

## 前言

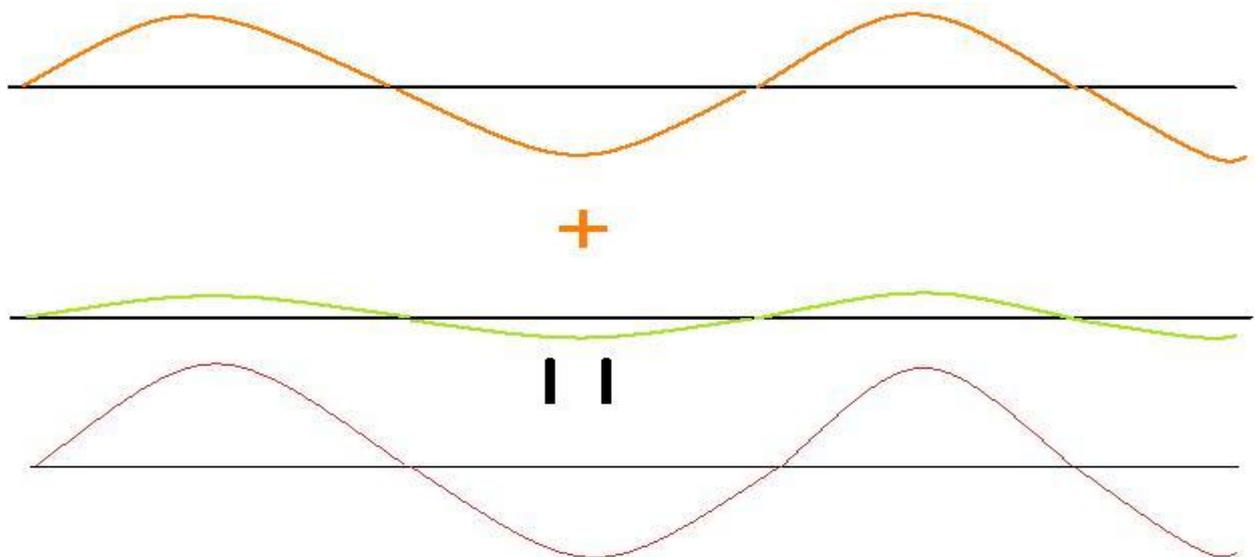
擺是甚麼呢?其實只要在繩子一端綁上一個小重物,然後用手輕輕的搖動另一端,這樣一個簡單的東西就可以稱做一個擺了。擺是一種儀器,可用來展現各種力學現象。基本的擺是懸掛於定點能在重力作用下往復擺動的物體。它常作為校準鐘這些機械裝置的運動要件。伽利略最先研究了單擺,惠更斯更進一步的研究了複擺,他們為擺奠定了基礎理論。

擺可以讓我們更了解共振和總總衍生出的原理,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,都可以由小小的單擺中推出.讓我們從擺垂中探討宇宙中的奧妙吧!

### 一、念力許願擺

此實驗藉由人本身不自覺的輕微運動,如肌肉的微顫等等.藉由共振,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.但直觀感覺像是念力產生擺動,造成旁觀者或當事人的錯覺

### 振福的疊加



實驗:



