

一支幼香腳 (香根、香雞) 可以支撐托起

一瓶 570 ml 樽裝水嗎？

(解釋那個「四兩撥千斤」實驗)

請先觀看

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

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

類似示範見於多個網上影片分享平台，大同小異。

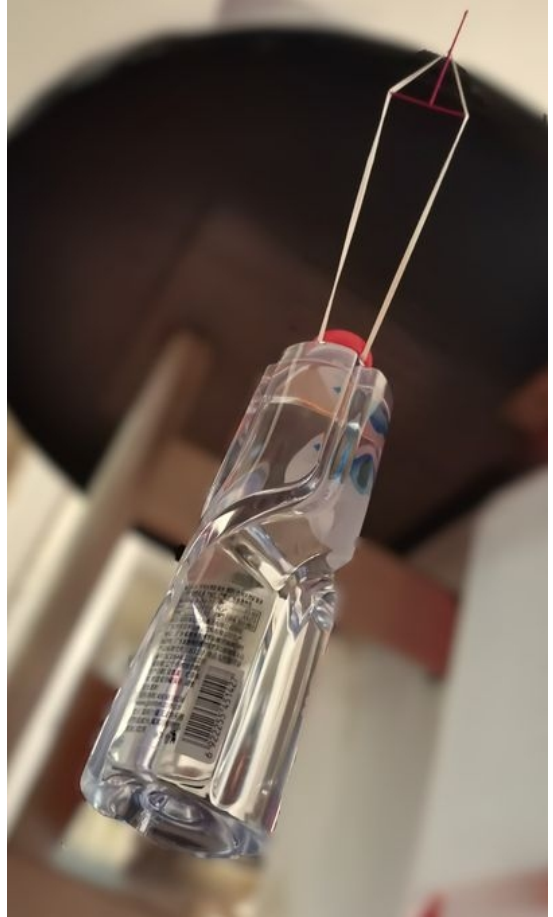
筆者在家中也做了這實驗，但以更纖幼的「香根」（香腳、廣東人叫「香雞」）（以下統一稱「香雞」）來代替火柴。火柴已有很多人做了，結果沒有疑問。但用香雞來支撐，效果如何？

