

106學年度上學期=清華大學

普通物理實驗結報

演示實驗(二)=轉動力學篇

系級=材料二級

學號=106031209

姓名=彭慧文

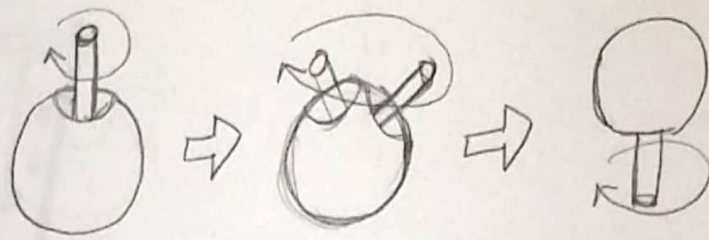
組別= 4

組員=林暄慈

$$A + 8 + 9 = 97$$

en

轉陀螺

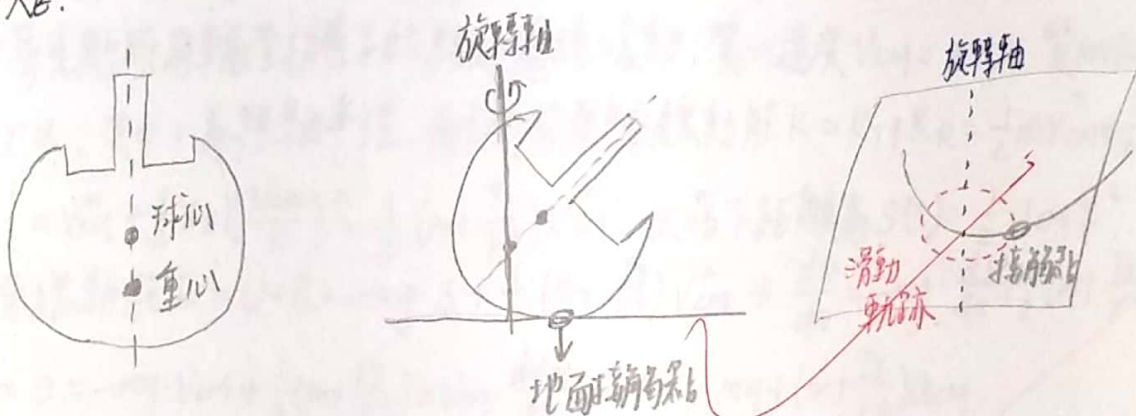


現象

旋轉陀螺後，陀螺傾斜角度會逐漸改變，最後變成倒轉。

原理

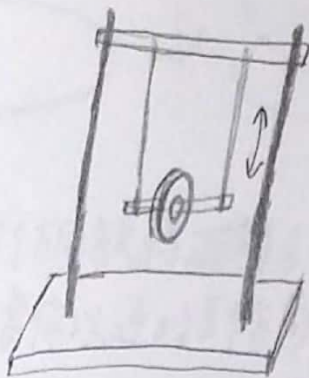
- (一) 陀螺的結構必須是重心與球心位置不同，一個質量分布均勻的球體旋轉時，球心和重心位置相同，但是倒轉陀螺的球體缺少了上半部的一部份，因此重心比球心略低一些。
- (二) 倒轉陀螺旋轉時，由於球面與地面的接觸點不是位於旋轉軸上，而會使接觸點產生滑動力。
- (三) 由於接觸點進行滑動力，因而產生摩擦力，此摩擦力產生了使陀螺倒轉所需要的力矩。



三、應用

倒轉陀螺的主要原理為重心，重心的應用包括雙錐體運動、平衡鳥、不倒翁。

馬克斯威爾車輪 (Maxwell Wheel)



一、現象

將車輪子卷上繩子後，自然放下，車輪子將上下上下持續運動。

二、原理

馬克斯威爾車輪主要原理為能量守恆。
重力和繩子張力(T)形成力矩，使重力位能轉變成 $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$ 。最低點轉向時，繩張力提供反轉向上爬升的向心力， $F_n = \frac{mv^2}{r}$ 使車輪向上爬，使 $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$ 轉成重力位能。

質量 m ，轉動慣量 I_z 的馬克斯威爾車輪在時間 $t=0$ 時，從靜止狀態落下，在落下過程中所具有的總能量 $E = U + K$ 。 U 是位能， K 是動能。動能可以再細分為質心移動動能 K_T 及繞質心之轉動動能 K_R 兩類。 $K = K_T + K_R$

落下過程中質心速度為 V_{cm} ，加速度為 a_{cm} ，轉動角速度為 ω ，角加速度為 α 。因為落下過程中馬克斯威爾車輪對繩子的轉動為純滾動，質心速度 $V_{cm} = r\omega$ ，質心加速度 $a_{cm} = r\alpha$ ，其中 r 為轉車輪半徑。馬克斯威爾車輪總動能 $K = K_T + K_R = \frac{1}{2}mV_{cm}^2 + \frac{1}{2}I_z\omega^2$

