

奇妙的擺一單擺的實驗

投稿類別:物理類

篇名:

奇妙的擺一單擺的實驗

作者:

陳柔安。國立中山大學附屬國光高級中學。高一己班

陳慧綸。國立中山大學附屬國光高級中學。高一己班

指導老師:

潘音利老師

奇妙的擺—單擺的實驗

壹●前言

一、研究動機：

學過國中物理的我們都認為單擺是很簡單的，也都很熟悉它的特性，像小角度時週期和擺角無關（等時性）也和質量無關及週期和擺長的平方根成正比等等。其實擺是一種儀器，可用來展現各種力學現象。基本的擺是懸掛於一定點，能在重力作用下往復擺動的物體。它常作為校準中這些機械裝置的運動要件。伽利略最先研究了單擺，惠更斯更進一步研究了複擺，他們為擺在物理中奠定了基礎理論。其實單擺有很多形式，像共振擺、傅科擺、混沌擺等等這些擺可以讓更了解共振和種種衍生出來的原理，這些對我們的日常生活影響甚大，小至耳中基底膜的共振大至星球軌道間的互動，都可以用小小的單擺推出，所以我們決定要好好的認識不簡單的擺。

二、研究目的：

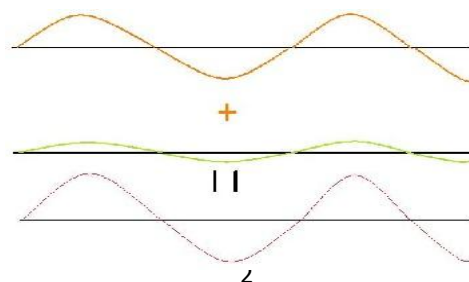
- (一) 研究念力許願擺擺動的原因
- (二) 研究傅科擺的原理
- (三) 討論耦合擺共振的原因和穩定模態
- (四) 探討混沌擺的構成和為何其難以預測運動軌跡
- (五) 研究蛇擺的原理
- (六) 模擬傅科擺和蛇擺的運動情形

貳●正文

一、念力許願擺擺動的原因：

念力許願擺是藉由人本身不自覺的輕微運動，如肌肉的微顫或呼吸等等，利用共振，造成擺的運動，不管多小的能量只要頻率相同且持續加入，則能量會被累積而形成更大的振幅，但直觀無法察覺之間的關聯，造成旁觀者或當事人的誤解。

圖一振福的疊加圖解：



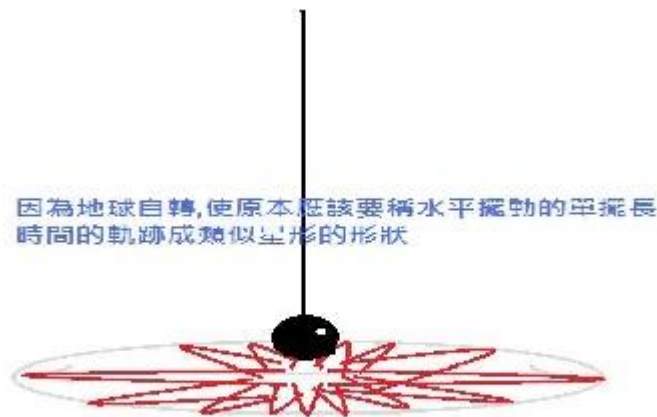
奇妙的擺—單擺的實驗

(圖一資料來源：中山大學物理系 物理週演示實驗，2013/03/21 取自 <http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/exp/exp1.htm>)

二、傅科擺的原理：

傅科擺是一種簡單單擺，將一很重的物體綁在一條細長的線上，讓它開始擺動，過一段時間會發現單擺擺動的方向變了，這是因為單擺是離開地面在擺動的，並不受地面的影響，脫離地球的坐標系，又擺動可以看作一種往復的直線運動，在地球上的擺動會受到地球自轉影響。只要擺面方向與地球自轉的角速度方向存在一定的夾角，擺面就會受到科氏力的影響，而產生一個與地球自轉方向相反的扭矩，從而使得擺面發生轉動。1851年法國物理學家傅科以實驗證明了這種現象，他用一根長67公尺的鋼絲繩和一枚27公斤的金屬球組成一個單擺，在擺垂下鑲嵌了個指針，將單擺懸掛在教堂頂，實驗證實了在北半球擺面會緩緩向右旋轉。由於傅科首先提出並完成了這一實驗，因而實驗被命名為傅科擺實驗。

