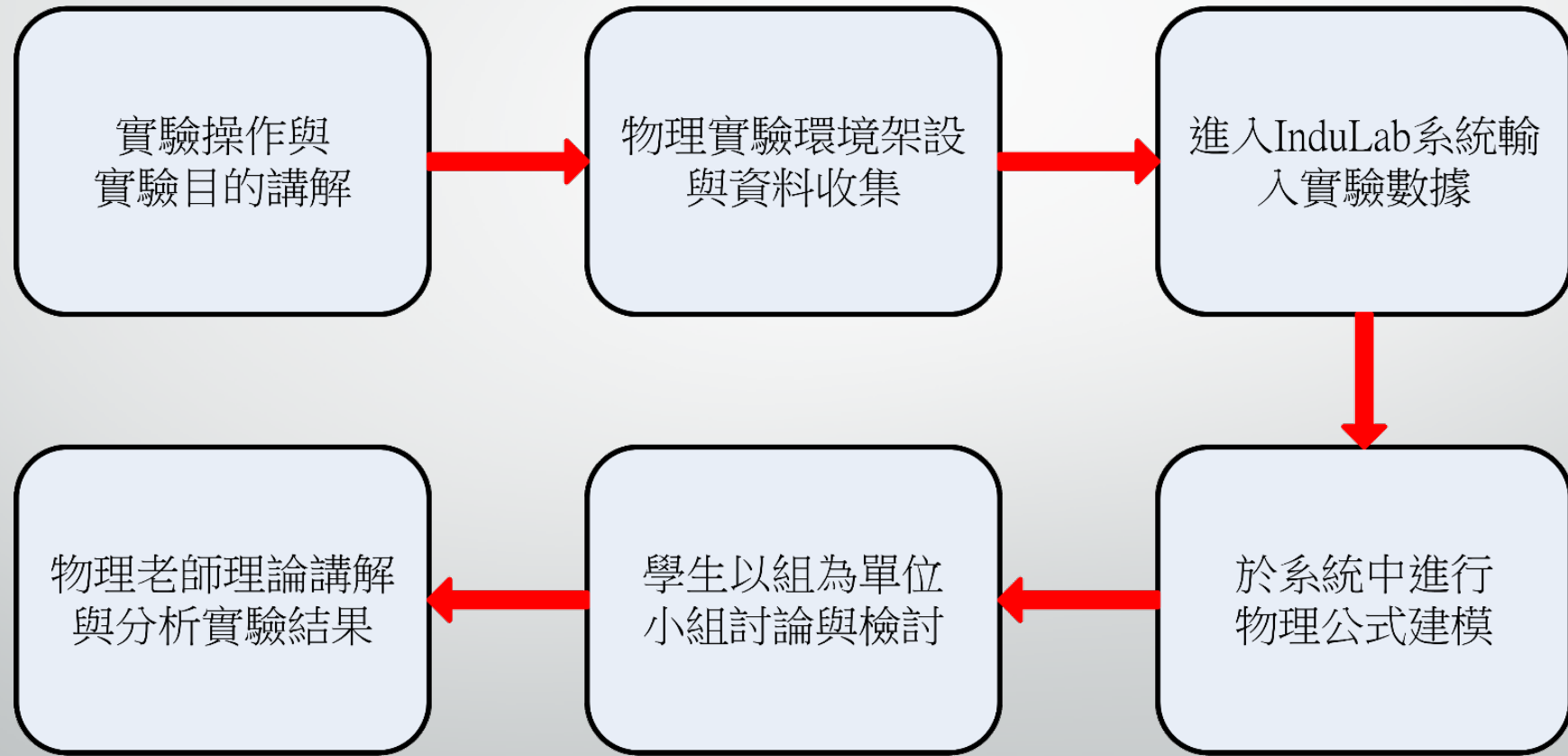
實驗與結果分析


課程規劃

- 以中部某高一學生，配合學校的物理選修課程實施。
- 分為上、下學期，以高一選修物理實驗課程，但不同學年的學生
- 實驗操作和數據紀錄以分組合作方式進行
- 網頁數學模型推導以個人為單位進行推測

學期	102年下學期	103年上學期
課程時數	一周2小時	一周2小時
實驗工具	Arduino、NXT	Arduino、NXT、手機
人數	30人(13女、17男)	28人(2女、16男)
各組人數	共六組 每組5人	共六組 (2組4人、4組5人)
實驗課程	單元一：斜坡運動 單元二：牛頓第二運動	單元一：單擺實驗 單元二：自由落體 單元三：斜坡運動
課程週數	8-10週	8-12週

