

# 觀念物理－試題

## 慣性與摩擦 (I)



張慧貞 教授

國立彰化師範大學物理系 物理教育組

2000 年於紐西蘭 Waikato University 取得科學教育博士，研究興趣從早期的「互動教學」，逐漸轉移到物理「教材教法」的研發。近年來，主要聚焦於融合多重表徵，包含教具、圖片、照片，來開發觀念試題，根據社會文化觀的學理主張，提供學生周延的教學鷹架，以有效促進學生的概念理解。

讀過物理的人，都能琅琅上口的「慣性」與「慣性定律」，究竟是什麼意思呢？「慣性」是一種作用？一種狀態？還是一個物理量？適用的例子又有哪些？為了要釐清其中的來龍去脈，還需對「摩擦力」有所了解。本專欄將透過連續兩單元的實例測試與剖析，讓我們好好地一探「慣性」與「摩擦」的究竟。

### 小試身手

(以下所有試題皆忽略空氣阻力)

- ( ) 1. 圖 1a 顯示以手握住灌水後之汽球，並使汽球靜止懸在空中。圖 1b 則為汽球剛**爆破後**瞬間所拍到的照片。試問圖 1a 時**汽球** (不含水) 所受力圖，包含以下哪些力？  
 i) 汽球之彈力 ii) 水之重力 iii) 水向外之推力 iv) 手的拉力  
 (A) i, ii, iii, iv (B) i, ii, iv (C) i, iii, iv  
 (D) ii, iii, iv (E) iii, iv
- ( ) 2. 承上題，圖 1b 的瞬間，汽球已破但其內 (大多數) 的水，仍維持原來的形狀，則此時哪些物理量為零？  
 i) 水受的合力 ii) 水的速度 iii) 水的位移 iv) 水的慣性  
 (A) i, ii, iii, iv (B) i, ii, iii (C) i, ii (D) ii, iii (E) iii, iv
- ( ) 3. 承上題，圖 1a 與圖 1b，何者適用牛頓第一運動定律？  
 (A) 只有圖 1a (B) 只有圖 1b  
 (C) 兩者皆適用 (D) 兩者皆不適用



圖 1a：靜止的水球



圖 1b：汽球爆破瞬間

( )4. 一保齡球意外地從飛行中的飛機上掉下 (如圖 2)，從地面上觀察球運動最可能的軌跡，應為圖中 (A)~(E) 選項的那一項？

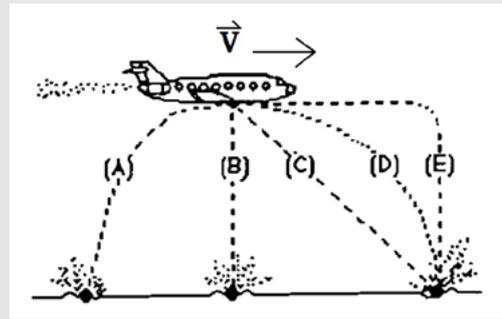


圖 2：球的軌跡

( )5. 有一傳輸帶以等速率  $v$  運作，將一木塊放在傳輸帶上，經過一段時間後，當木塊與傳輸帶保持**相等速率**前進 (如圖 3)，則此時木塊所受摩擦力方向應為

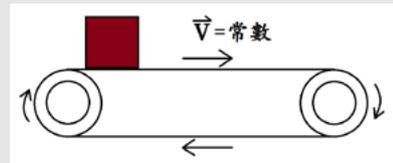


圖 3：木塊的摩擦

(A) 向左 (B) 向右 (C) 摩擦力為零

( )6. 為了使鐵鎚卡緊，可以向下敲把手 (如圖 4)，則往下敲的瞬間 (敲擊到**卡緊之前**的過程)，「鎚頭」的**加速度**應如何？  
(A) 加速度向上 (B) 加速度向下  
(C) 加速度為零 (D) 以上皆非