## 二、耦合擺

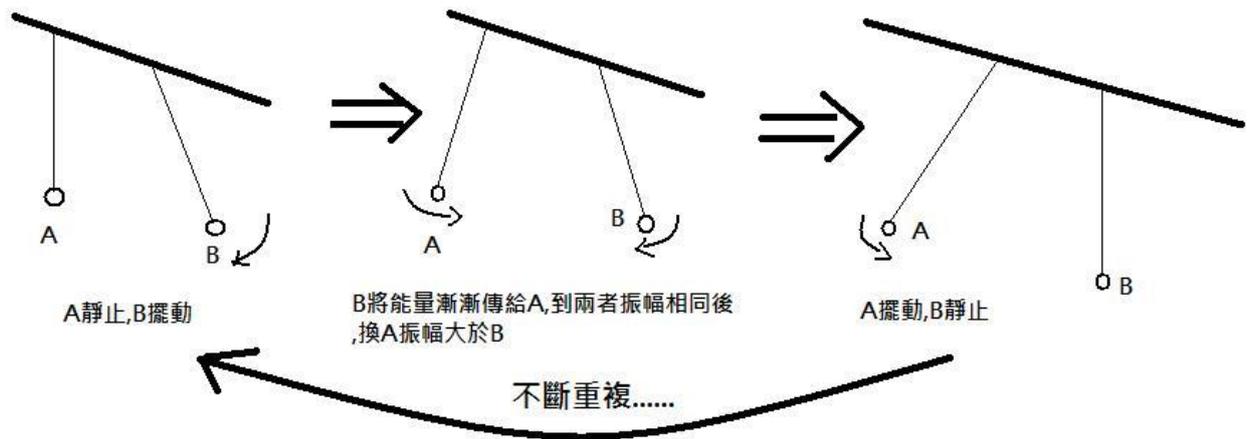
此現象為單擺間的共振而產生的耦合現象，因擺長相同的單擺其週相同，並藉能量的傳遞而產生耦合的現象。

耦合擺的運動中，能量可以自一擺傳遞到另一擺，彼此交換能量。耦合擺的運動可以視為由兩種簡正模式疊加的結果。一是對稱模式，是兩擺振幅相等，方向相同的運動模式。另一是反對稱模式，是兩擺振幅相等，方向相反的運動模式。將前述耦合擺的運動相加減，可以得到對稱模式運動，兩擺振幅相等，方向相同。

### 原理

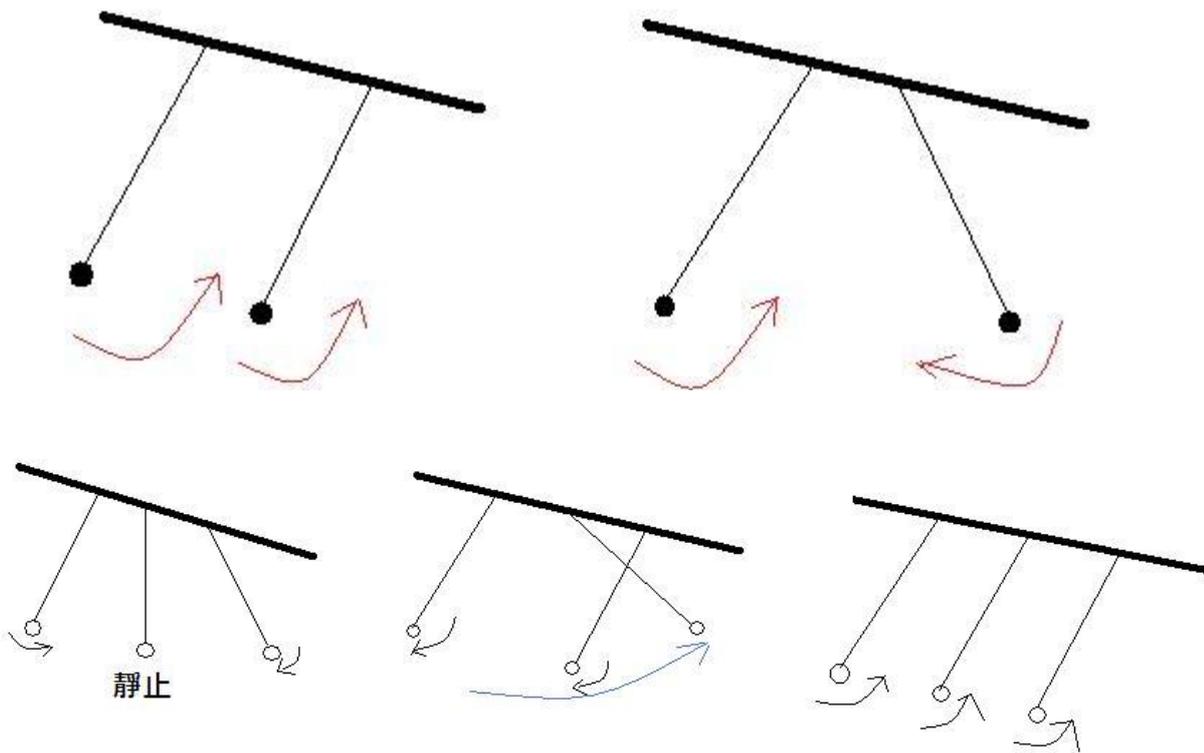
#### (1) 耦合

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，我們會發現原先在擺動的球它的擺動角度會逐漸變小，而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。耦合現象，必須有相同的擺動頻率，就是相同擺長，產生共振而發生耦合現象。