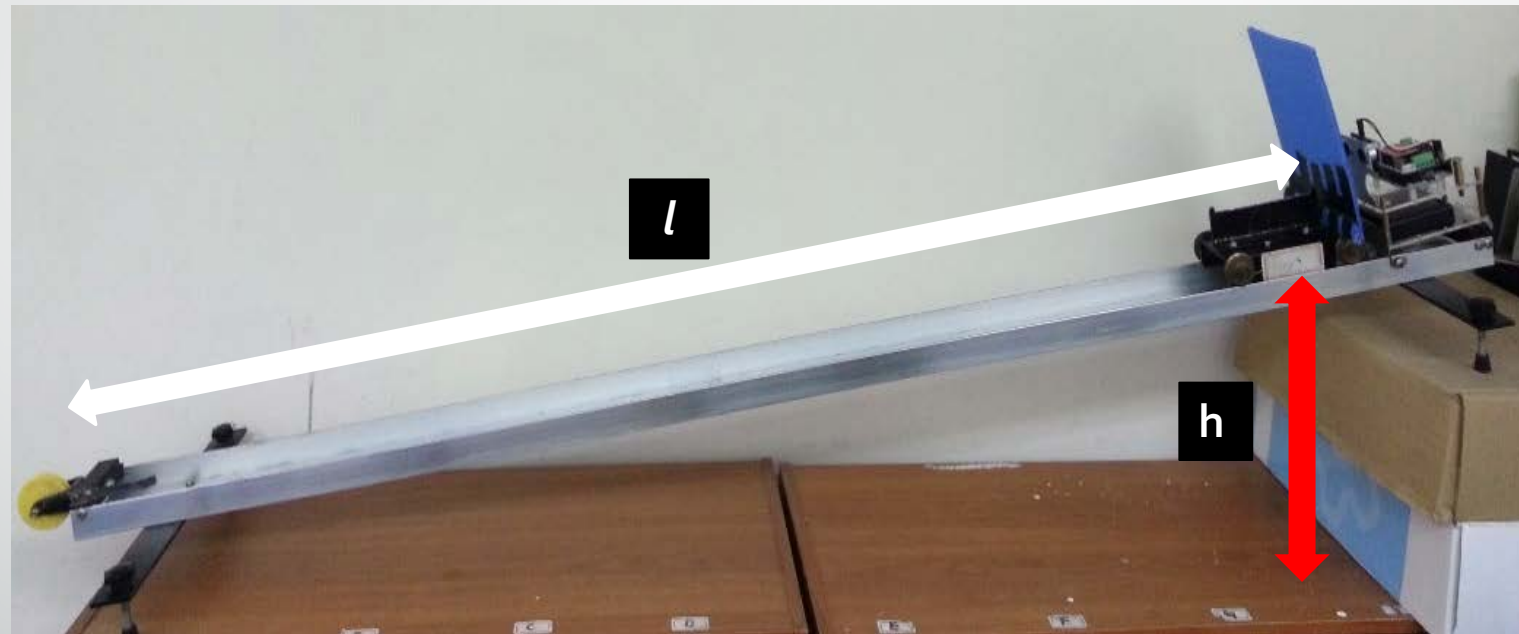
實驗流程



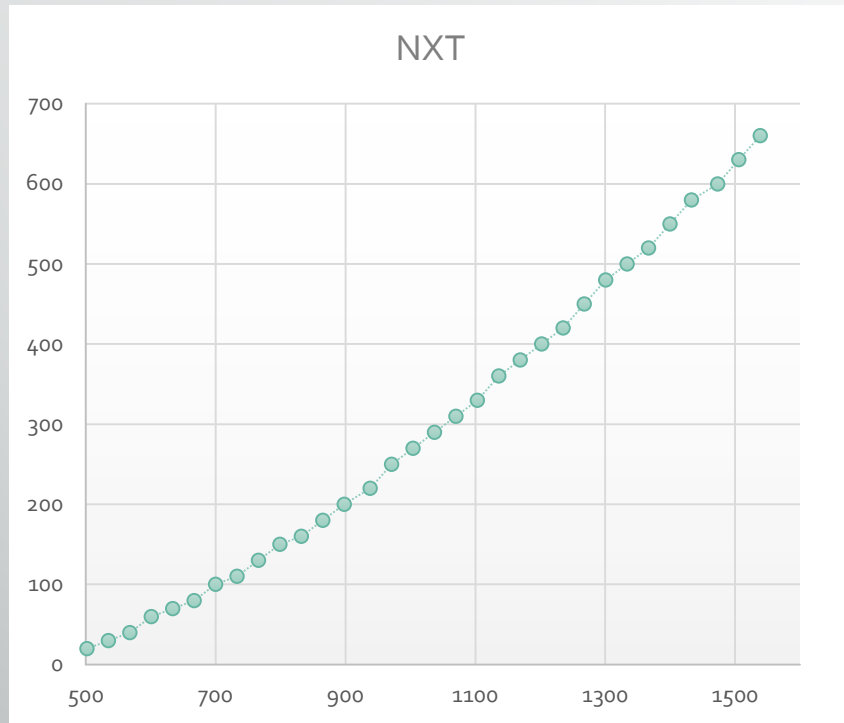


各項實驗結果分析

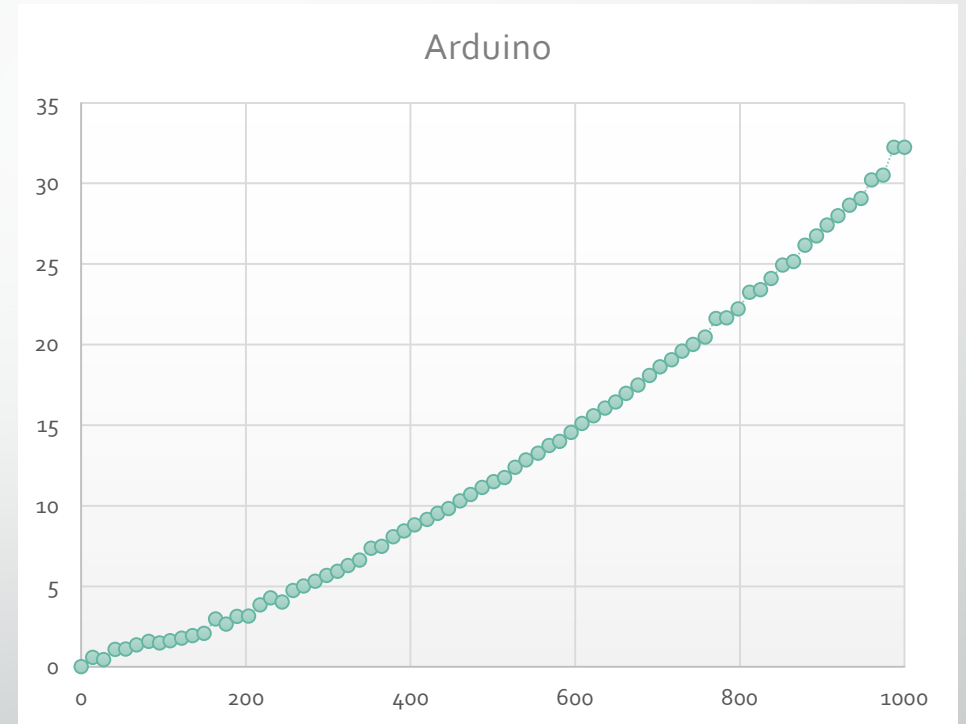
斜坡運動 - 實驗介紹



斜坡運動 - 取樣率



NXT - 30筆/每秒



Arduino - 60~80筆/每秒

斜坡運動 - 學生建模的6個建模

圖形 建模			
序號	1	2	36
方程式	$3/4t$	$3/4t*t$	$4/2430t*t+5*t$
誤差值	32.4	43856.6	878.9
圖形 建模			
序號	39	57	83
方程式	$4/2430t*t+1/1000t$	$4/2650t*t+1/1000t+20$	$4/2855t*t+1/1000t+28$
誤差值	10.8	5	1.9

斜坡運動 – 實驗結果分析

- 依據學生推論的最後送出的推論方程式統計是否符合斜坡運動公式
- 依據學生推論方程斜坡運動公式則為 $S = \frac{1}{2} * \frac{h}{l} * gt^2$ 式符合，將 $\frac{1}{2} * \frac{h}{l} * g$ 視為常數k，即 $S = kt^2$
- 學生成功建模出二次式的結果分析所得的g值

學年 斜坡運動(平台)	102年下學期		103年上學期	
	Arduino	NXT	Arduino	NXT
最後結果為二次式	3	6	22	21
比例	13.33%	40.00%	92.00%	87.50%
最後結果為二次式 誤差10%以下	1	4	21	18
比例	6.67%	26.67%	84%	75%
總人數	15	15	25	24

