

觀念物理－解答

懸浮酒瓶之平衡：試題詳解與困難剖析



圖 1：酒瓶與斜板之平衡

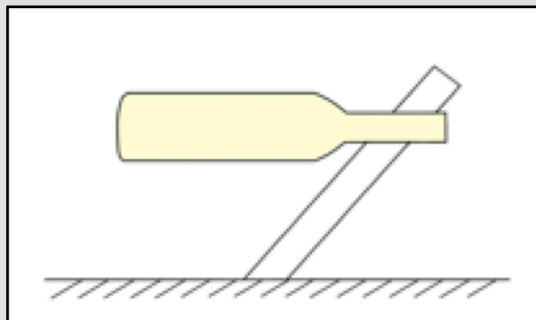


圖 2：懸浮酒瓶示意圖

針對「懸浮酒瓶平衡」(如圖 1)觀念試題的詳解與困難剖析，說明如下：

表 1：「懸浮酒瓶平衡」之正確解答、常見錯誤、及試題難易度

題號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
正確解答	C	A	B	B	B	A	C	B	A
常見錯誤	A	B	A	A	A	C	A	C	無
難易度	難	易	中	難	難	難	難	中	易

綜觀這 9 題，共涉及 3 項概念要點，第 1~4 題需掌握力的來源及方向；第 5~7 題需透過「靜力平衡」之概念來推理；第 8、9 題則結合重心與平衡之概念。

第 1 題

正確觀念：斜板因靜置於地面上，若有摩擦力應屬於「靜摩擦」，而靜摩擦的成因，是由平行外力所導致。因斜板沒有受到任何水平（←或→）的外力，所以斜板與地面間，沒有摩擦力的作用（即使是粗糙的接觸面也無摩擦）。

常見錯誤：此題難度相當高，學生常誤認為斜板需要向右的摩擦力（如圖 3），才能阻止其向左滑。有此誤解的學生，也可能是將此題與常見的「梯子傾斜」的例題相混淆（如圖 4）。該題中梯子因受到牆壁的正向力（←），而導致地面的靜摩擦（→），以維持平衡。

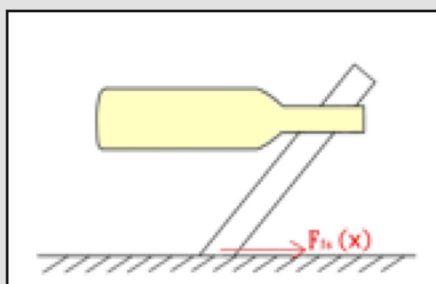


圖 3：摩擦力的誤判

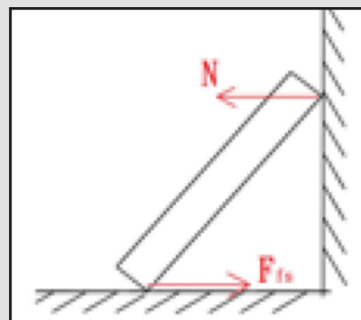


圖 4：相似情境之錯誤聯想

第 2 題

正確觀念：正向力是由桌面作用於斜板，與作用來源（桌面）垂直（ \uparrow ），與受力者（斜板）之傾斜角度無關。

常見錯誤：少數學生可能誤以為「正向力」會與斜面垂直，因而選了（ \searrow ）。

第 3 題

正確觀念：畫力圖時，只能畫出**直接作用**的外力（間接的來源不能畫），因此，酒瓶對斜板的**直接**作用來源，只有接觸的「正向力」，不包含「酒瓶重量」。酒瓶重量，是地球作用於酒瓶的力，雖然會影響酒瓶對斜板的作用力，但影響的大小與方向，都與酒瓶重量不盡相同，所以不能畫在斜板上。此系統所受的力作用流程，如圖 5 所示。

常見錯誤：誤將酒瓶的重量也畫在斜板上的學生，透露出他們對「力的來源」概念之混淆，誤將**間接**來源（地球）的作用力，也畫在斜板上。



圖 5：系統的力作用流程

第 4 題

正確觀念：判斷酒瓶與斜板間是否有摩擦力，與第 1 題之考量雷同。考量靜摩擦力，是由平行外力所導致。因酒瓶與斜板間之接觸孔維持水平方向（如圖 2 所示），故酒瓶受斜板作用的正向力方向，僅為 \uparrow 或 \downarrow （垂直於孔的接觸面），未受到任何平行（ \leftarrow 或 \rightarrow ）方向之外力（來自斜板），所以「酒瓶」也不會受到（ \leftarrow 或 \rightarrow ）方向的摩擦力。