## (2) 能量交換情形

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。這種擺動一開始是以特殊的關係以及角度做為初始條件，則會看到兩個擺球不同的角度改變的現象，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」。



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。

日常生活中，氣體分子的振盪即是一種耦合擺。

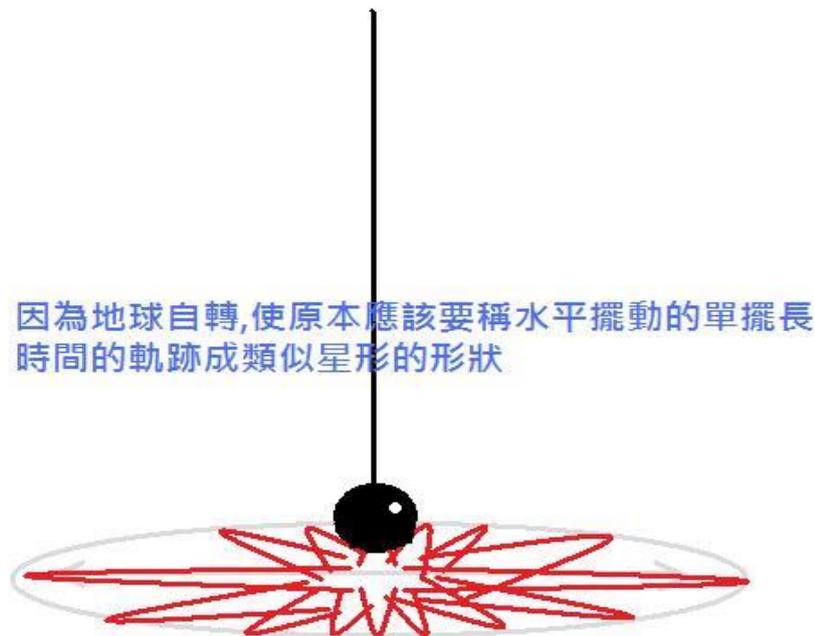
### 三、佛科擺

佛科擺是一種簡單單擺，將很重的物體綁在一條很細長的線上，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，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，

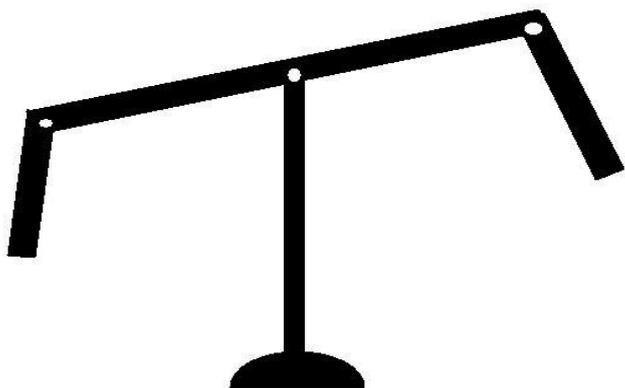
而產生一個與地球自轉方向相反的扭矩，從而使得擺面發生轉動。1851 年法國物理學家傅科以實驗證明了這種現象，他用一根長 67 公尺的鋼絲繩和一枚 27 公斤的金屬球組成一個單擺，在擺垂下鑲嵌了個指針，將單擺懸掛在教堂頂，實驗證實了在北半球擺面會緩緩向右旋轉。由於傅科首先提出並完成了這一實驗，因而實驗被命名為傅科擺實驗。

#### 四. 混沌擺

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，由於這系統中擺與擺之間有所連結，運動會



互相影響，是一種耦合系統，所以整體的運動更為複雜、無法預測。



混沌擺對於初始條件十分敏感，相差一點，會產生極為不同的運動方式，雖然運動是渾沌失序的，但仍嚴格遵守物理定律。