

逢甲大學學生報告 ePaper

利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體
探究單擺運動的都卜勒效應

Exploring the Doppler Effect of
Simple Pendulum Motion by using
audio detection APP, Tracker and video
softwares

作者：何致寬、林永傑

系級：美國加州聖荷西州立大學電機工程雙學士學位學程二年級

學號：D0965633、D0969638

開課老師：李英德 教授

課程名稱：波動力學、熱力學和光學實驗課

開課系所：美國加州聖荷西州立大學電機工程雙學士學位學程

開課學年： 110 學年度 第 1 學期

利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

中文摘要

此計畫所設計的物理實驗之主要器材有手機、Gopro 8、無線藍芽耳機以及聲頻偵測 APP、Tracker 和威力導演等免費軟體。因此非常適合學生於家中自行進行學習探討，也非常契合疫情期間的線上實驗教學目標。不僅如此，此計畫所進行的物理實驗主題並不常見於大學大一基礎物理實驗課，其特點包含 (1) 融合了單擺的牛頓力學和都卜勒效應的聲學現象；(2) 將教科書的線性都卜勒效應(亦即物體運動平行於音速方向)和非線性情況，進行實驗與理論的探討；(3) 將教科書之小角度單擺簡諧運動延伸至大角度情況的實驗和理論分析；(4) 此實驗設計也納入 Matlab 程式撰寫及其在微分方程求解的應用。

關鍵字：

都卜勒效應；單擺運動

Abstract

According to our research, domestic colleges and universities in Taiwan rarely explored the Doppler effect of acoustic experiments in-depth in both freshmen and sophomore years. Especially the Doppler effect caused by a sound-emitting object when performing simple pendulum motion with a source velocity related to a stationary object. Therefore, in this experiment, we will use a string with one end tied with a Bluetooth earphone and the other end tied to a stand to perform pendulum motion.

No special or expensive experimental equipment is needed to conduct this experiment. Experimental equipment we will be using includes two mobile phones, GoPro 8 (can be substituted by smartphone), one wireless Bluetooth earphone or an earbud, a 50cm cotton string, and an adjustable laboratory stand. Software and mobile phone APP will also be needed in this experiment including an audio detection APP (Physics Toolbox Suite), Tracker, and Power Director.

In addition, due to the epidemic done by covid in the past two years, most of the experiment classes have been changed to online courses or canceled, which has a great impact on the experiment classes. Such a simple experimental design is suitable to be carried out at home, and the data collected can also be used to explore the Doppler effect of the pendulum motion.

Keyword :

Doppler effect; Simple pendulum motion

目 次

一、	目的與動機	4
二、	實驗原理	4~7
三、	實驗器材	8
四、	實驗步驟	
1.	器材架設	8~9
2.	Physics Toolbox Sensor Suite 的使用	10
3.	Gopro 的使用與架設	11
4.	Tracker 的使用	12~14
5.	威力導演的使用	15
五、	結果與討論	16
六、	參考文獻	17

一、實驗目的與動機

本實驗探討之都卜勒效應不同於我們平常在物理課時探討在同一直線上，一發聲物體以等速度運動接近或遠離另一物體時所產生之都卜勒效應。此實驗，我們將以不同的角度來分析都卜勒效應。以一發聲物體在做單擺運動時，以變速度相對於靜止的收音麥克風所產生之都卜勒效應。由於單擺運動為變速度運動，所以在分析上及公式的運用上會更加困難。

本實驗目的為使用日常生活中容易取得的物品或軟體如聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體來深入探究單擺運動的都卜勒效應。

二、實驗原理

此實驗，我們將利用單擺擺盪的現象，以藍芽耳機作為擺錘，在擺盪時，觀察一個發聲藍芽耳機與固定手機收音麥克風在相對運動下，因速度變化造成都卜勒效應進而產生頻率變化。本實驗主要專注於討論線性都卜勒效應、非線性都卜勒效應與實驗數據的關係。

教科書上的都卜勒公式為觀察者與發射源在同一線上相對移動所產生的都卜勒效應，本報告簡稱為線性都卜勒效應。

使用公式如下：

$$f = \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s} \right) f_0$$

f 為觀察到的頻率； f_0 為發射源的原始頻率； v 為在空氣中的聲速

v_o 為觀察者相對於介質的移動速度，接近發射源為 + 號，遠離為 - 號。

v_s 為發射源相對於介質的移動速度，接近觀察者為 - 號，遠離為 + 號。

利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

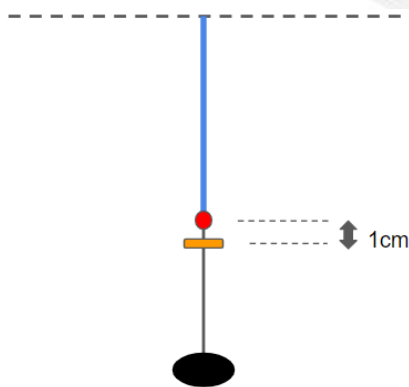
經過實驗結合現實情況與理論推倒之非線性都卜勒公式為觀察者與發射源不在同一線上時，相對移動所產生的都卜勒效應，這裡簡稱為非線性都卜勒效應。我們將假設 θ 為單擺擺錘(藍芽耳機)的擺動夾角、 α 為藍芽耳機與手機麥克風連線和鉛錘線的夾角、 β 為藍芽耳機與手機麥克風連線和擺錘移動速度(或擺錘移動圓之切線)的夾角並設定 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 。

公式如下：

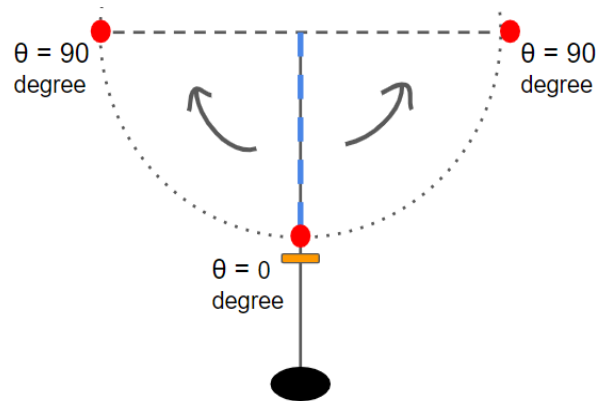
$$f_{obs} = \frac{f_{src}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \alpha = \theta - \beta$$

$$f_{obs} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)^{-1} \quad \alpha + \frac{v}{c} = \text{或} - \quad \theta_0 = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) \theta$$