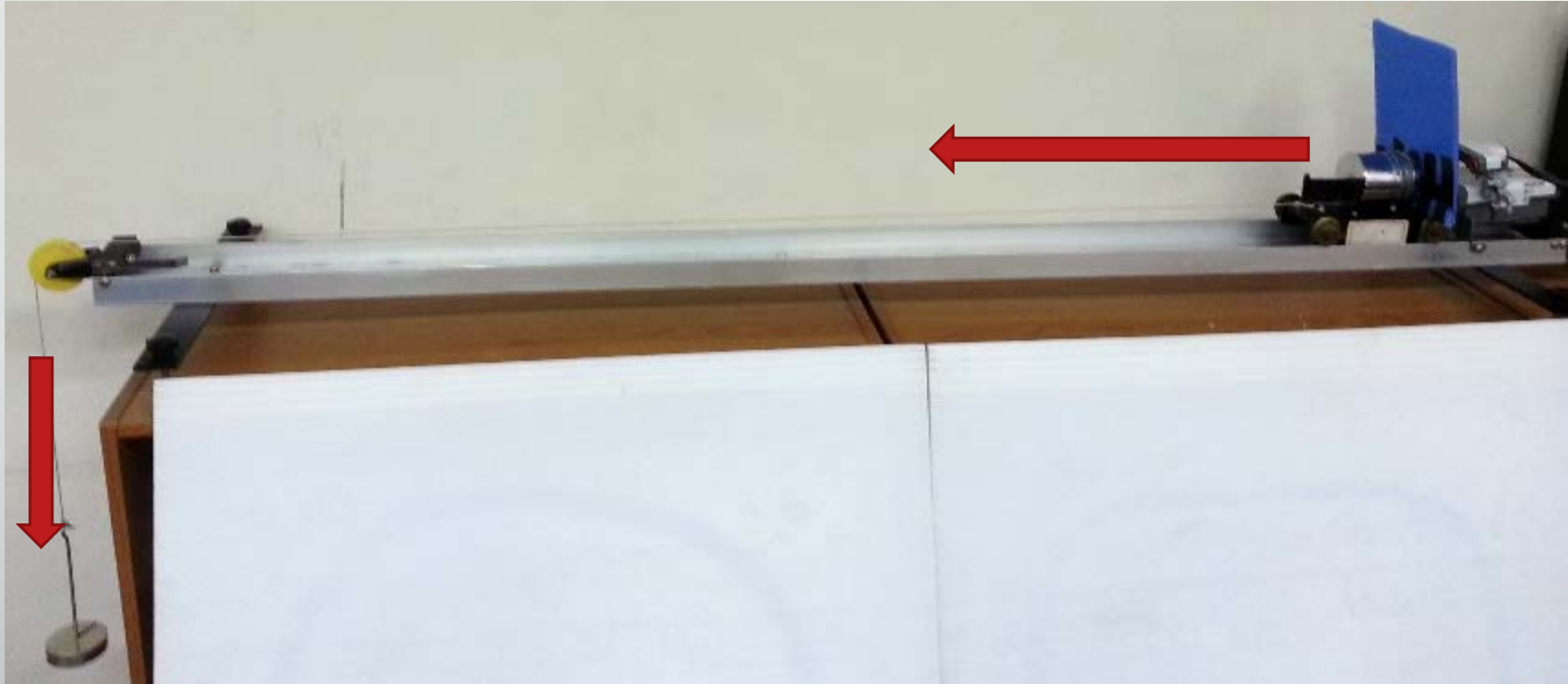
102年下學期斜坡運動g值(摩擦係數)分析結果

g值 (由理想公式反推)	$0 \leq g < 3$	$3 \leq g < 6$	$6 \leq g < 9$	$9 \leq g < 12$	$12 \leq g < 15$	$g > 15$ 以上
工具						
Arduino	0	1	0	0	0	1
NXT	2	3	0	0	0	1
人數	2	4	0	0	0	2
合計(共30人)	8					

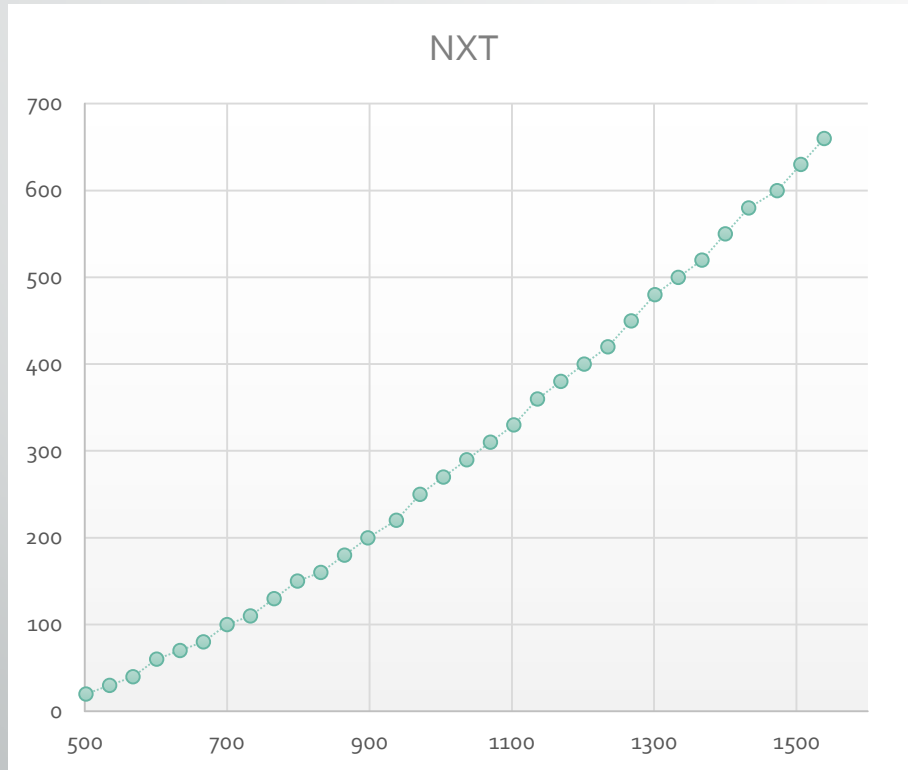
103年上學期斜坡運動g值(摩擦係數)分析結果

g值 (由理想公式反推)	$0 \leq g < 3.5$	$3.5 \leq g < 6.5$	$6.5 \leq g < 8.5$	$8.5 \leq g < 10.5$	$10.5 \leq g < 13.5$	$g > 13.5$ 以上
工具						
Arduino	1	10	3	2	2	1
NXT	2	15	2	2	0	1
人數	3	25	5	4	2	2
合計(共49人)	41					