常見錯誤：有相當高比例的學生，誤以為只要是**粗糙**面就會有**摩擦力**，透露出他們對「靜摩擦成因」的認識不清。需要更多實例，以釐清「粗糙 \neq 有摩擦」的理由。

第 5~7 題

正確觀念：這三題需要一起透過「靜力平衡」來推導，不但需用到「合力為零」，同時，也須滿足「合力矩為零」，兩個條件（ $\Sigma \vec{F} = 0$ ，且 $\Sigma \vec{\tau} = 0$ ）須同時成立，才能維持靜止。其中，探討 $\Sigma \vec{F} = 0$ 時，作用於系統不同位置的力，皆可以平移，以求其向量和；而當 $\Sigma \vec{\tau} = 0$ 條件滿足時，支點位置可以依題目之所需而自由選擇。

探討「酒瓶」維持靜止，若酒瓶僅受到斜板一個向上的正向力（ N ）來支撐酒瓶的重量（ $N = F_g$ ），如圖 6 所示。此時，雖然可以達到 $\Sigma \vec{F} = 0$ 的條件，但 $\Sigma \vec{\tau} = 0$ 無法成立，無論支點設為何處，「酒瓶」所受之「合力矩」皆為逆時針旋轉。

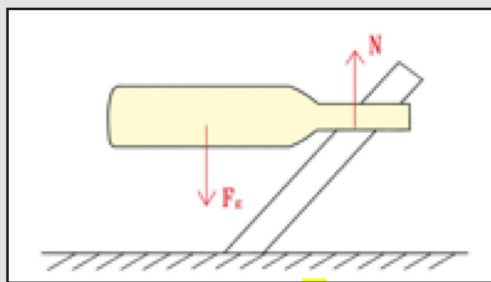


圖 6：合力 $= 0$ 但合力矩 $\neq 0$

因此，考量「酒瓶」需同時滿足 $\Sigma \vec{F} = 0$ 與 $\Sigma \vec{\tau} = 0$ 的平衡條件，則「酒瓶」在與斜板之接觸面上，需同時受到向上的 N_2 及向下的 N_1 （如圖 7 所示），共兩個正向力（第 5、7 題），才能抵抗酒瓶重力所造成的運動效果，包含平移與轉動現象。

接著，要比較 N_1 、 N_2 、及 F_g 三個力之大小關係。首先，可根據「酒瓶」所受之 $\Sigma \vec{F} = 0$ ，得到 $N_2 = N_1 + F_g$ ，所以 $N_2 > F_g$ 。

其次，根據圖 8，若以 N_2 為支點來探討力矩之平衡（ $\Sigma \vec{\tau} = 0$ ），則 N_1 的順時針力矩，能與 F_g 的逆時針力矩相抗衡。根據 $\Sigma \vec{\tau} = 0$ ，可列出 $N_1 \cdot S_1 = F_g \cdot S_2$ 之關係，且因 $S_1 < S_2$ ，所以 $N_1 > F_g$ 。因此，兩個正向力（ N_1 及 N_2 ）皆大於 F_g （酒瓶重量）（第 6 題）。

常見錯誤：此題組難度相當高，多數學生的作答如圖 6 所示，僅在酒瓶上畫出一個向上的「正向力」（ N ）作支撐（第 5、7 題），以為只要此正向力與酒瓶重量相抗衡（ $N = F_g$ ，第 6 題），就能達到平衡。

上述的誤答，顯示出他們僅考慮到「力平衡」的條件（ $\Sigma \vec{F} = 0$ ），忽略了如此一來，酒瓶將會逆時針旋轉，違反「轉動平衡」（ $\Sigma \vec{\tau} = 0$ ）的條件，無法維持靜止。這些學生過度簡化問題，僅掌握其一（力平衡），而未能兼顧其他變因（力矩平衡），導致三題全錯的窘境。這項普遍的推理盲點，也可能是受到其原理名稱「靜力平衡」的誤導，僅想到「力」而忽略了「力矩」。

