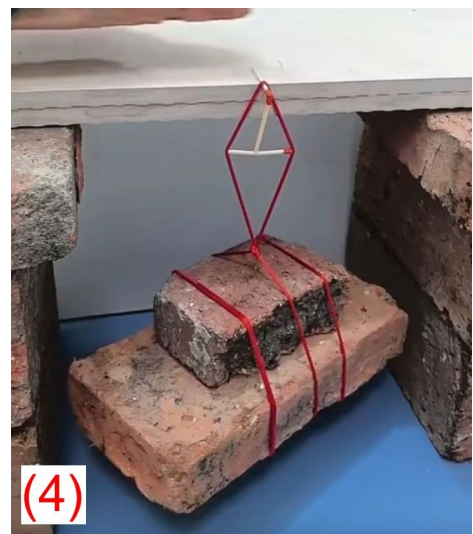


解釋這個「四兩撥千斤」平衡實驗



以上示範見於多個網上影片分享平台，大同小異。詳細做法可參看

<https://www.youtube.com/watch?v=CO5YUrbFTig>

<https://www.youtube.com/watch?v=vfTxIHblxww>

有評論說此實驗違反物理，不可信；也有說此乃真實的「四兩撥千斤」；更有人堅稱已成功複製實驗，…眾說紛紜。

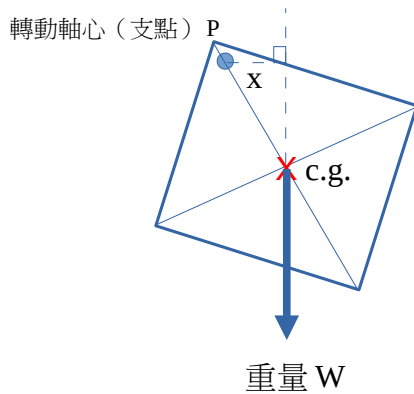
此實際是一個簡單的力學平衡示範，是真的。我們先用重心這概念作解釋，最後才以力矩 (torque, moment) 的概念補充。

(I) 我們拿起任何一件形狀固定的物體。若物體有孔、伸出或凹入部分可作為支點，我們利用此支點把物件支撐承起。經過小幅振動後，物件都會停下來掛在半空，大家對此不會驚訝。