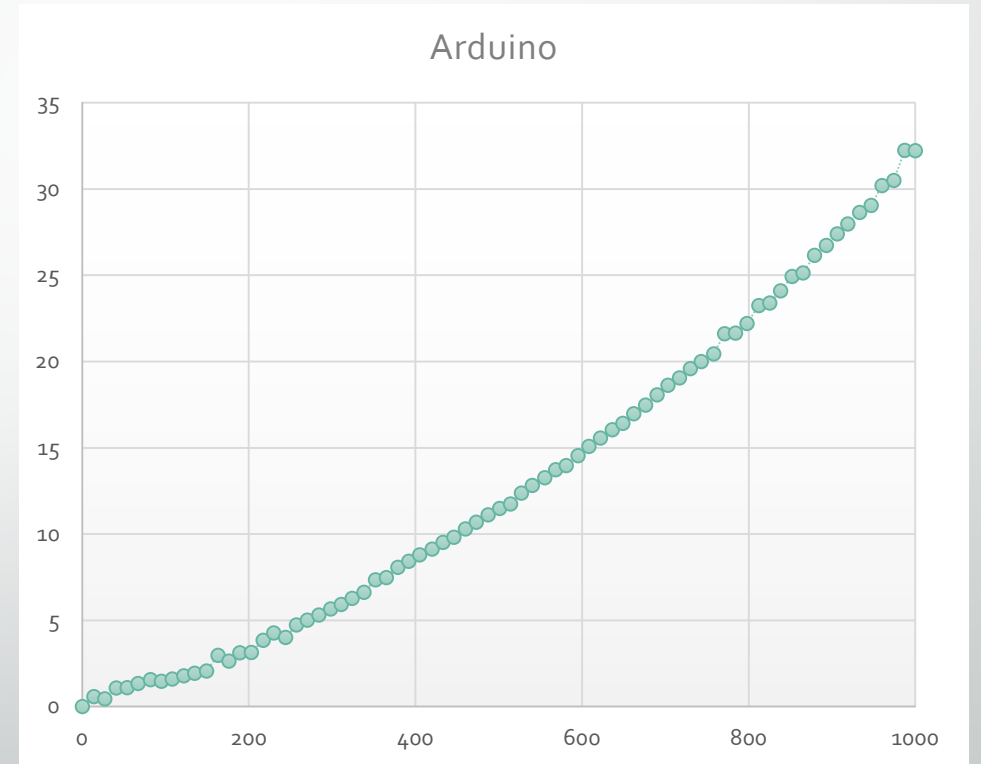
牛頓第二運動 - 實驗介紹



牛頓第二運動 - 取樣率

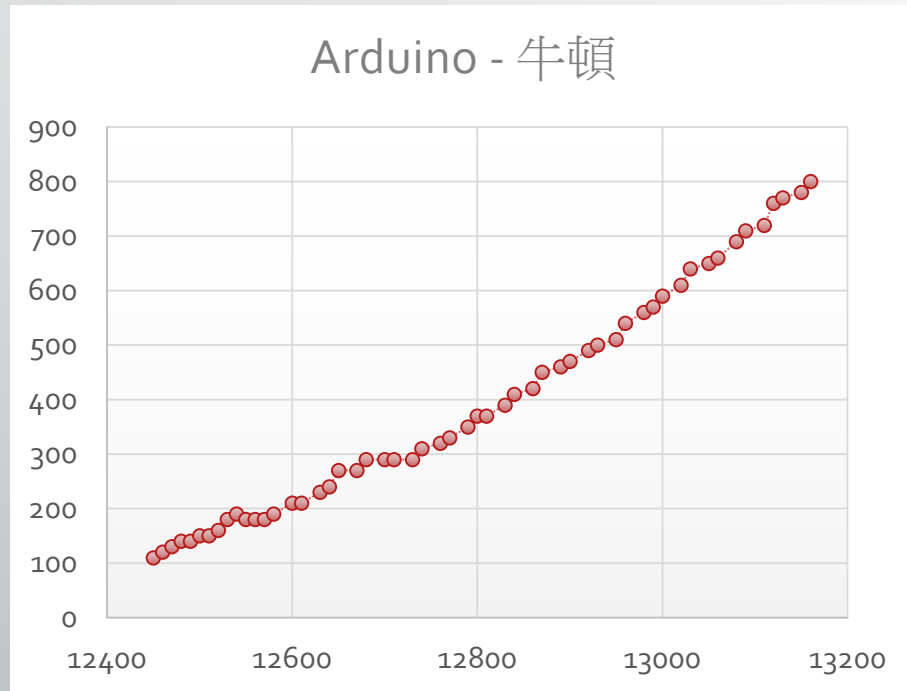


NXT - 30筆/每秒

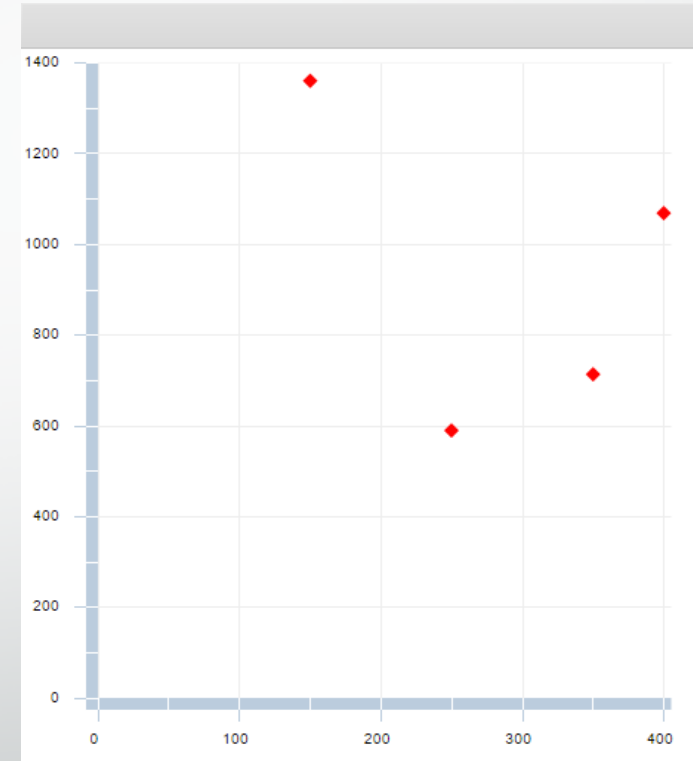


Arduino - 60筆/每秒

牛頓第二運動 - 學生加速度與質量數據點



250g掛勾砝碼拉動車體量測結果



學生建模 $F = m * a$ 實驗結果

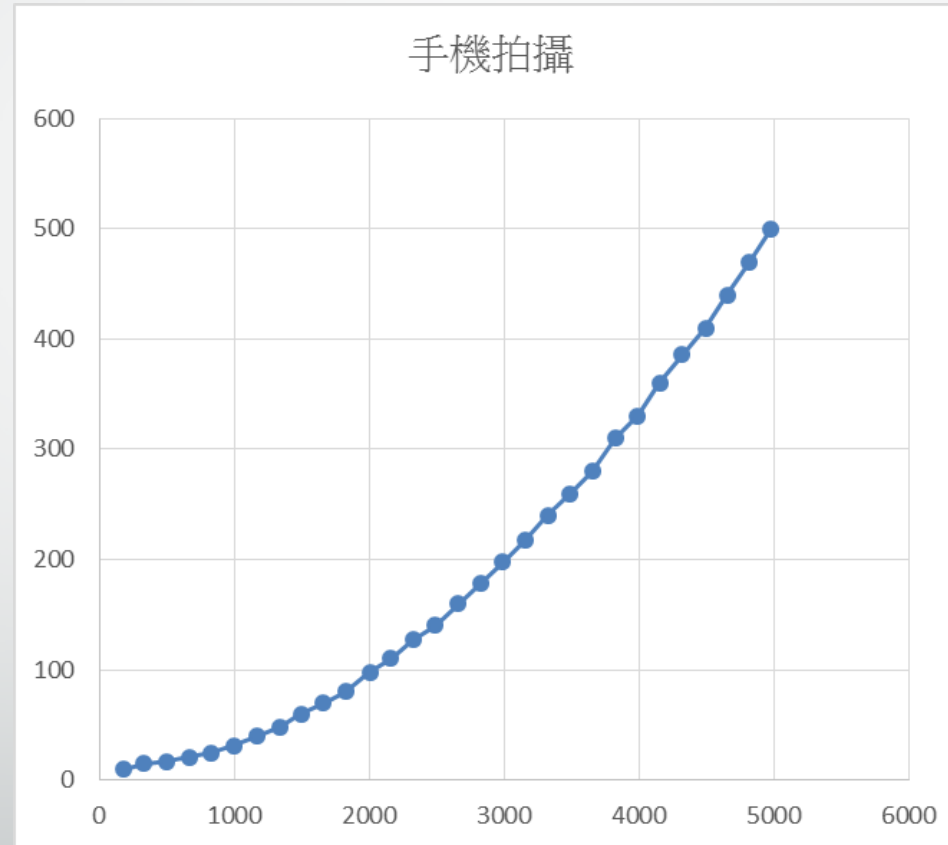
牛頓第二運動 – 實驗結果分析

- $\frac{1}{2} * a * t^2 = k * t^2$
- 依據學生推論的最後送出的推論方程式統計是否符合牛頓第二運動公式
- 依據學生建模方程牛頓第二運動公式則為 $F = m * a$

牛頓第二運動(平台)	Arduino	NXT
最後結果為一次式	9	7
比例	60.00%	46.67%
最後結果為一次式 誤差10%以下	1	2
比例	6.67%	13.33%
總人數	15	15

g值(由理想公式 來反推)	0 <= g < 3	3 <= g < 6	6 <= g < 9.5	9.5 <= g < 10.5	10.5 <= g < 12	g > 12以上