圖二為傅科擺的原理圖：



(圖二資料來源：中山大學物理系 物理週演示實驗，2013/03/21 取自 <http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/exp/exp1.htm>)

三、藕合擺共振的原因與穩定模態：

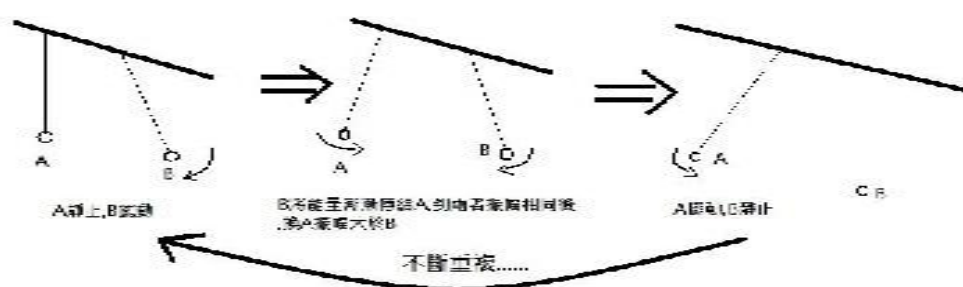
(一) 藕合擺共振的原因：

綁在同一棍子上的兩個單擺，如果先讓一個擺動另一個靜止，我們會發現原

奇妙的擺—單擺的實驗

先在擺動的球它的擺動角度會逐漸變小，而原先靜止的球擺動角度逐漸變大；直到某一的瞬間，原先擺動的球會停止，而原先靜止的球的擺盪會到最大；接著又開始重複上面的步驟，這種輪流擺動的現象就叫做耦合。耦合共振的原因，必須有相同的擺動頻率，就是相同擺長，並藉著能量的傳遞產生共振而發生耦合現象。當連接繩的張力改變時，亦會發生改變，連接繩的張力愈大時，消耗在上面的能量就愈小，藕合效果愈明顯。

圖三為耦合圖解：

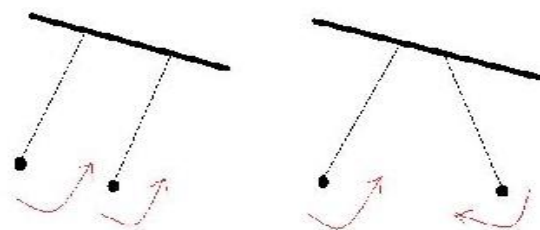


(圖三資料來源：中山大學物理系 物理週演示實驗，2013/03/21 取自 <http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/exp/exp1.htm>)

(二) 穩定模態 normal mode：

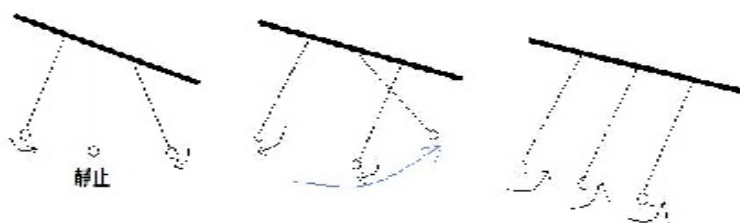
兩顆球的系統有兩種情形，第一種是 A、B 球同向且相同擺角振盪；第二種是 A、B 球反向且相同擺角振盪。這兩個擺會穩定地進行能量交換，產生耦合的現象，不斷持續運動而不會產生與原本運動型態不符的運動方式，此時會說這種擺動模式為「Normal Mode」，可簡單想成穩定態，中文翻譯成「模態」。

圖四為穩定模態的分解圖：



奇妙的擺—單擺的實驗

圖五為圖四之接續圖：



(圖四和圖五資料來源：中山大學物理系 物理週演示實驗，2013/03/21 取自 <http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/exp/exp1.htm>)