預備物品：



先用重物壓住檯面上那支香雞。待所有擺放好才把檯面重物移開。





實驗結果或令人「驚訝」、「不解」，不外乎以下兩點：

- (1) 火柴和香雞都是「脆弱」的東西。它們居然可以撐起重物。
- (2) 重物施於支點一邊，但另一邊並沒有平衡重 (counter-weight)。



(A) 關於第 (1) 點

火柴/香雞真是這麼「脆弱」嗎？我們不妨做實驗看看。

(a) 先折才會斷。圖中香雞只是微彎。

水樽裝滿水，重約 5.6 N (下圖香雞長 9 cm，兩鉛筆中心距離約 2 cm)。

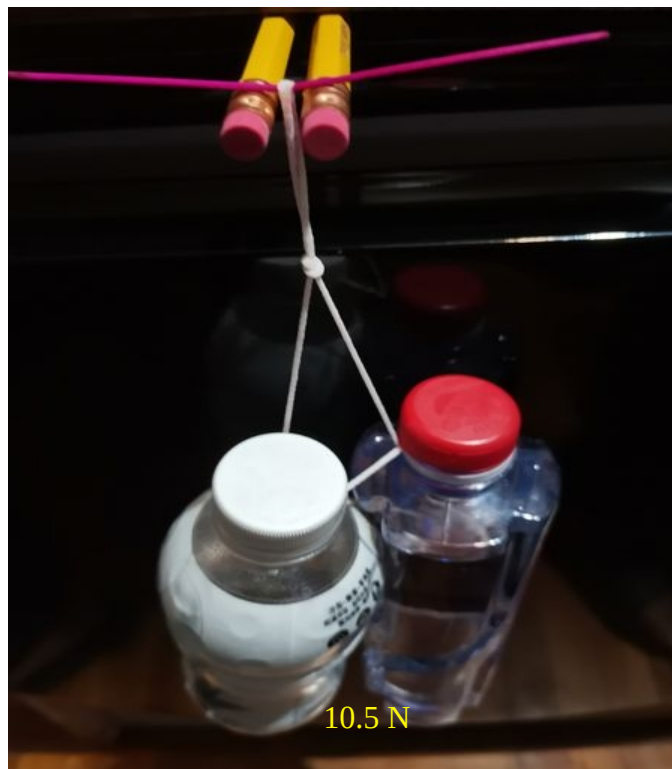


5.6 N

(b) 把那兩個支點（鉛筆）分開一些，明顯香雞彎曲多一些。若把支點距離再增加，香雞終會折斷。（下圖香雞長9 cm，兩鉛筆中心距離約3.5 cm）



(c) 若兩支點很接近，香雞可支撐多重？
（下圖香雞長9 cm，兩鉛筆中心距離約1 cm）



一支香雞支撐承托起1 kg 物體，綽綽有餘！

這兩水樽裝滿水，共重約10.5 N。由香雞的彎曲程度來看，應該還有一點點才到極限。

(d) 如何把 (b) 的支點距離增加，香雞仍不會折斷？

可以嘗試把重物盡量接近其中一個支點。（下圖香雞長 9 cm，兩鉛筆中心距離約 6 cm）



一支火柴、一支香雞，它們無疑很「脆弱」，我們用手「啪」一聲就可把它們折斷。但如果運用得宜（例如左右兩個支撐點盡量接近，重物也盡量接近其中一個支點），它們也可以撐起一個你或許想像不到的一個重量。

木材的物理性質，當然關乎它的分子構造。

“Wood’s strength in tension is primarily due to the strong molecular bonds within its cellulose fibers(纖維素纖維). These bonds allow the wood to withstand stretching forces to a certain extent.

Wood’s behavior in compression differs from tension due to its unique cellular structure. Under compressive loads, wood is generally stronger than in tension, especially in the direction parallel to the grain (木紋). This behavior is primarily attributed to the nature of the cellulose fibers and the interlocking arrangement of wood cells.”

(<https://www.tevema.com/nl/is-wood-stronger-in-tension-or-compression/>)