工具						
Arduino	1	2	2	0	2	2
NXT	1	6	0	0	0	0
人數	2	8	2	0	2	2
合計(共30人)	16					

自由落體 - 手機慢速攝影

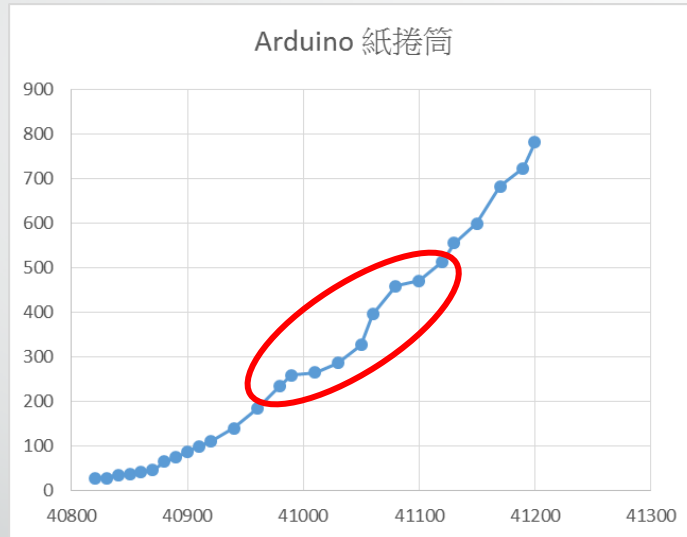


手機取樣率 - 30筆/每秒

自由落體 - Arduino



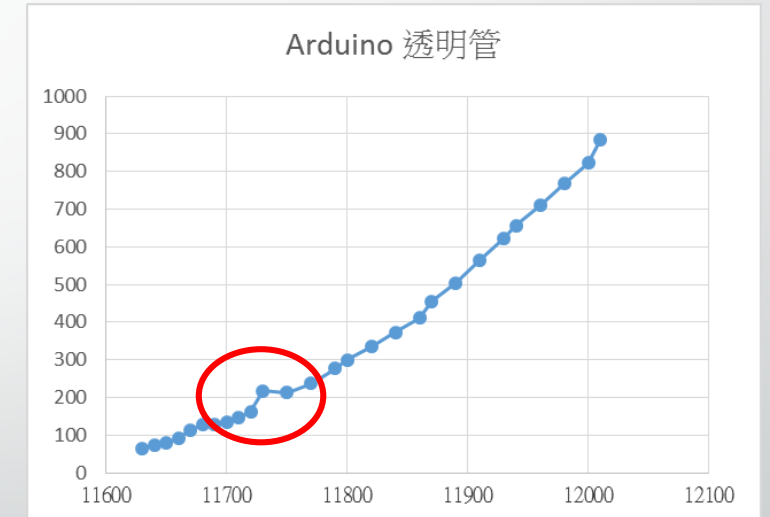
Arduino ADK取樣率
60筆/每秒



紙捲筒



Arduino Uno取樣率
60筆/每秒



透明壓克力管

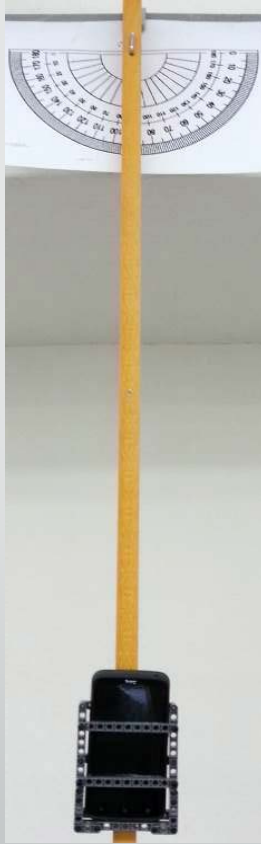
自由落體 – 實驗結果分析

- 依據學生推論的最後送出的推論方程式統計是否符合加速度公式
- 依據學生建模的加速度公式為 $S = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ ，其中為 S 為位移、 t 位移對應的時間、 a 加速度、 v_0 初速度為零， $S = \frac{1}{2}at^2$ 將 $\frac{1}{2}a$ 視為常數 k ，即 $S = kt^2$
- 學生成功建模出二次式的結果分析所得的 g 值