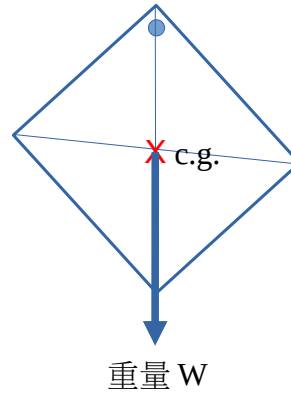


物體停止擺動之後，它的重心 (c.g.) 必在支點的垂直正下方某處。

這點不難明白，若物體的重心不在支點的正下方（或正上方），物體重量會產生一個非零轉矩，令擺動未能停止。



相對 P，轉矩 = Wx



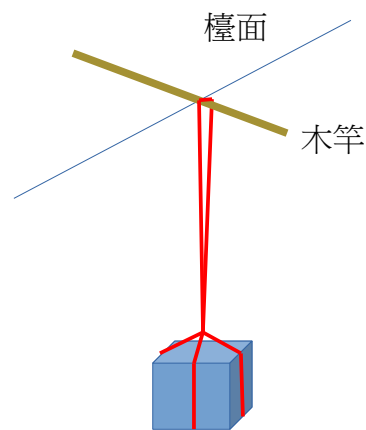
轉矩 = 0



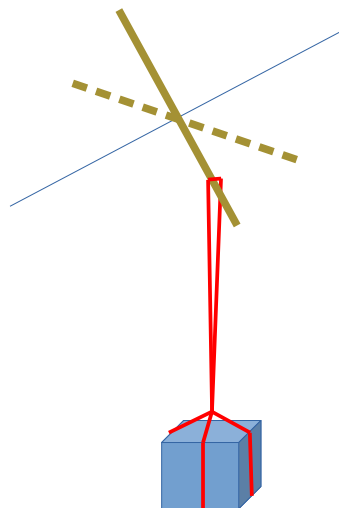
這特性可讓我們容易用實驗方法找出物體的重心。請參看

<https://www.youtube.com/watch?v=vr8Y3tOT2c>

(II) 為甚麼重物不能如下圖所示般掛在半空？



重物把木竿拉下，木竿是以檯的邊緣為軸心翻轉。重點是當木竿翻轉時，**重物的重心沒法子可以調整去到支點的正下方**。翻轉沒法停止，平衡沒法出現。

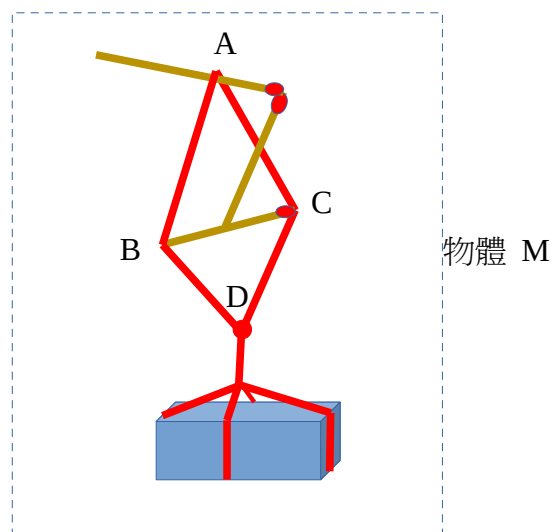


換言之，如果能夠以一個支點把物體承托穩定掛在半空，必要條件是物體有可以把它的重心常被帶到該支點正下方的自我調整能力。若沒有此能力，平衡不會發生。



人可以自我靈活調整身體，使重心處於吊繩之下。

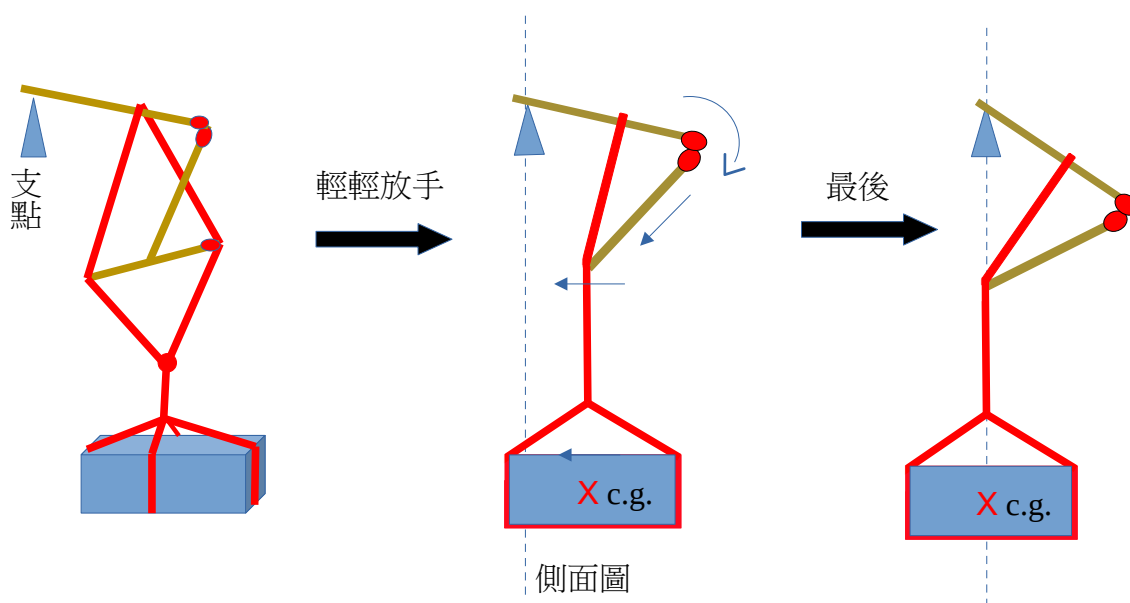
(III) 把這幾樣東西 (三支火柴 + 紅繩 + 重物) 組織成一件物體 M 。那三支火柴就如一個支架，把物體撐開形成一個勉強算是一個剛體。



三支火柴和紅繩的總重量可忽略，所以物體 M 的重心就是懸掛着重物的重心。那重心處於在上圖 D 點的垂直正下方。物體 M 真的可以把它的重心常放在支點的垂直下方嗎？