模態就好像是在作向量分析時的基本向量 (i, j, k) 一樣，各種複雜的振動模式皆可以用數個 Normal mode 作線性疊加而知道其運動的模式。以兩個鉛錘作耦合為例，讓 AB 兩個鉛錘分別擺動或是停止，皆是線性疊加所作出來的結果，如初始條件為 A 動 B 止，或是 A 止 B 動，其運動型態恰好是兩個 Normal mode 作 1 : 1 的疊加而成的結果。在耦合擺系統中 n 個擺錘有 n 種穩定模態。日常生活中，氣體分子的振盪即是一種耦合擺。

四、混沌擺的構成和為何其難以預測運動軌跡：

雖然遵守物理定律,但其運動狀態由啟動時的初始條件(主、副擺的初始位置與速度)所決定，單擺的運動很容易預測，由於這個大擺有三個小擺與之相連，它的運動就更為複雜。其中每個擺都會影響其它擺的運動，因而使整個運動混沌無序，無法預測闡述了混沌的建模；利用旋轉移動傳感器對物理擺的相空間軌跡進行了實時測量，記錄了混沌產生過程中相空間的角位移和角速度的變化，證實了混沌對初始條件的敏感性，以及混沌中 3 週期點的存在由於這系統中擺與擺之間有所連結，運動會互相影響，是一種複擺系統，所以整體的運動更為複雜，無法預測。混沌現象的特徵為系統初始條件的微小差異造成結果截然不同的現象。當我們將擺片拉起時，儘管高度看起來有多麼的相同，雙手拉起的高多還是有些微的差異，因此如果擺動時間夠長，仍可觀測出其差異。

圖六為混沌擺的圖：

奇妙的擺—單擺的實驗

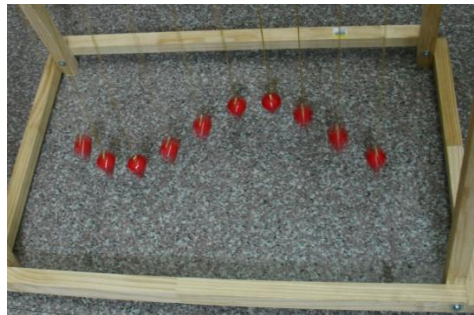


(圖六資料來源：國立自然科學博物館--活科學--探索「圓機」--混沌擺，2013/03/22 取自 http://www.nmns.edu.tw/public/exhibit/2008/97-5-science_alive/round/round-2.htm)

五、蛇擺的原理：

蛇形單擺的擺長是規律性變小，因此所有單擺的週期也規律性變小。從擺動的角度大小而言，擺動角度也是規律性變小。因此開始擺動後，最初由於角度差異不大，而且是規律性的差異，因此看起來就像是波動狀的蛇形擺動。擺動多次之後，差異性逐漸增加，看起來似乎是雜亂的。當繼續擺動之後，直到奇數、偶數單擺的角度分別達到整數倍、半數倍的時候，就可以觀察到分成兩邊的情形。

圖七為蛇行擺盪：



(圖七資料來源：蛇行單擺，2013/03/23 取自 http://scigame.ntcu.edu.tw/Site1/Game_power10.html)

單擺組呈現像是波浪，像是扭動的蛇，接著似乎變成混亂的擺動，沒多久，像是分二邊擺動，奇數與偶數的單擺各佔一邊，最後則又會變回像是扭動的蛇。

奇妙的擺—單擺的實驗

圖八為奇數球與偶數球各半邊：



(圖七資料來源：蛇行單擺，2013/03/23 取自
http://scigame.ntcu.edu.tw/Site1/Game_power10.html)