自由落體(平台)	Arduino	手機
最後結果為二次式	25	26
比例	92.59%	96.30%
最後結果為二次式 誤差10%以下	23	25
比例	85.19%	92.59%
總人數	27	27

g值 (由理想公式反推)	0 ≤ g < 5	5 ≤ g < 7	7 ≤ g < 8	8 ≤ g < 9.5	9.5 ≤ g < 10.5	10.5 ≤ g < 11
工具						
Arduino (25人)	1	0	0	0	3	21
手機 (26人)	26	0	0	0	0	0
人數	27	0	0	0	3	21
*合計(共27*2人)	51					

單擺實驗 - 量測工具



手機

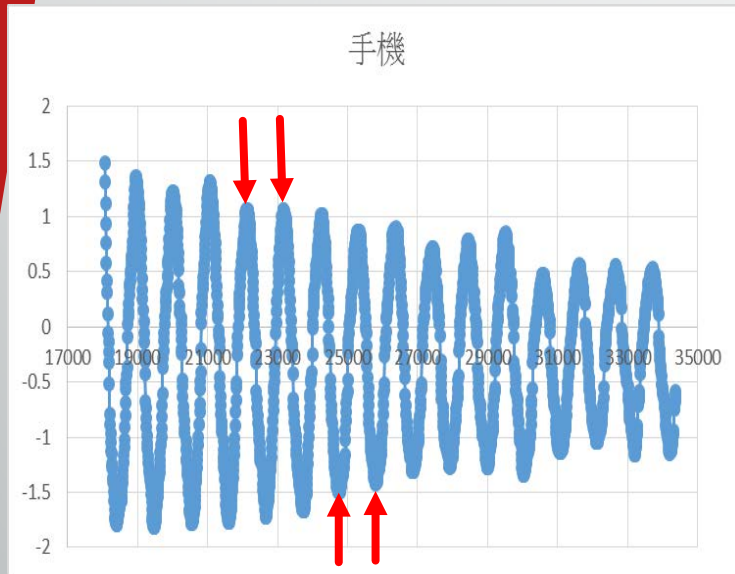


NXT

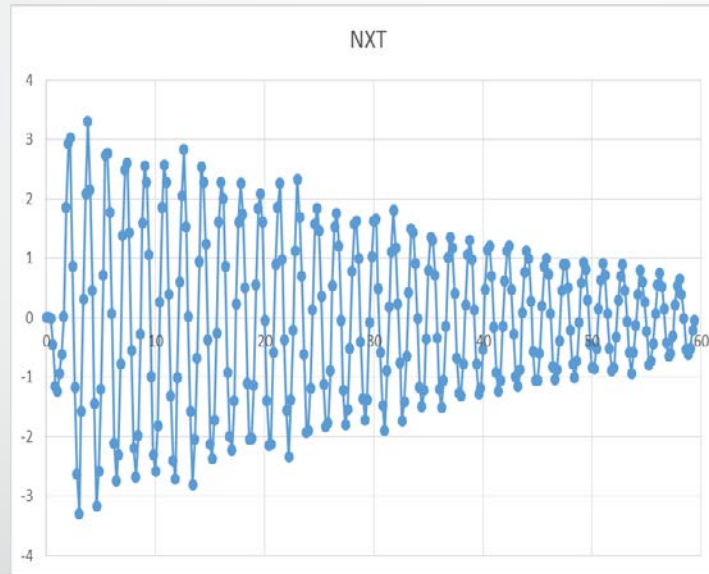


Arduino

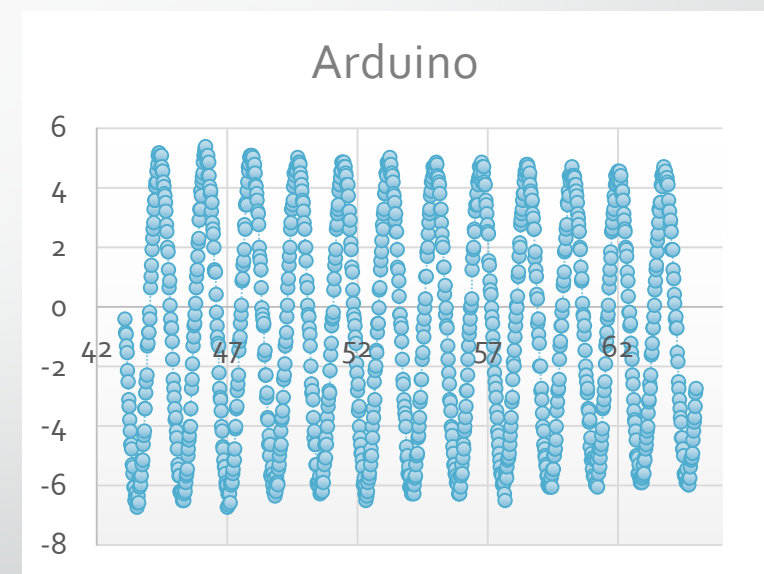
單擺實驗 - 取樣率



手機 - 50筆/每秒

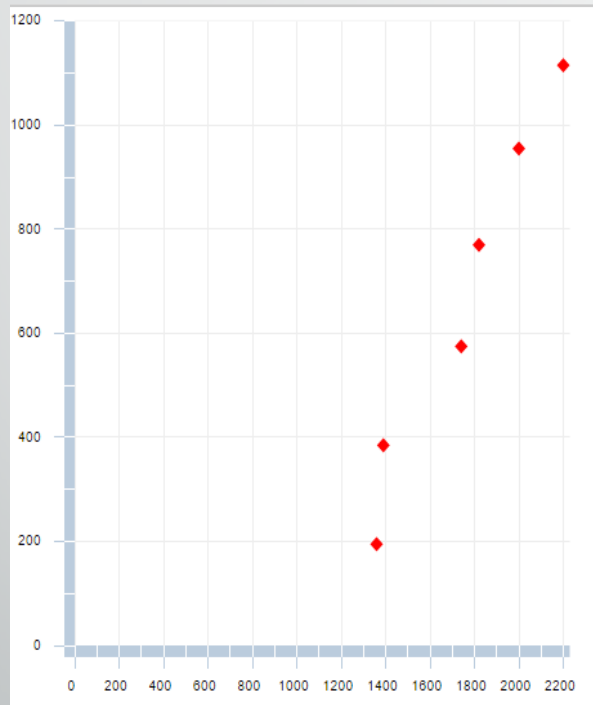


NXT - 5筆/每秒

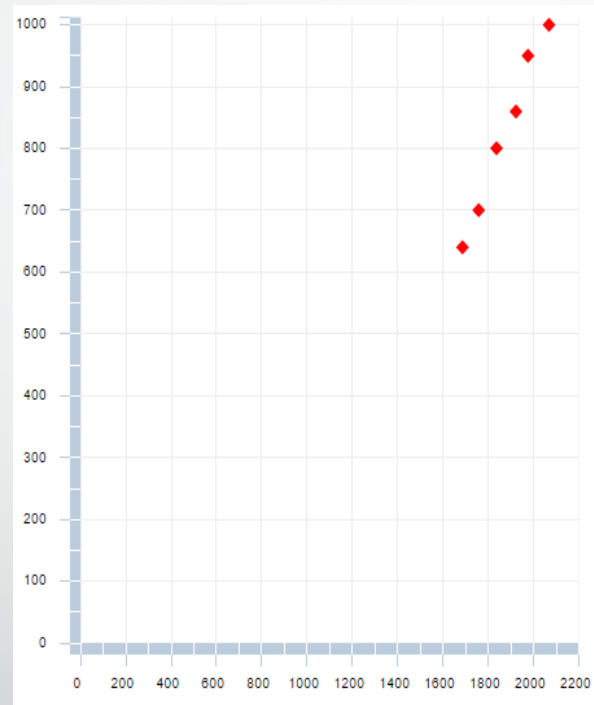


Arduino - 45-50筆/每秒

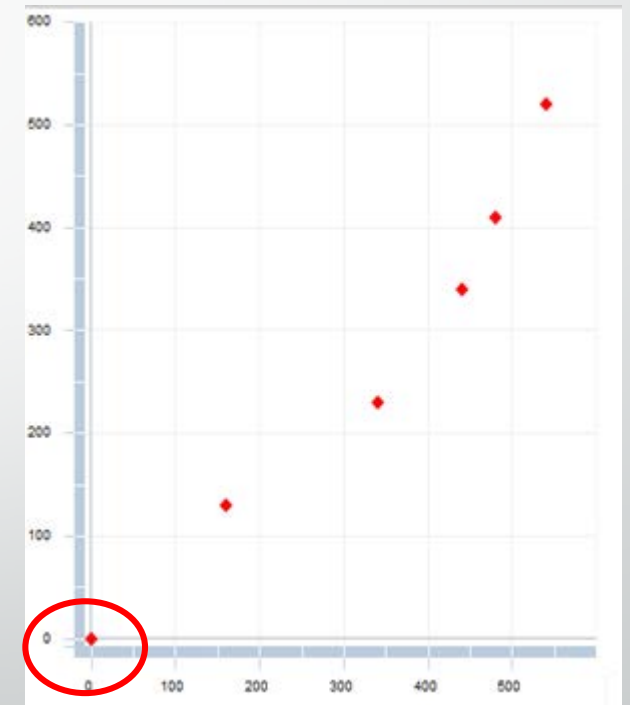
單擺實驗數據 - 學生實驗數據點



NXT實驗數據點



Arduino實驗數據點



陳品任(2014)的實驗數據

單擺實驗 – 實驗結果分析

- 依據學生建模的最後送出的方程式統計是否符合單擺運動週期公式