此圖為實驗器材架設示意圖。圖中，橘色長方形為手機麥克風的擺放位置；紅色圓點為藍芽耳機；藍色千直線為單擺；背景為黑色實驗支架。首先，我們將 θ 設為單擺擺錘(藍芽耳機)的擺動夾角且 $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 且 $\theta=0$ 時，單擺為鉛錘禁止狀態。



示意圖(1)

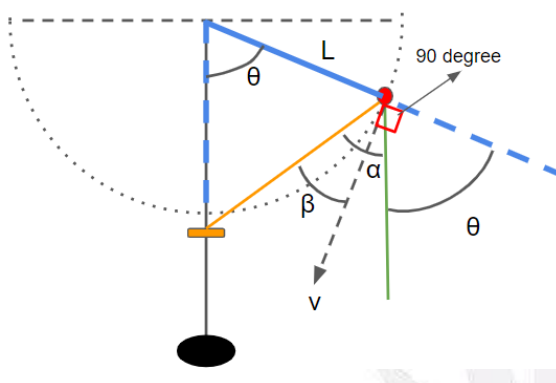


示意圖(2)

利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

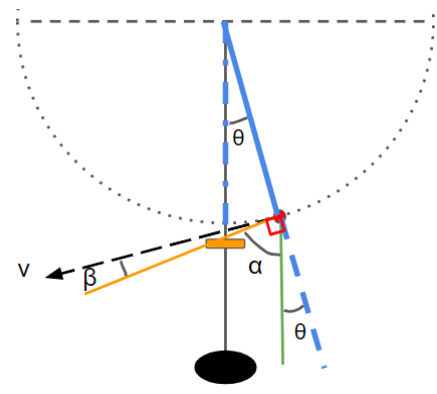
為了找出藍芽耳機對手機收音麥克風的相對速度，我們要先算出 β 角。 β 角為藍芽耳機與手機麥克風連線和擺錘移動速度(或擺錘移動圓之切線)的夾角。算出 β 角之後，再以速度 v 乘上 () 即可得到藍芽耳機對手機收音麥克風的相對速度。

從示意圖中可以看到 $\alpha + \frac{-}{2} =$ 或 $-$ 。 β 的正負值不會影響最的結果，因為當 β 帶入 後，值皆會為正。() = (-)



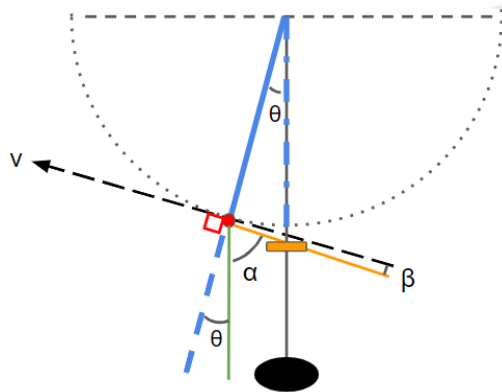
$$\alpha + \frac{-}{2} =$$

示意圖(3)

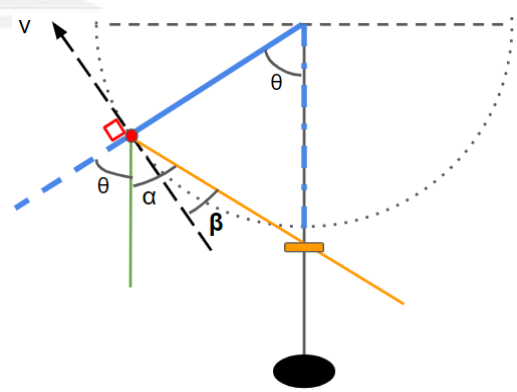


$$\alpha + \frac{-}{2} =$$

示意圖(4)



$$\alpha + \frac{-}{2} = -$$



$$\alpha + \frac{-}{2} =$$

示意圖(5)

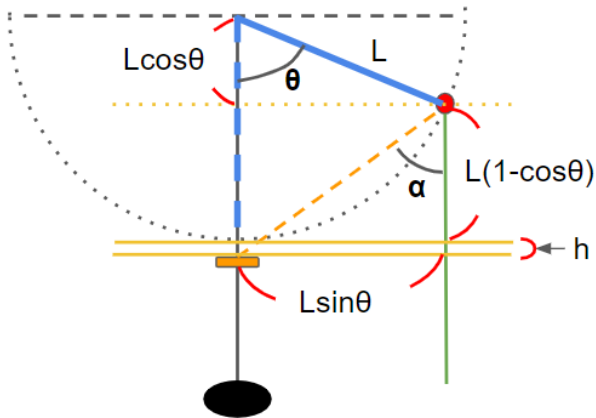
示意圖(6)

為了求出 β 角，首先我們要求出角 α 。 α 角為藍芽耳機與手機麥克風連線和鉛錘線的夾角。

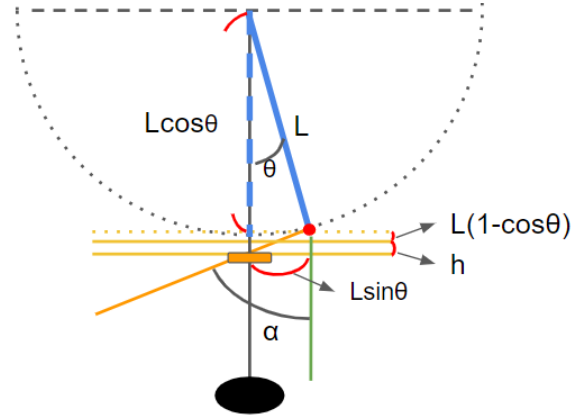
公式如下：

$$\tan(\alpha) = \frac{L\sin(\theta)}{L[1-\cos(\theta)]+h}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{L\sin(\theta)}{L[1-\cos(\theta)]+h}\right)$$