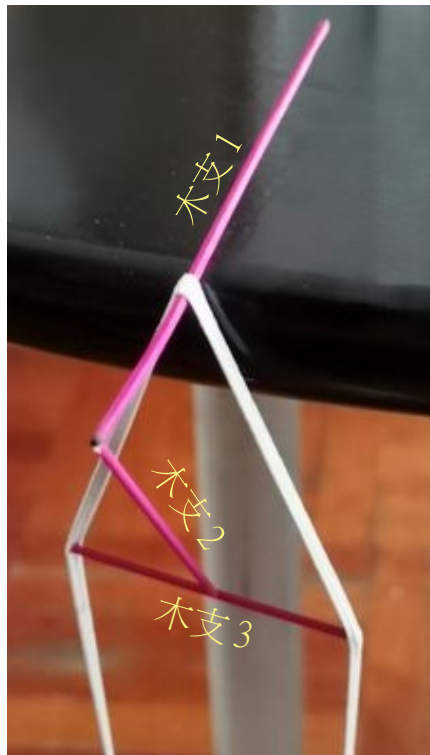


(B) 關於第 (2) 點

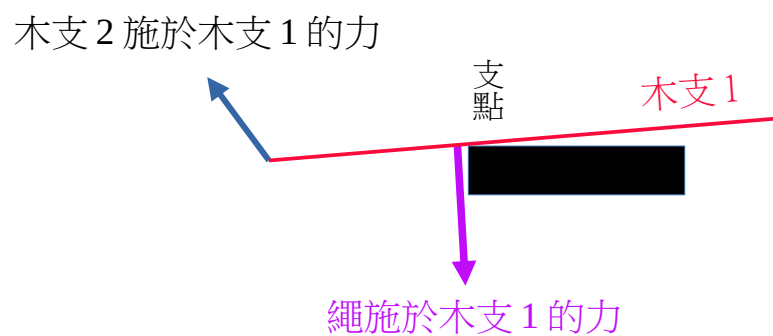
關於平衡的物理，我們循兩方面去探討。

B.1 力矩平衡

若我們研究在檯面上的那木支 1，看它受的力矩如何滿足平衡要求。



上圖可見，木支 1 前端向上凸起，，即是木支 2 會施一斜向上的力於木支 1。



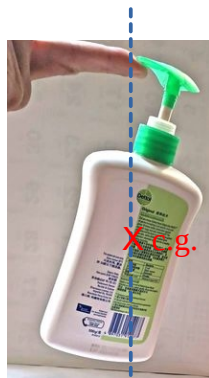
相對支點，這兩力造成的力矩相反。平衡時，這兩力矩抵消。另外，此兩力的位置正是在 P.6 相片顯示的情況（其中一力接近支點）：這令木支 1 可以支撐較重的物件。

至此，我們只說明了當系統平衡，這兩力矩必須互相抵消。而火柴、香雞這些木材也可以「忍受」一個不小的力而不折斷。但是，整個系統為甚麼會出現（穩定）平衡這個物理狀態呢？

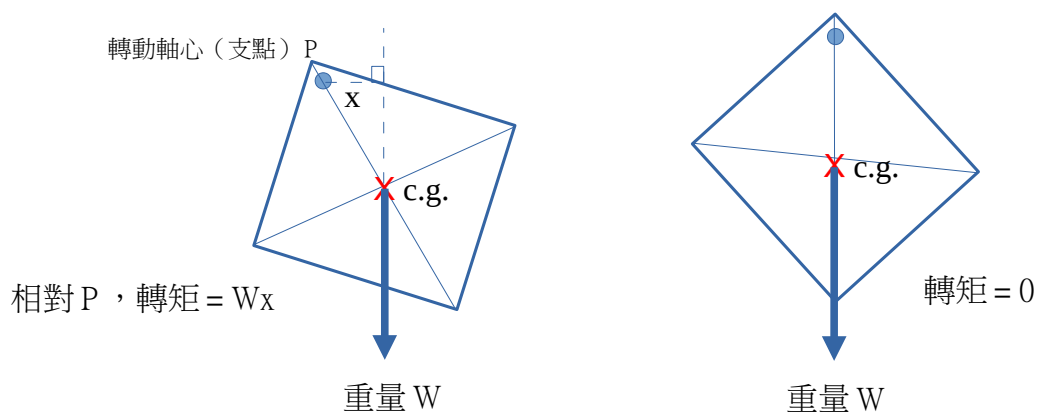
這關鍵問題就是關乎那三根木支的巧妙放置。

B.2 重心位置

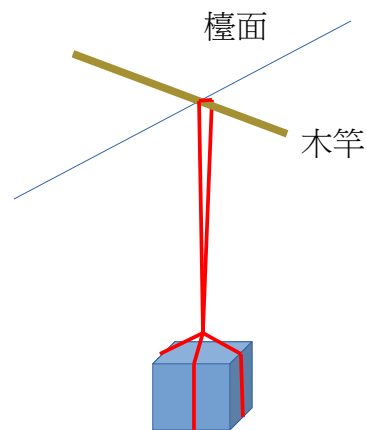
我們先溫習一個概念：把一物體用一支點承托懸掛在半空，物體停止擺動後，它的重心 (center of gravity) 必在支點的垂直正下方某處。



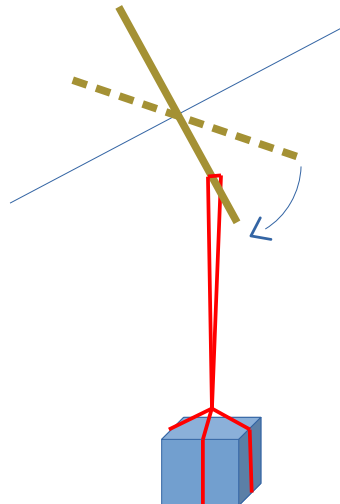
這點不難明白，若物體的重心不在支點的正下方（或正上方），物體重量會產生一個非零轉矩，令擺動未能停止。若重心出現在支點的正上方，此平衡是不穩定的。