- 依據學生建模的單擺公式為 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ ， $T^2 = 4\pi^2 \frac{L}{g}$ ，其中為L為擺長、T為週期、g重力加速度， $T^2 = L * k$ ，而 $k = 4\pi^2 \frac{L}{g}$ ，即 $L = kT^2$
- 學生成功建模出二次式的結果分析所得的g值

自由落體(平台)	Arduino	手機	NXT
最後結果為二次式	0	0	1
比例	0%	0%	10%
最後結果為二次式 誤差10%以下	0	0	0
比例	0%	0%	0%
總人數	9	9	10

g值 (由理想公式反推)	0 <= g < 3	3 <= g < 6	6 <= g < 9	9 <= g < 12	12 <= g < 15	g > 15 以上
工具						
Arduino (9人)						
手機 (9人)						
NXT (10人)					1	
人數	0	0	0	0	1	0
*合計(共28人)	1					



結論與未來展望

結論

物理實驗取樣率比較

工具	Arduino	手機	NXT
自由落體	★60筆/秒	30筆/秒	
斜坡運動	★80筆/秒		30筆/秒
牛頓第二運動	★60筆/秒		30筆/秒
單擺實驗	★45-50筆/秒	★50筆/秒	5筆/秒

物理實驗成功率比較

物理實驗成功率比較	Arduino	手機	NXT
自由落體	92.59%	★96.30%	
斜坡運動	★92.00%		87.50%
牛頓第二運動	★60.00%		46.67%
單擺實驗	0%	0%	★10%

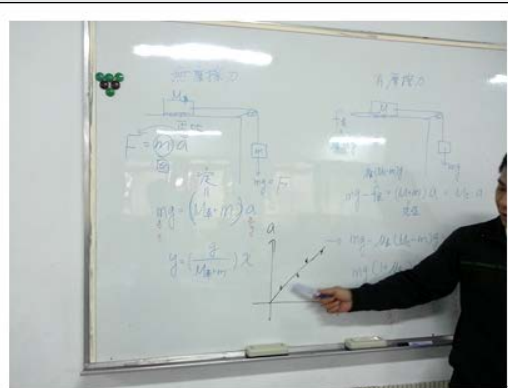
工具	Arduino	NXT	手機
價錢 (元)	1萬左右	1萬5 - 2萬	★1萬以下
取樣率	★高	中	中
實驗操作時間	★較快	較慢	較慢
實驗擴展性	★高	★高	中
超音波誤差	★±2.71%	±9.38%	