示意圖(7)



示意圖(8)

最後再將算出的 α 角和已知的 θ 角相加減去 $\frac{\pi}{2}$ ，得到 β 角後帶入 $f' = f \left(\frac{v \pm v_o}{v \mp v_s} \right)$

，在依藍芽耳機接近或是遠離麥克風做 () 正負號的改變即可得到原始頻率 因都卜勒效應而產生的新頻率 f' 。

利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

三、實驗器材

實驗器材：

兩部手機、無線藍芽耳機一副、Gopro8 一台、50cm 棉線一條、實驗支架一組、

紅色圓點貼紙

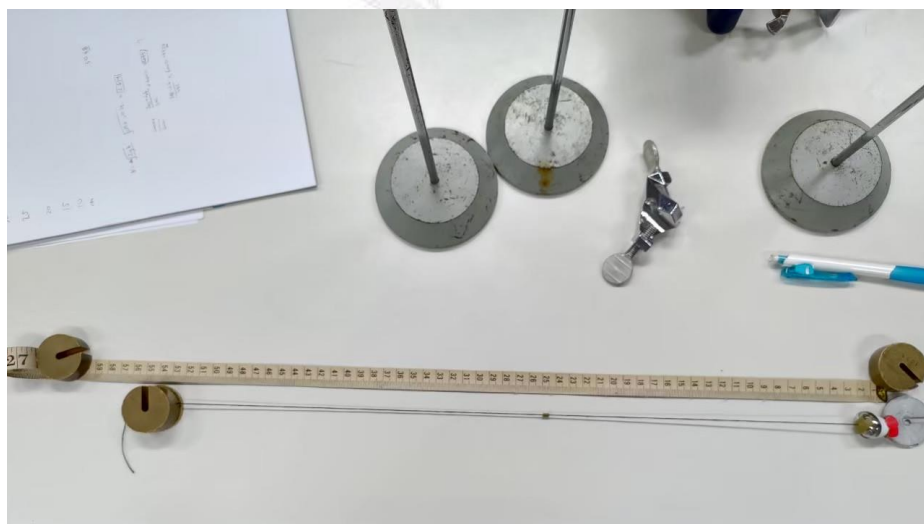
軟體：

Tracker、威力導演、Physics Toolbox Suite

四、實驗步驟

1. 器材架設

先將棉線的一端綁一隻藍芽耳機上並用膠帶固定連結端,再將綁著藍芽耳機的棉線放於桌面上用捲尺測量擺長。在測量時,我們以砝碼固定捲尺的兩端與棉線的一端以確保測量擺長的精確,並將一小段膠帶標示於 35 公分處,以便於綁在實驗支架上時確認長度。此實驗,我們使用之擺長為 35 公分,且擺長包含膠帶標記點到藍芽耳機震膜之位置。



利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

圖 1. 擺長測量

在藍芽耳機矽膠耳塞上貼紅色圓點貼紙的目的是為在使用 Tracker 自動追蹤功能時便於辨識耳機在不同時間點的相對位置。

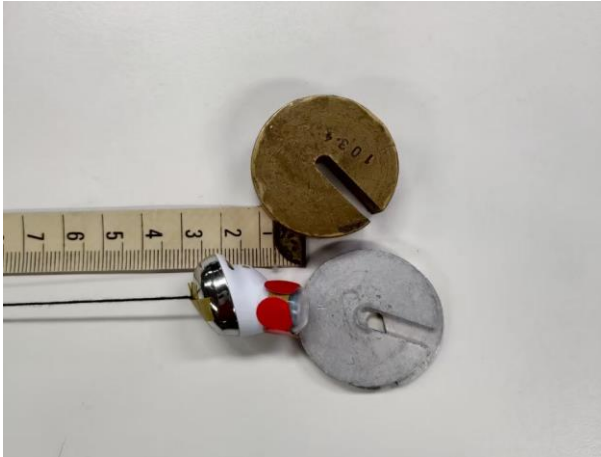


圖 2. 貼紅點



圖 3. Gopro 設定

再來，將測量好的擺長綁在實驗架上再將收音手機的麥克風垂直對準在擺錘靜止狀態下藍芽耳機的震膜，垂直間距為 1 公分。此時我們可以架設 Gopro 於單擺系統的前方如圖並將影片拍攝設定為 1080p 120Hz 用來進行 Tracker 分析。

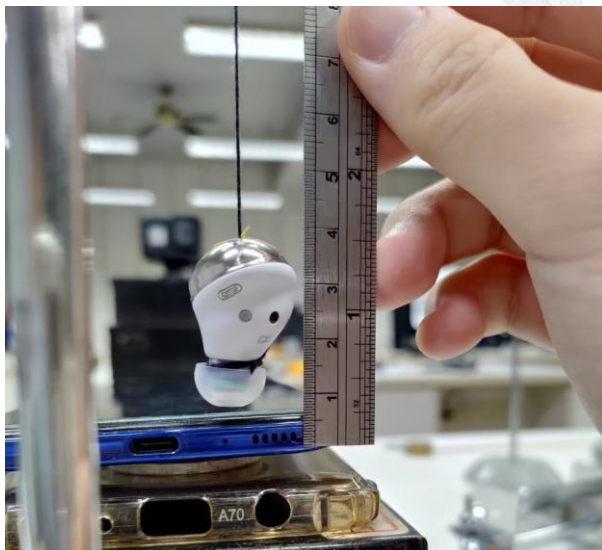


圖 5. 間距為 1 公分



圖 6. 實驗擺設側面圖

利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

2. Physics Toolbox Sensor Suite 的使用

在兩部手機下載並開啟上的 Physics Toolbox Suite APP，測量的手機開啟 Spectrum Analyzer 頻譜分析功能，播放的手機開啟 Tone Generator 頻率產生器並從藍芽耳機撥放 6000Hz 的 Sine 波。