為甚麼重物不能這樣掛在半空？



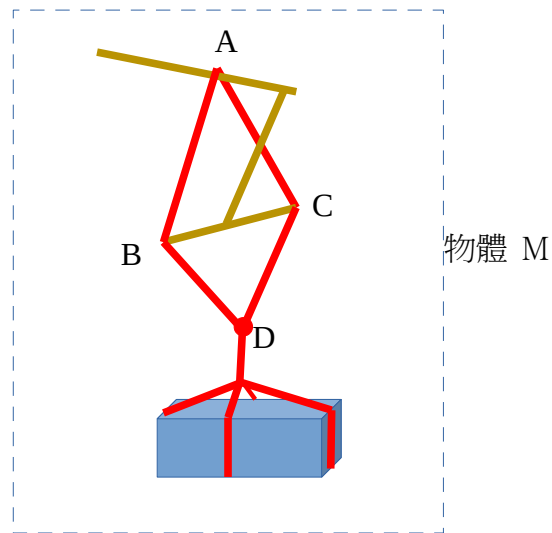
重物把木竿拉下，木竿是以檯的邊緣為軸心翻轉。重點是當木竿翻轉時，重物的重心沒法子可以調整去到支點的正下方。翻轉沒法停止，平衡沒法出現。



換言之，如果能夠以單一支點把物體承托穩定掛在半空，**必要條件是物體自己有調整重心位置的機制，使重心常被帶到支點的正下方。**反過來說，若物體欠缺此機制，平衡不會發生。