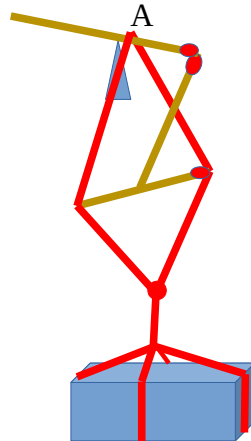
那三支火柴結構成一個支架。當最上面那支火柴以檯邊為軸心翻轉時，**支架會把懸掛着重物向內推**（見下圖）。當轉動至一適當角度，重物重心被帶到支點之下。

(i) 這個支點可以嗎？

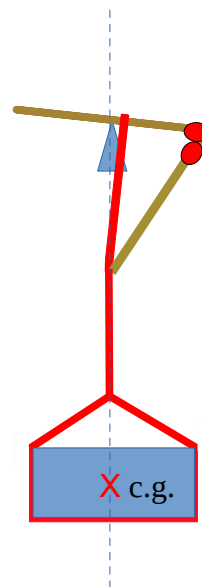


過程就是這樣。但在實際上，真如上右圖那麼傾斜時，**物體 M 大可能已在支點滑下**。另外，那三支火柴造成的支架要轉一個比較大的角度才可把重物推至支點之下；而那三支火柴之間和與繩之間只是靠接觸/摩擦來施力對方。所以，**三支火柴造成的支架亦可能早已崩塌了**。支點放得那麼遠是不行的。行的是以下這個。

(ii) 支點非常靠近 A。



物體 M 旋轉非常小幅度已足夠了。這時在支點上的那支火柴仍然相當水平，不會滑下(火柴木桿表面粗糙)。這平衡實際可行。

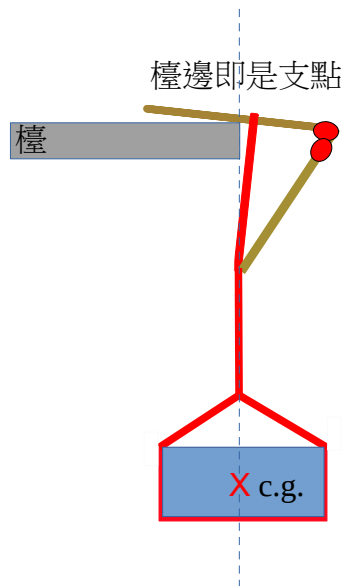


側面圖

(IV) 本文討論的那個看似不太可能的平衡實驗



其實不過就是它：



箇中物理和這個

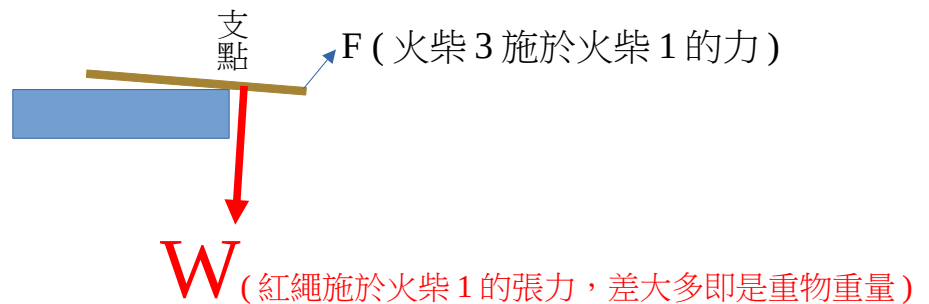


也沒有太大分別！

(V) 若我們研究在檯面上的那支火柴，看它受的力矩如何滿足平衡要求。



上圖可見，火柴 2 中間向下彎曲，即是火柴 3 會施一斜向上的力於火柴 1。



相對支點， W 造成一順時針轉矩，而 F 則造成一逆時針轉矩。平衡時，兩轉矩數值相等。因為 W 非常接近支點，而 F 出現在較遠位置，所以當最後平衡 $F \ll W$ 。這就是「四兩撥千斤」嗎？



作者：吳老師 (Chiu-King Ng)

<https://ngsir.netfirms.com>

<http://phy.hk>

電郵：feedbackWZ@phy.hk 其中 WZ 是 23 之後的質數