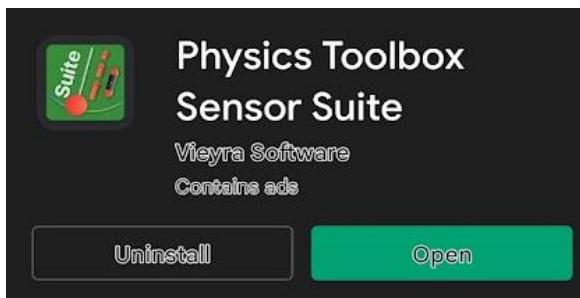


圖 7. 程式圖片

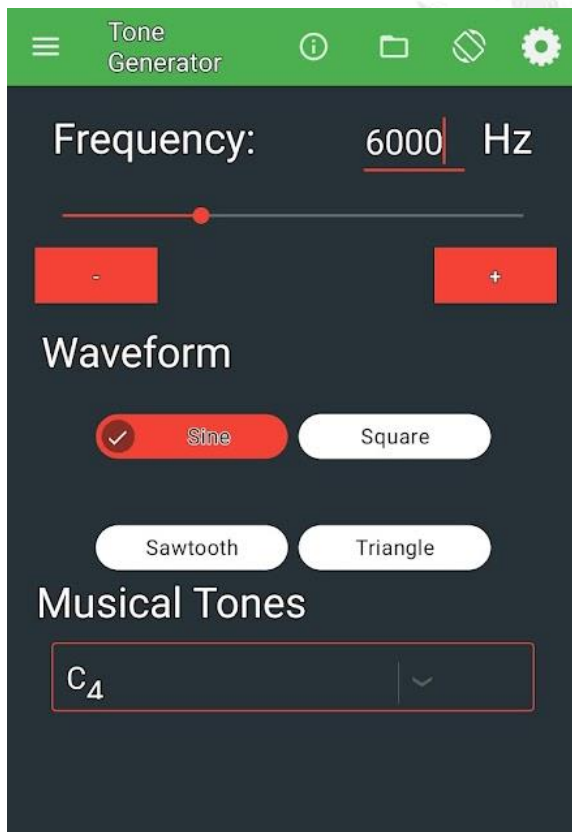


圖 8 音頻產生器

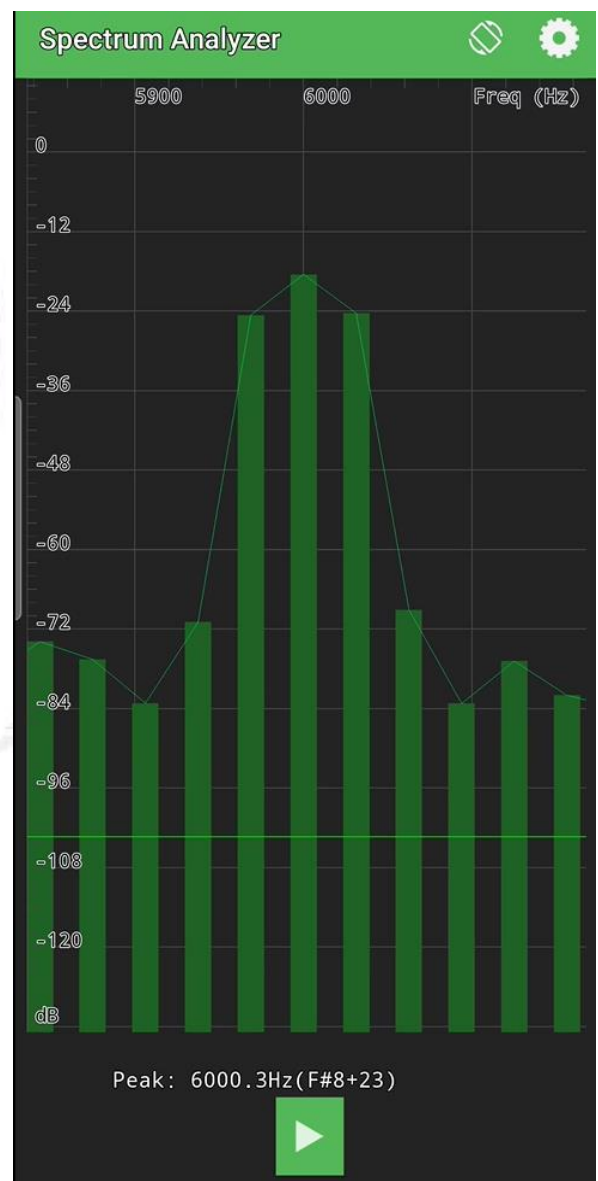


圖 9. 頻譜分析

利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

3. Gopro 的使用與架設

實驗開始時，先按下收音手機的螢幕錄影與 Gopro 的錄影鍵，接著我們將藍芽耳機升至擺長與實驗支架的夾角約莫 90 度的位置放下，一共紀錄 10 個單擺週期，目的為測量藍芽耳機做單擺運動時經過手機麥克風產生之都普勒效應的頻率變化。