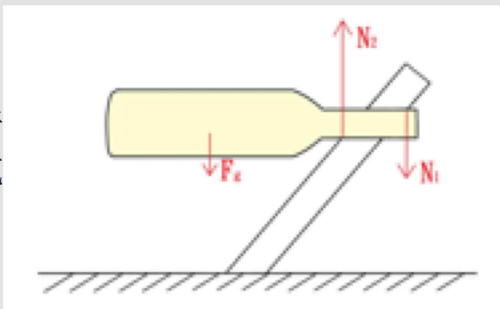


圖 7：合力 = 0 且合力矩 = 0

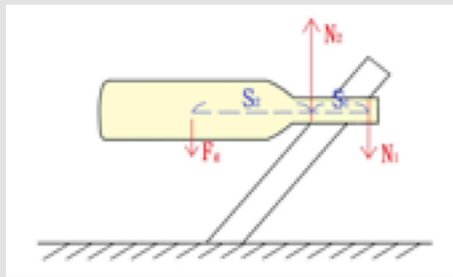


圖 8：合力 = 0 且合力矩 = 0

第 8 題

正確觀念：判斷「酒瓶 + 斜板」之「重心」位置，可根據物體呈現「平衡」，透過力矩之平衡（ $\Sigma \vec{\tau} = 0$ ），故重心應落於支撐面之區域（如圖 9 的 Q 點），才能使「酒瓶 + 斜板」系統所受之重力（ \downarrow ）與支撐力（ \uparrow ）沿著同一鉛直線，避免兩力形成「力偶」而導致物體旋轉。

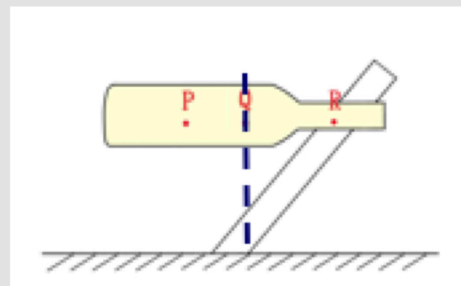


圖 9：「酒瓶 + 斜板」之重心

常見錯誤：許多學生將重心位置誤選了圖 9 的 R 點位置，顯示出兩項誤解：1) 系統取定的錯誤，忽略了題目所指定的「酒瓶 + 斜板」系統，僅考量「酒瓶」系統；2) 認為「酒瓶」能夠平衡，其重心應該落於支撐「酒瓶」的接觸範圍內（R 點）。而事實上，「酒瓶」系統之所以維持平衡，其重心不需落於支撐面上，因為此時的正向力有兩個（ N_1 及 N_2 ），且其作用位置不同（參閱圖 8），所以即使重力不落在支撐區域，仍能維持平衡。

第 9 題

正確觀念：酒瓶清空後，因為瓶身處減少的重量比例，比瓶口處顯著，所以空瓶的重心會稍微向瓶口處移動。為了維持平衡，則空瓶須稍微往瓶身處（向左）移動，才能使 [瓶子 + 斜板] 之重心再度回穩。

常見錯誤：本題未發現有集中的錯誤選項

不當推理及有效策略

綜括以上幾題，學生在「平衡」的概念推理困難，可能涉及以下三項基本策略的誤導：

(1) 術語的誤導，所謂的「靜力平衡」，卻不能僅考慮到「合力」的抗衡，還須兼顧到「合力矩」， $\Sigma \vec{F} = 0$ 及 $\Sigma \vec{\tau} = 0$ 兩個條件須同時滿足，才能稱為「靜力平衡」（第 7~9 題）。

(2) 「畫力圖」是力學的重要能力，但什麼是「力的來源」呢？畫力圖需根據「直接的外在來源」，而不是**原始**的來源（第 2, 3 題），這種不去抓源頭的因果推理，與日常經驗是格格不入的，所以需要教師對「力的來源」提醒周詳的定義。同時，[粗糙面 \neq 有摩擦力] 的概念也顛覆了多數人的直覺（第 1, 4 題），靜摩擦力的產生是為了抵抗平行接觸面的外力，若無此平行外力，則即使是粗糙面也無靜摩擦。

(3) 類似情境的聯想，教師常鼓勵學生要「舉一反三」，懂得將已學知識，應用在類似的題目上，這樣的期許無可厚非，但卻充滿挑戰難度頗高。因為相似的情境，卻可能內含不同的概念，如圖 3 與圖 4，同樣是傾斜木板，所受之力圖卻大不相同（第 1 題）。另外，物理概念（或解題技巧）也不能無限擴充，例如，“平衡時重心必落於接觸面上”的概念，對 [酒瓶 + 斜板] 系統可以成立，但對於 [酒瓶] 系統卻不適用，因為後者受到接觸面上有兩個不同位置的支撐力（第 8 題）。因此，學生不但需要懂得概念的意義，還需能分辨概念適用與不適用的條件，也就是掌握概念的**限制條件**。

以上三點，透露出物理概念的複雜性，什麼是「平衡」、「靜力平衡」、「力的來源」、「摩擦力」、「重心」...？這些關鍵詞的基本定義，都遠遠超越術語本身所能表達，同時也常違反日常經驗或直覺，所以，需要教師提供周延的科學定義，搭配不同情境的觀念題，才能逐漸領略其中的概念內涵。

註：本單元之第 5~7 題，修改自 DeWeerd, A. (2007). Another look at the wine butler. *The Physics Teacher*, 45(7), 438-439.