六、模擬傅科擺和蛇擺的運動情形：

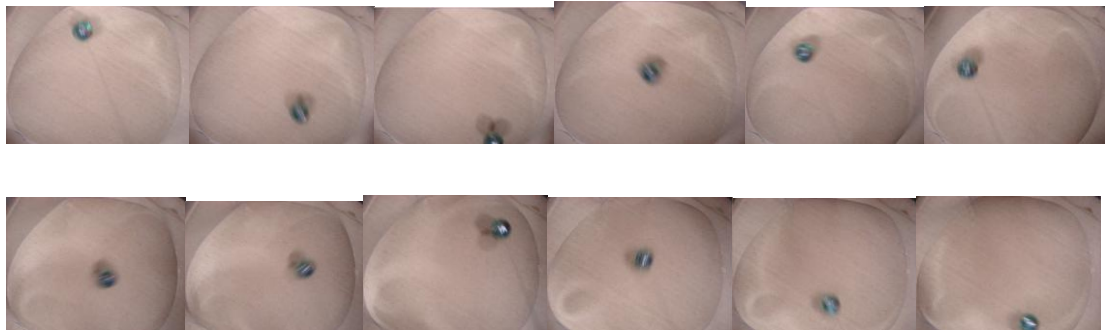
(一) 傅科擺模擬：

1、實驗過程：

將單擺置於一個轉動圓盤上，擺線頂點接在轉段軸上，整個系統先處於靜止狀態，再使擺錘在約 30 度的擺角下開始擺動，觀察單擺是否坐直線往返週期擺動。如果單擺正常擺動，接著轉盤以等速、低速轉動，再次觀察單擺是否仍做直線往返的週期擺動。

2、圖片說明：

圖八至圖十九為傅科擺實驗的擺動分解情形：



3、原理研究：

奇妙的擺—單擺的實驗

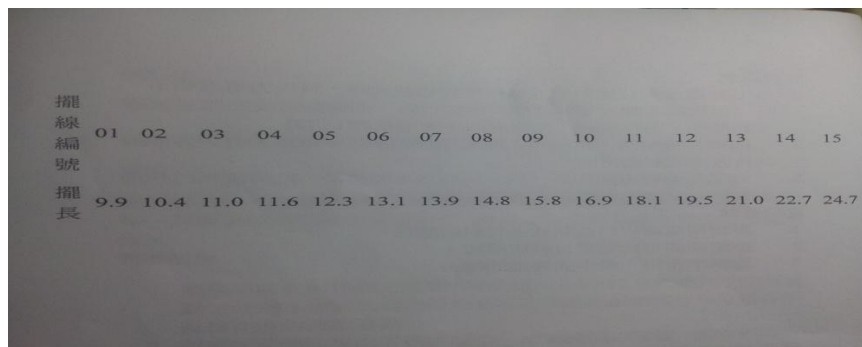
物理運動學中，描述一個運動前首先要確定參考系，故對於同一運動的描述，選取不同的參考系，就會有不同的形式。分析此實驗的運動描述形式，一般我們觀察單擺是在地面上觀察，及選取地球做為參考座標，以直角坐標表示，此時擺錘擺動的平面就在 $y-z$ 平面上。然而，在轉動的圓盤上觀察時就不是前述的座標系了，而是轉動作飆戲當你由上往下看時，就是以轉動座標系的視角來觀察單擺的運動，這也就是此時你觀察到擺錘是以圓弧狀運動，而非直線運動。

(二) 蛇擺的模擬

1、實驗過程：

蛇擺(Pendulum Wave)是很有名的物理簡諧運動的實驗。我們將 15 條不同擺長的單擺固定於支架上，推動單擺使期開始擺動，觀察過程中的變化。此實驗的製作上，最關鍵的部分在擺長的微調機制。我們的做法將擺線固定在螺絲上，藉由螺絲的轉動來調整擺長。調整至需要的高度後，再以螺帽固定螺絲位置，如此也就固定了擺長。

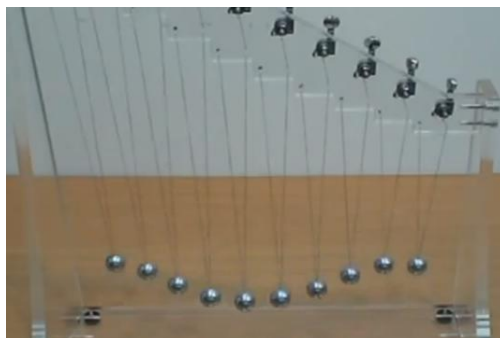
圖二十為擺長數據：



擺線編號	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
擺長	9.9	10.4	11.0	11.6	12.3	13.1	13.9	14.8	15.8	16.9	18.1	19.5	21.0	22.7	24.7