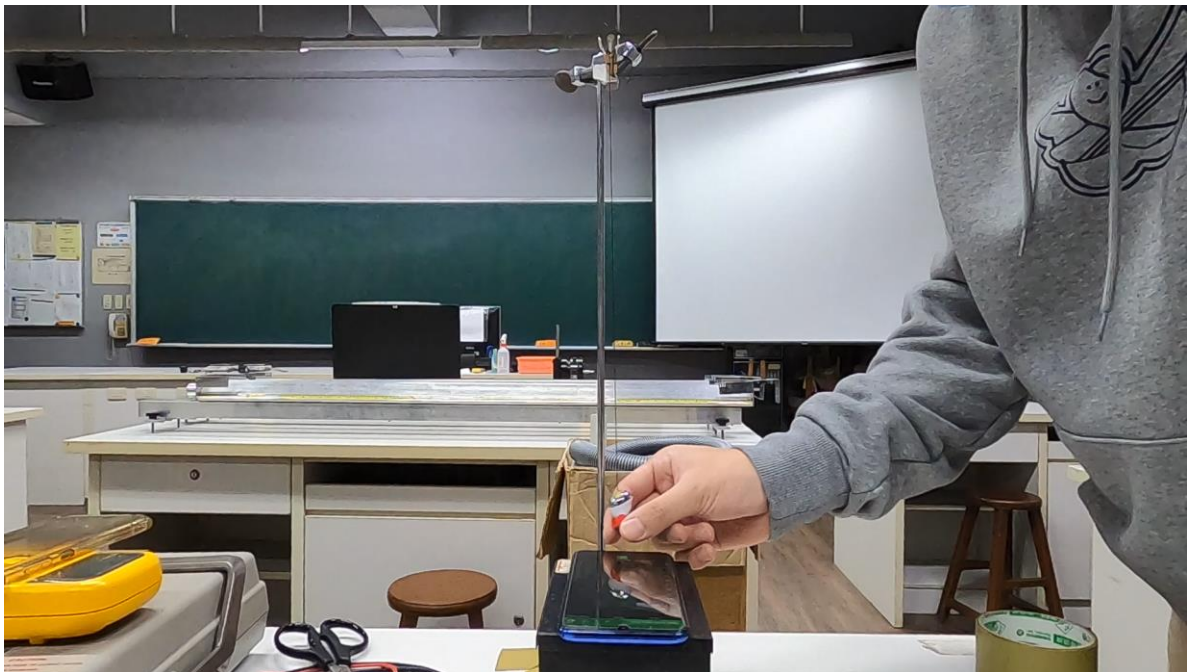
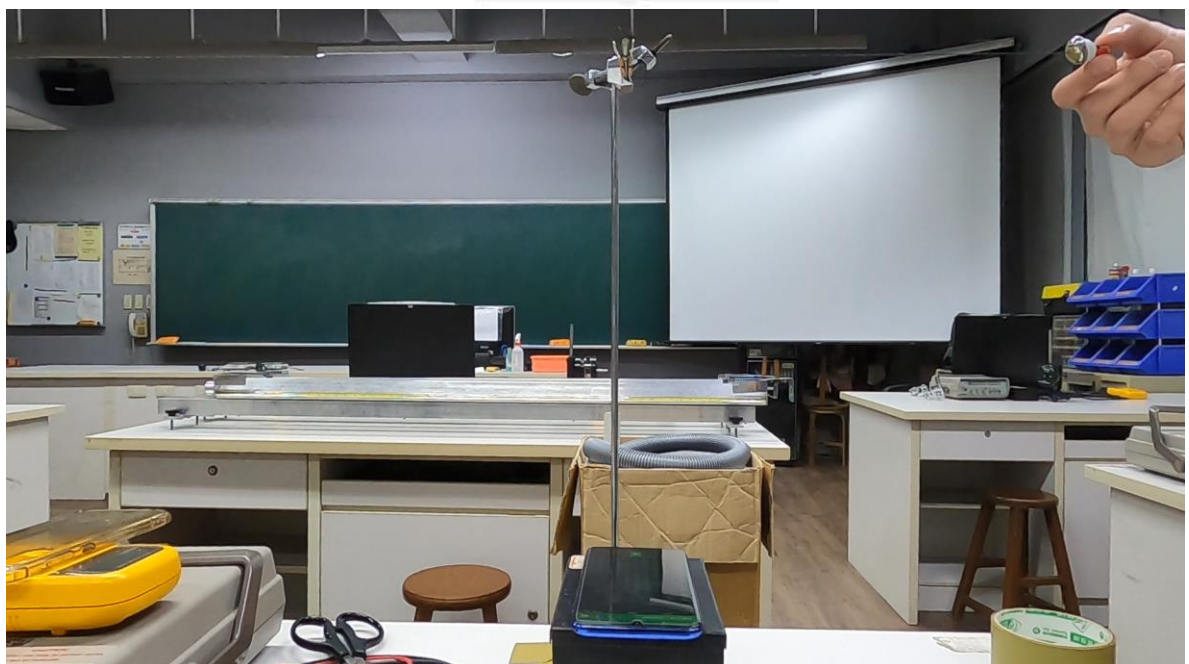