物理實驗工具比較表

課程紀錄



102 年斜坡運動物理老師指導學生。



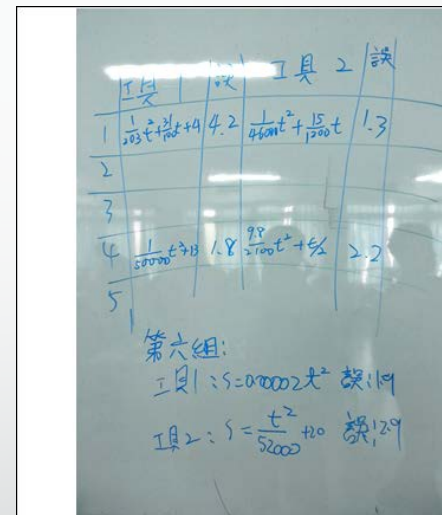
102 年牛頓第二運動物理公式講解。



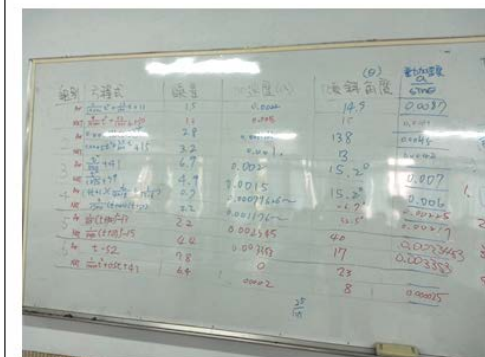
103 年小組討論報告。



103 年物理實驗學生資料分析。



103 年單擺實驗學生紀錄。



103 年斜坡運動學生紀錄。

老師講解與小組討論

- 以102學年斜坡運動實驗中物理老師在課程講解中提到：「學生大部分使用一次式來建模，以一次式來建模當成結果則稱為等速運動位置與時間成正比， $x = v * t + x_0$ ， v 為斜率、 x_0 起始位置」。
- 在以物理理論來探討，物理老師則說：「在斜坡運動中假設無動摩擦力時， $m * g * \sin\theta = m * a$ (假設無摩擦力)，則可推導出 a 加速度公式， $a = g * \sin\theta = g * \frac{H}{S}$ ， S 斜面高， H 為斜面長。由 $m * g * \sin\theta = m * a$ 的關係式可推導出重力加速數 $g = \frac{a * S}{H}$ 。因為本實驗摩擦力偏大，當考慮到摩擦力時，於高二物理課程中會提到合力 $= m * g * \sin\theta - f_k = m * a$ 」

- 103年上學期自由落體實驗的小組討論單其中一個題目為：「根據實驗結果，請討論在本單元實際操作過程中有什麼因素會造成結果與理論公式的差異，並請討論可能的改進方法。」

1. 當球體質量較輕時會受到空氣阻力的影響
2. 球體掉落的過程不夠垂直也會導致結果有誤差
3. 紙捲筒內壁的紙張捲曲導致球體掉落容易碰到
4. 手持手機攝影不夠穩定會造成影像模糊或拍攝角度導致刻度辨識不容易

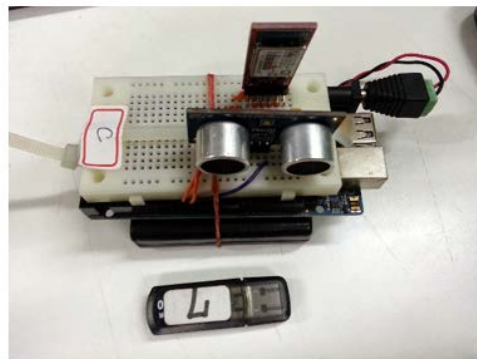
- 解決方法為：

1. 使用體積較小且符合流體力學形狀的物體來量測
2. 將紙捲筒的管壁用膠帶固定的平整避免球體摩擦
3. 提供手機一個較為穩固的固定架讓影像拍攝時不易模糊

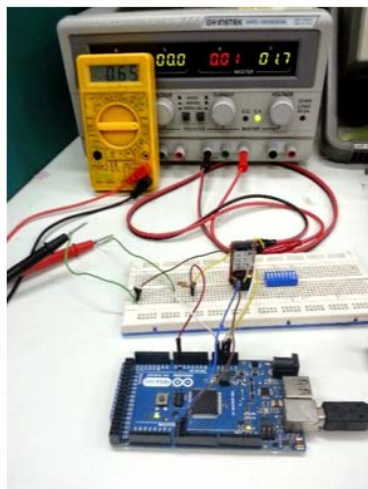
電學實驗與Arduino模組測試



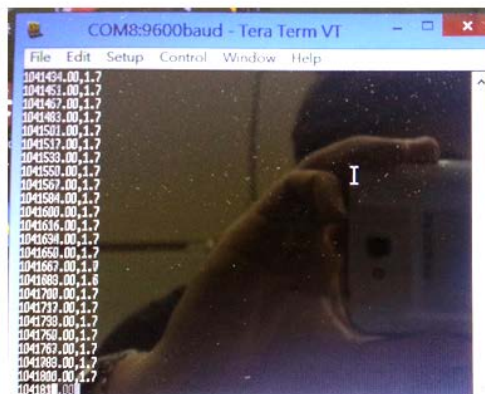
Arduino 透過 Lego 零件組裝。



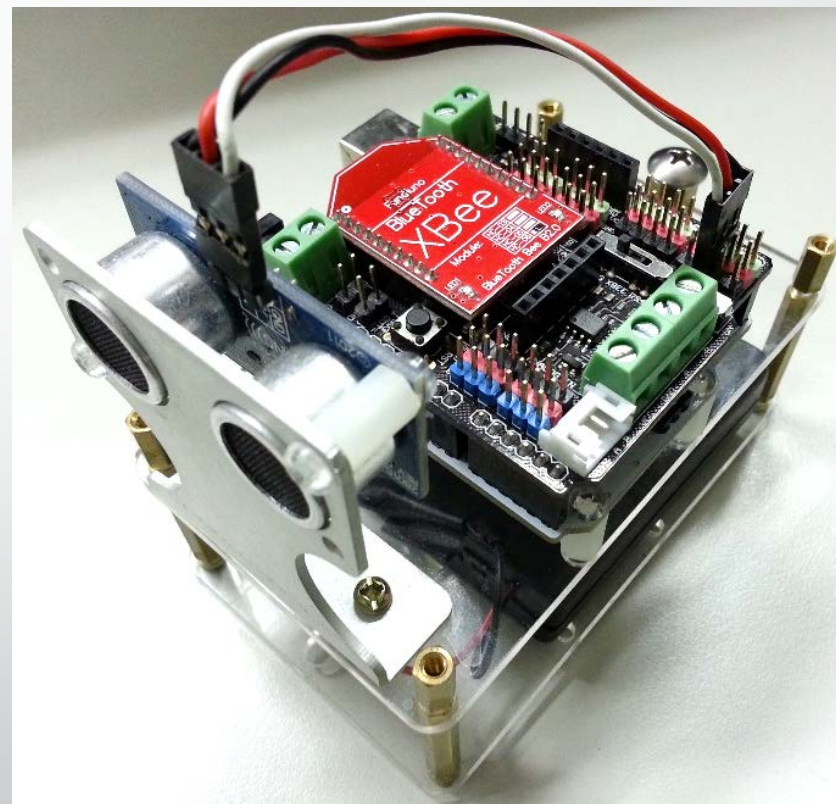
Arduino 無固定外殼。



電學實驗。



Arduino 量測電壓數據。



Questions/Comments?