$\Rightarrow K = \frac{1}{2}mV_{cm}^2 + \frac{1}{2}I_z(\frac{V_{cm}}{r})^2 = \frac{1}{2}(m + \frac{I_z}{r^2})V_{cm}^2$ ，又落下距離為 $s(t) = \frac{1}{2}a_{cm}t^2$ ，馬克斯威爾車輪總動能 $E = U + K = -mg \cdot s + \frac{1}{2}(m + \frac{I_z}{r^2})V_{cm}^2 \Rightarrow \frac{dE}{dt} = -mg \cdot \frac{ds}{dt} + \frac{1}{2}(m + \frac{I_z}{r^2}) \frac{dV_{cm}^2}{dt}$

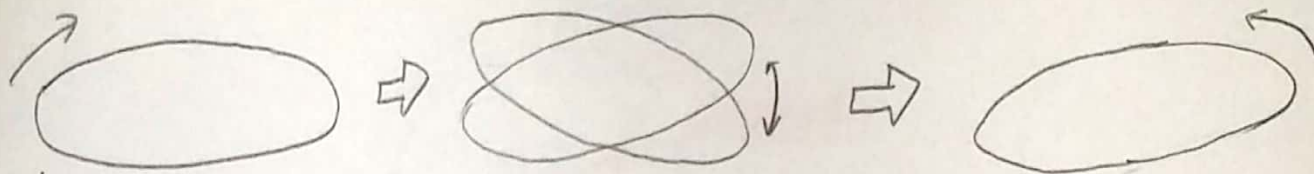
$\Rightarrow \frac{dE}{dt} = 0 = -mg \cdot V_{cm} + \frac{1}{2}(m + \frac{I_z}{r^2})2V_{cm} \cdot \frac{dV_{cm}}{dt} \Rightarrow 0 = -mg + (m + \frac{I_z}{r^2})a_{cm}$

$s(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot g}{m + \frac{I_z}{r^2}} \cdot t^2$ $v(t) = \frac{ds}{dt} = \frac{mg}{m + \frac{I_z}{r^2}} \cdot t$

三、應用

能量守恆的應用包括水力發電，而加上轉動的能量守恆為溜球。

迴轉石



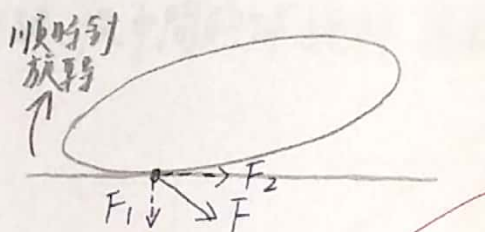
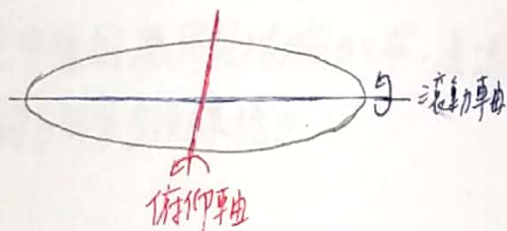
一、現象

當你以順時針方向旋轉迴轉石時，它會旋轉一下之後停下來（產生振動），然後開始逆時針旋轉；當你以逆時針方向旋轉迴轉石時，則一直保持逆時針旋轉。

二、原理

迴轉石在旋轉的過程為：順時針旋轉 → 上下振動 → 停止旋轉 → 逆時針旋轉。
從能量的角度而言，旋轉的動能先轉換為振動的動能，振動的動能再轉換為反轉的旋轉動能。而迴轉石會由旋轉變成振動，主要原因為結構並非完全對稱，質量的分佈不完全均勻，中心點不是重心的位置，因此不會穩定的旋轉。

一開始旋轉後，迴轉石處於不穩定狀態，滾動運動與俯仰運動的不穩定性連結，造成俯仰軸的上下振動現象，因此轉換能量被轉換為振動能量，旋轉因而慢下來，沿俯仰軸的上下振動發生時，地面的摩擦力成為反轉的主要因素，摩擦力 F 可分解為平行和垂直分力，平行分力 F_2 減緩振動的幅度，而垂直分力 F_1 則是讓迴轉石形成逆轉現象。



動量守恆



一、現象

手持握把，快速轉動腳踏車輪，當想要改變轉軸方向時，會感受到極大的阻力。

二、原理

主要原理為角動量守恆，若要改變轉軸的方向，就必須施予一個外力矩

角動量守恆之算式： $\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v})$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = m(\vec{r} \times \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{v}) = m(\vec{r} \times \vec{a} + \vec{v} \times \vec{v})$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = m(\vec{r} \times \vec{a}) = \vec{r} \times m\vec{a} = \vec{r} \times \sum \vec{F} = \sum \vec{\tau}$$

當 $\sum \vec{\tau}$ 為0時，角動量為一常數，故若無外力矩，則角動量守恆。

三、應用

角動量守恆的應用包括腕力球，透過抽動線，使中間的球旋轉，再透過改變旋轉軸的方向來鍛鍊握力。

心得

這次演示實驗的儀器都會“轉動”，雖然看久了頭會暈，但其實很有趣。轉動慣量是我很不熟悉的單元，這次透過這些儀器又加深了一點印象。迴轉石、大環轉小環、混沌儀、龍捲風都是以前就玩過的東西，可是以前就只是開心地玩，沒有深入了解他們背後的原理... 雖然一次聽完十幾個儀器講解，聽到最後有點茫然，但這堂演示實驗課還是有很多收穫的！