圖 10. 擺錘在原點時



利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

圖 11. 擺錘提升至與實驗架垂直時

4. Tracker 的使用



接著，我們將 Gopro 錄下的影片匯入 Tracker 進行分析。

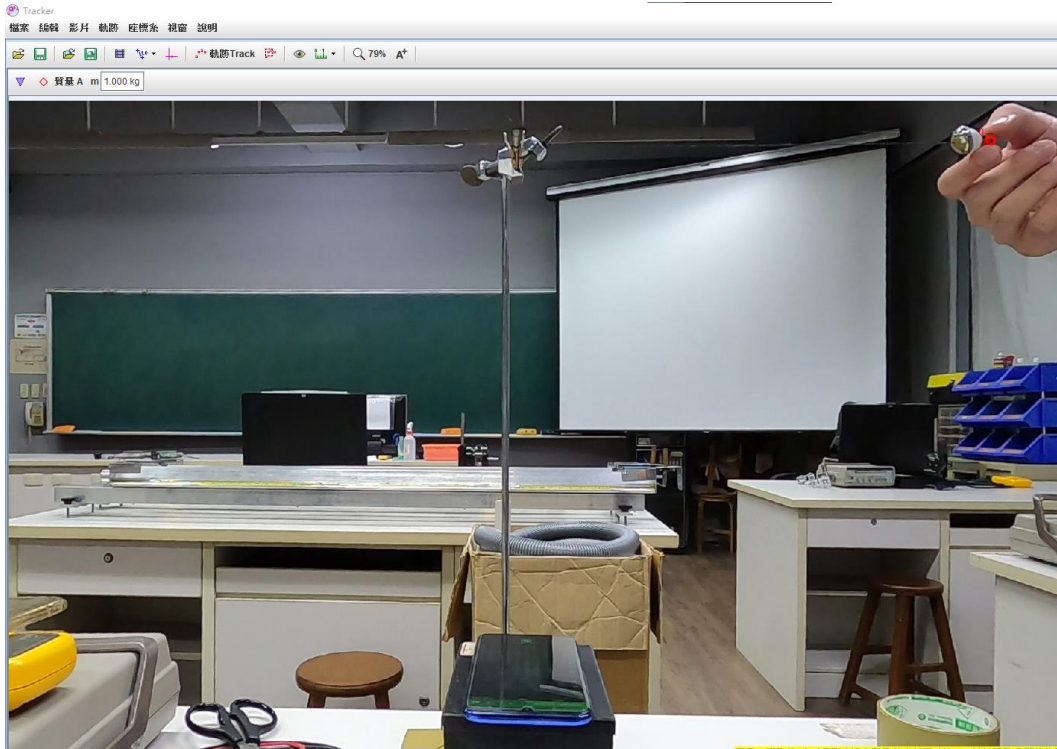
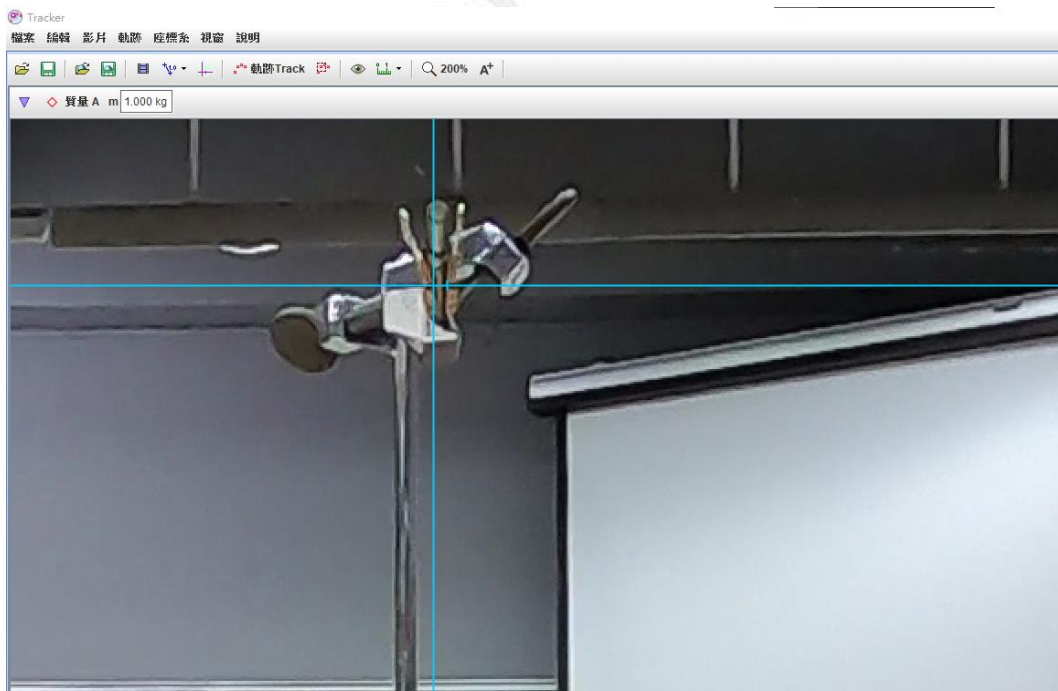


圖 12. mp4 匯入 Tracker

首先，我們先標記棉線與實驗支架的接觸點作為原點。



利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

圖 13. 標記原點

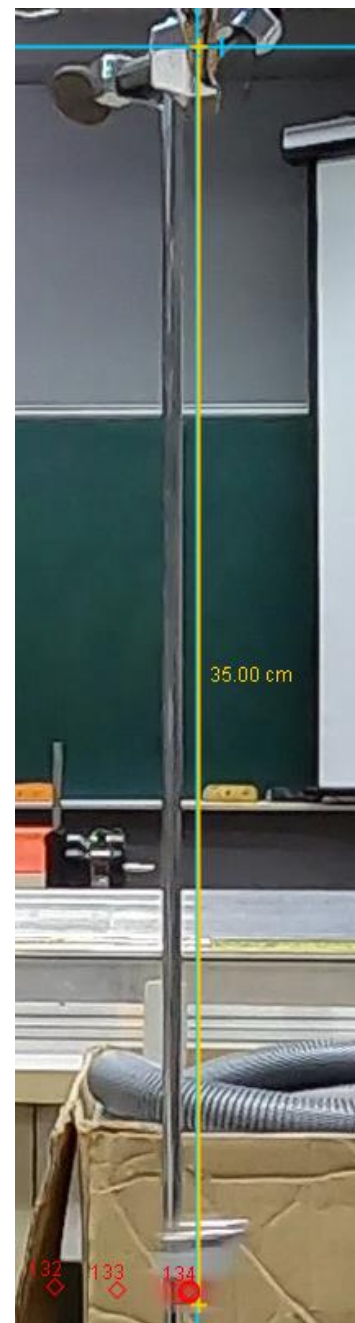
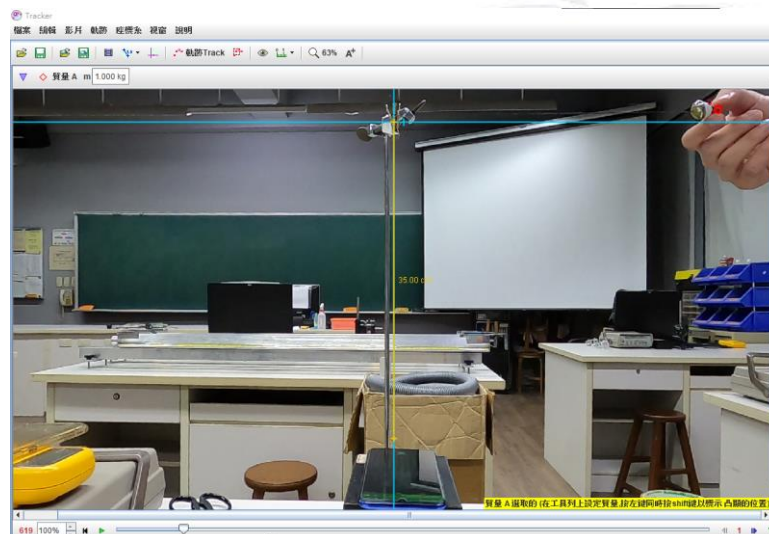
再來將擺長的長度標出並在欄位輸入擺長為 35cm 如圖(14)，並開啟自動追蹤功能 圖(15)，追蹤藍芽耳機上的紅點。在圖(16)質量 A 位置為藍芽耳機上隻紅點。追蹤耳機的起始點為擺常垂直於實驗架的右側