回到我們的三根木支平衡問題。

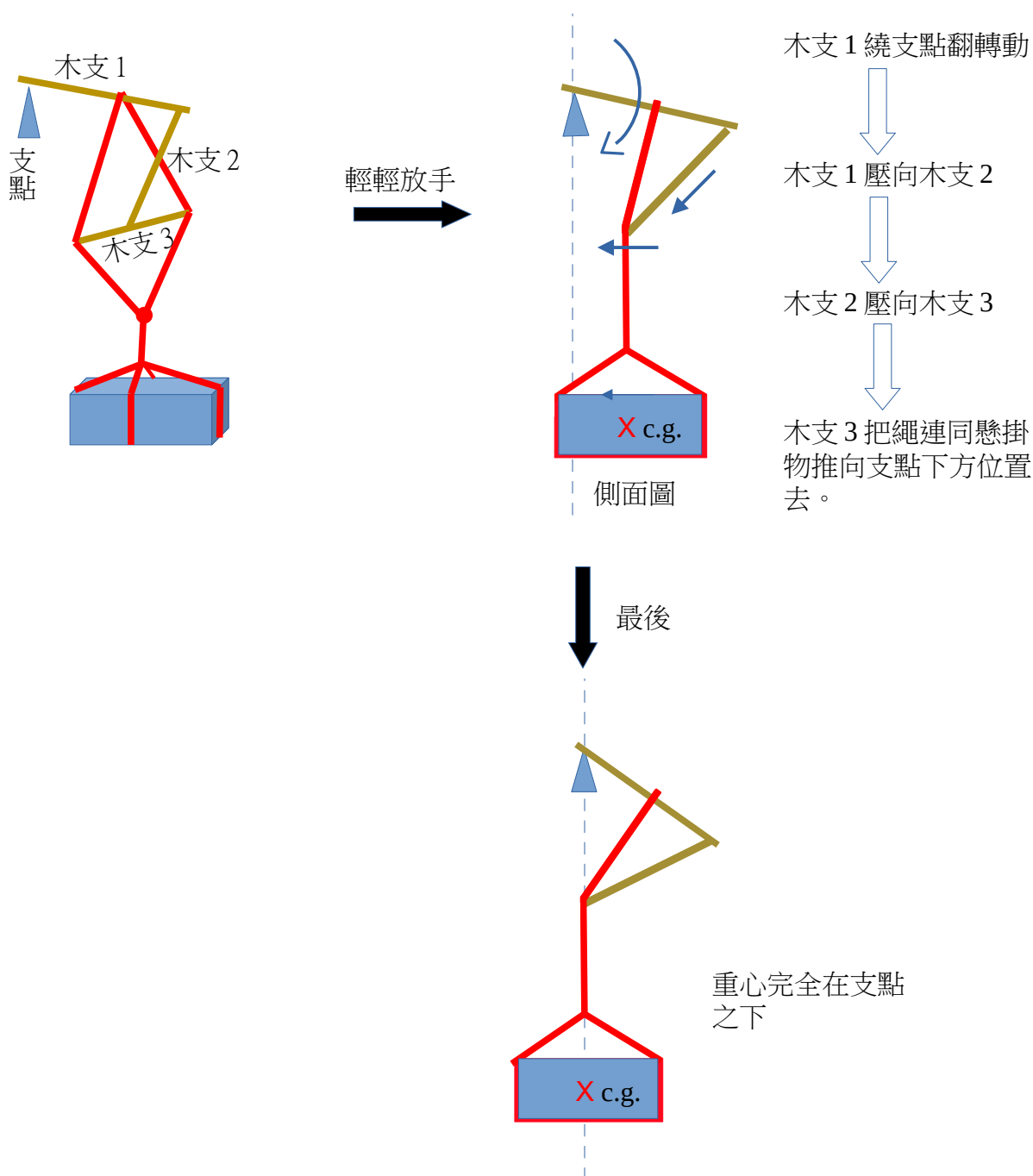
把以下這幾樣東西（三根木支 + 繩 + 懸掛重物）組織成一件物體 M。那三根木支就如一個支架，把物體撐開形成一個勉強算是一個剛體。



三根木支和紅繩的總重量可忽略，所以物體 M 的重心就是那懸掛物的重心。那重心處於在上圖 D 點的垂直正下方。

那三根木支結構成一個支架。當最上面那木支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，懸掛物重心就會被帶到支點之下。

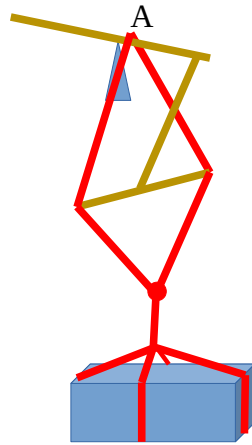
重心重回支點下的過程：



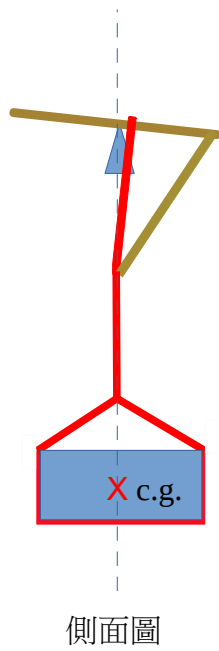
過程就是這樣。

但是，如果真如上圖那麼傾斜，物體 M 大可能已在支點滑下。另外，那三根木支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。但那三根木支之間和與繩之間只是靠接觸/摩擦來互施力對方。所以，三根木支建成的支架亦可能早已崩塌了。支點放得那麼遠是不行的。現實可行的是以下這個。

現實可行做法：支點非常靠近繩掛點 A



物體 M 旋轉小幅度已足夠。這時在支點上的那木支仍然相當水平，不會滑下(木支表面粗糙)。這平衡實際可行。





以上是介紹了這個平衡裝置的物理，希望你可以明白。你可以嘗試用其他「脆弱」材料來建造這個支架，試試看。

* * * * *

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

(2025-3-13 修改)