2、圖片說明：

(1) 如下圖二十一，開始擺動後，出現行進波的形狀。



奇妙的擺—單擺的實驗

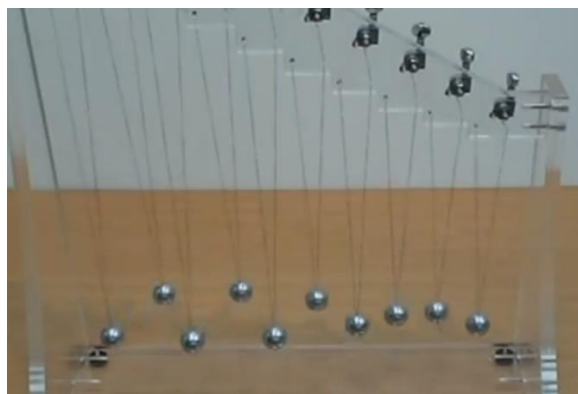
(2) 如下圖二十二，呈現蛇行擺盪。



(3) 如下圖二十三，漸漸進入紊亂狀態，看不出波形。

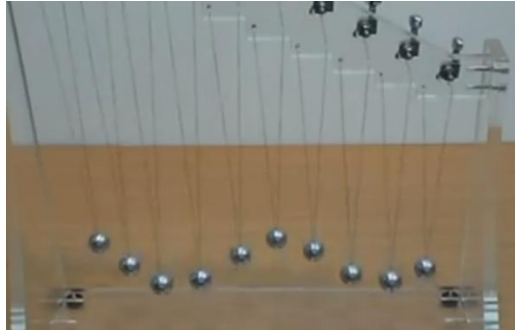


(4) 如下圖二十四，接著進入編號單數球與雙數球分開兩邊的過程。

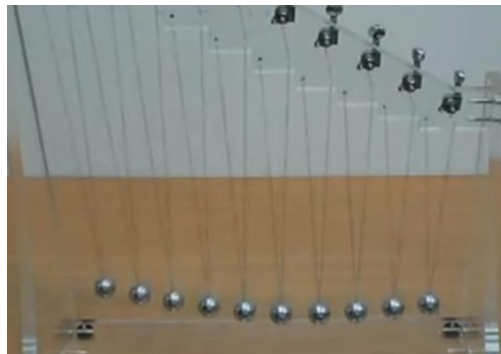


奇妙的擺—單擺的實驗

(5) 如下圖二十五，接下來彷彿又重複前半週期的狀態，單仔細看時會發現行進波的方向改變了，與前半週期的行進方向相反。



(6) 如下圖二十六，最後回到初始的一直線狀態。



參●結論

在經歷了眾多的擺之實驗及資料後，深深覺得擺—是個奇妙的東西，原本只是單純認為擺只是個會搖晃並且有規則的運動的物體，沒想到其實是有繁多變化且深奧的。在實驗中我們也了解了許多擺的知識，不只是單單的從書中或網路裡獲得而是實際去執行，更能了解擺的神奇！

我們從實驗發現了不同的擺所展現的規律，並且知道了是什麼原因會產生如此結果，了解了形成此結果的理論，無論是對蛇擺、耦合擺或是傅科擺等……的實驗或是觀察都讓我們感到新鮮不已，然而對擺的好奇心並沒有因為如此就減卻了，反而更膨脹了起來，對於能呈現不同的理論的擺、神奇的擺，我們深深的好奇並想—探究竟它能變化到什麼程度呢？

奇妙的擺—單擺的實驗

原來我們認為的念力擺只是因為人的不自覺運動而動，並不是真的具有超能力，還有耦合擺是那麼的神奇，渾沌擺是這麼的不具規律性，傅科擺又是如此的難以捉摸，藉由資料的收集，讓我們的知識從零到一百，透過實驗的進行，讓我們了解科學的探究所面臨的困境，測量的精確度是多麼的難拿捏，用相機捕捉那短暫的瞬間是這麼困難，一次次的磨練都讓我們有更進一步的成長，對科學深奧的世界感到加倍的敬佩，深深的體悟到單擺真是個簡單卻又複雜的玩意兒呢。

肆●引註資料

中山大學物理系 物理週演示實驗，2013/03/21 取自
<http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/exp/exp1.htm>

國立自然科學博物館--活科學--探索「圓機」--混沌擺，2013/03/22 取自
http://www.nmns.edu.tw/public/exhibit/2008/97-5-science_alive/round/round-2.htm

蛇行單擺，2013/03/23 取自 http://scigame.ntcu.edu.tw/Site1/Game_power10.html

傅科擺，安伯托·艾可（2006）。傅科擺。臺北市。皇冠出版社