圖 14. 輸入擺長



圖 15. 啟動自動追蹤功能



利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

圖 16. 開始追蹤

圖 17. 標記擺長

當自動追蹤結束後，Tracker 將會顯示實驗數據如下 圖(18)

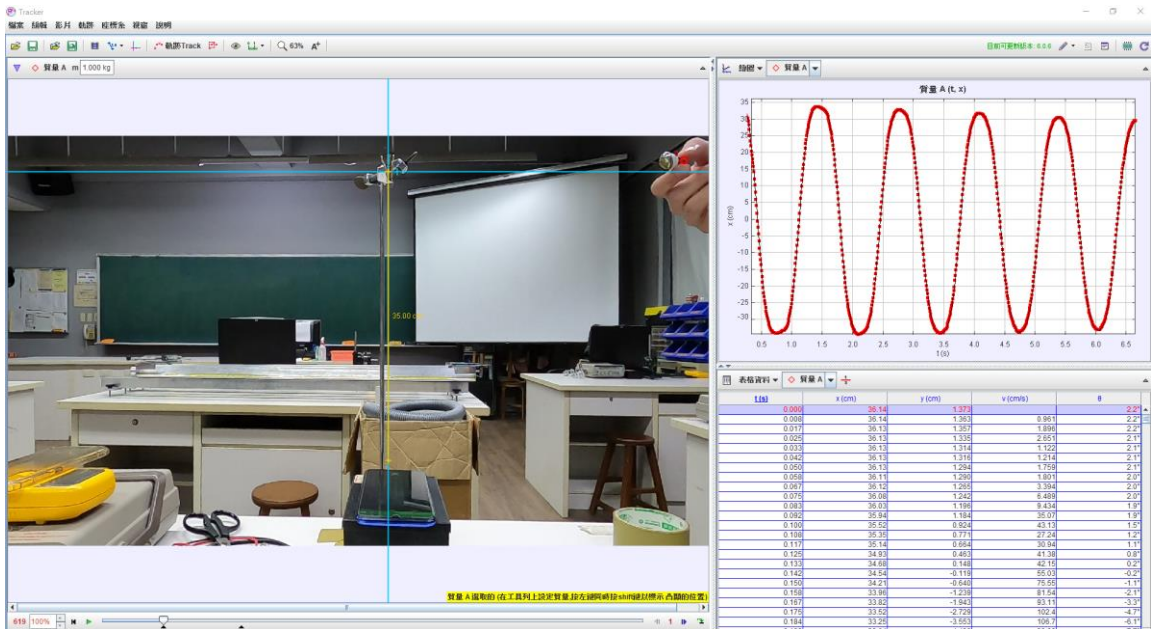


圖 18. 追蹤後實驗數據

在複製實驗數據至 Google sheet 整理之前，先將 Tracker 的顯示表格欄勾選 x y 及速度 v 和 x 軸與擺長的的夾角 theta 後再複製至 Google sheet。如圖(19)



利用聲頻偵測 APP、Tracker 與威力導演軟體探究單擺運動的都卜勒效應

圖 19. 勾選 x 軸 y 軸 v 速度 theta 角

5. 威力導演的使用

再來我們使用威力導演分析收音手機螢幕錄影首先我們將螢幕錄影的 mp4 檔案匯入威力導演，再裁減不必要的部分如片頭和片尾，目的為截取前五個週期的影片，擷取完之後五個週期的時間長度為 6 又 24 分之 30 秒。由於要記錄手機上每一個畫格的 Peak 值，但是手機上的 Peak 值變化過快，所以我們使用慢動作撥放將原本時間長度為 6 秒又 24 分之 30 秒 延長為 1 分 8 秒又 2 分之 30 秒以便於觀察每一個畫格的 Peak 值並記錄於 Google sheet。



圖 20. 調整視訊長度



圖 21. 觀察頻率在每一畫格的變化

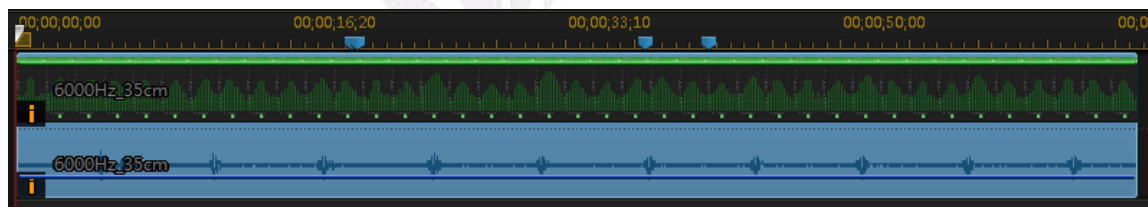


圖 22. 影片總長度

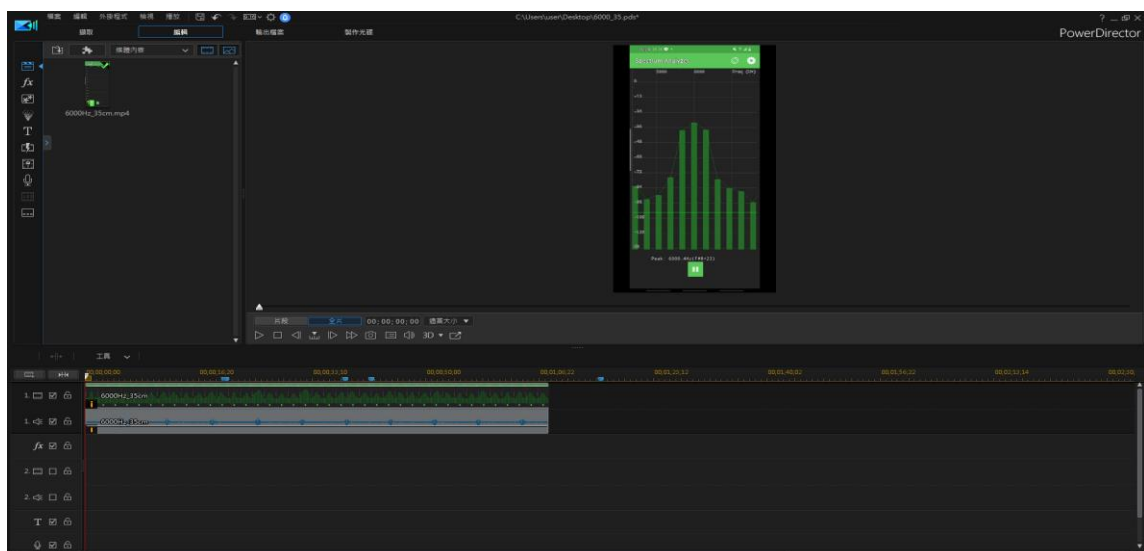


圖 23. 威力導演剪輯頁面

五、結果與討論

我們一共取五個單擺週期的實驗數據匯入 google sheets 做整理。在扣除極端值後，發現在 6000 赫茲正負 30 赫茲附近的實驗數據皆接近線性與非線性都卜勒效應且誤差不大，如圖(25)綠色長方形。但是當單擺盪到最低點時，實驗產生的都卜勒效應無法完全判定屬於非線性都卜勒效應還是線性都卜勒效應，如圖(25)的綠色圓圈。但確定的是此實驗符合都卜勒效應的現象，至於是否為非線性都卜勒效應還是線性都卜勒效應，或是有其他因素，還須再討論。

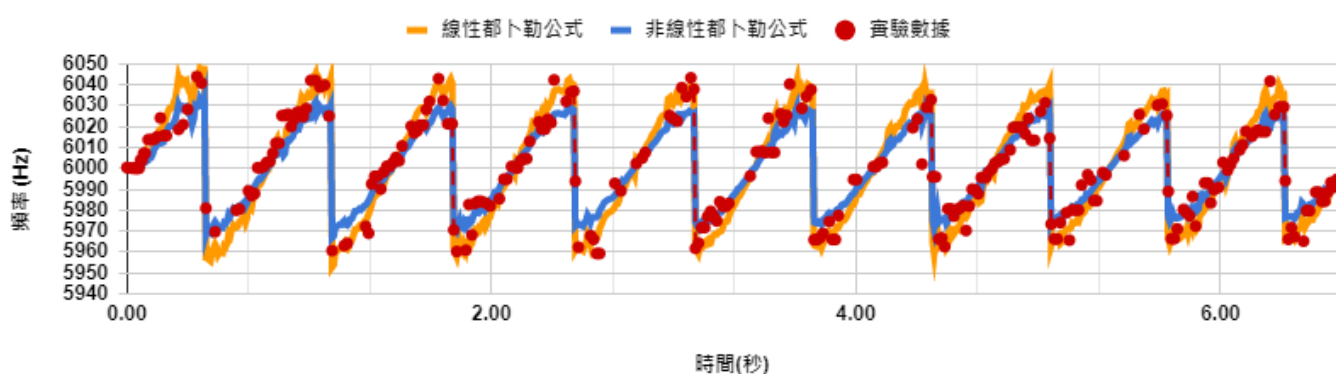


圖 24. 五個週期的總長

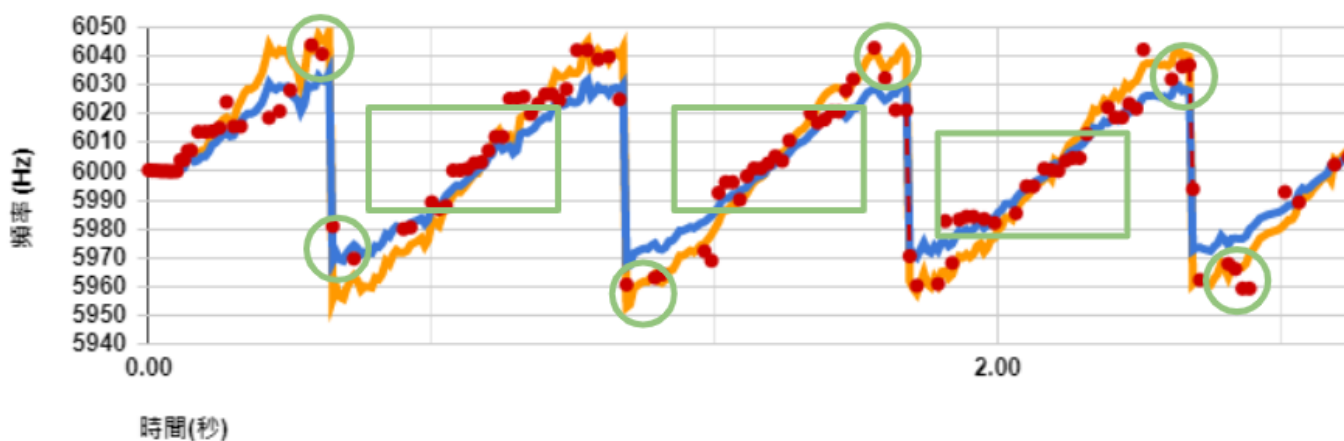


圖 25. 放大觀察實驗數據與非線性都卜勒效應和線性都卜勒效應的關係

六、參考文獻

"都卜勒效應." *Ezphysics.nchu.edu.tw*,

ezphysics.nchu.edu.tw/physiweb/device/exp10. Accessed 24 Mar. 2022.