圖 4：鎚頭卡緊

( )7. 承上題，過程中「鎚頭」所受的**合力**應如何？  
(A) 合力向上 (B) 合力向下  
(C) 合力為零 (D) 以上皆非

( )8. 承上題，過程中「鎚頭」的**慣性**應如何？  
(A) 慣性向上 (B) 慣性向下  
(C) 慣性為零 (D) 以上皆非

( )9. 一鐵球繫在一條弦上，並繞著**水平面**作圓周軌道旋轉 (如圖 5)，若弦突然斷裂，則弦斷裂後球將沿圖上 (A)~(E) 之那一條軌跡運動？

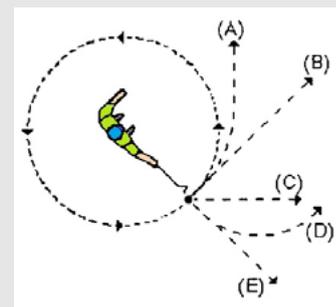


圖 5：斷繩後的軌跡

( )10. 從圖 6 中水車的漏水現象，可推測出水車目前的狀態應該為何？  
(A) 必為靜止  
(B) 必為等速度運動  
(C) 可能靜止或等速度運動  
(D) 以上皆非

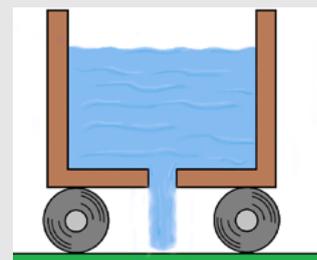


圖 6：水車漏水

# 觀念物理－解答

## 慣性與摩擦 (I)

### 詳解與困難剖析

本單元包含的7個圖中，共有5個圖適用於「慣性定律」，也就是牛頓第一運動定律，你猜得出來是哪5個圖嗎？本單元中每題的正確答案、常見錯誤選項、及試題難度，列於表1並說明如下：

表1：各題之正確答案、常見錯誤、及題目難度

題號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
正確答案	E	D	A	D	C	A	A	D	B	C
常見誤答	D	A,B	C	B	B	B	B	B	無	A
難度	難	中	難	易	中	難	難	難	易	中

### 第1題

#### 正確觀念：

判斷(圖1a)中的汽球(不含水)所受的力，須根據汽球所受到的**直接外在作用來源**(牛頓第三運動定律)，所以只有水的推力與手的拉力兩項。



圖 1a：靜止的水球



圖 1b：汽球爆破瞬間

至於汽球的彈力則是汽球的內力，會相互抵消，不可畫在汽球上。而水的重力，則是地球作用於水，對汽球而言是間接的來源。而水的重力對汽球的影響會表現在水的推力(如圖1c)，如果再加上水的重力，則同一個力會被重複考量。因此，畫力圖時**不可以包含間接來源**。

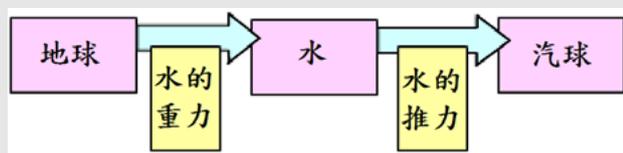


圖 1c：力的來源

#### 常見錯誤：

多數學生成功排除了「氣球彈力」，迴避了內力，但卻多選了「水的重力」，顯示出他們沒能掌握力圖須根據**直接**的來源，避免間接來源。

## 第 2~3 題

### 正確觀念：

第 2 題，當汽球剛爆破瞬間，水仍**暫時**呈現原來的形狀 ( 如圖 1b )，但因此時水僅受重力，所以「合力」 $\neq 0$ 。但根據現象因水仍暫時靜止，所以「瞬時速度」與「位移」仍為零。至於「慣性」的定義則等於「質量」，所以「慣性」 $\neq 0$ 。

第 3 題，要判斷汽球爆破前、後 ( 圖 1a、圖 1b )，是否符合「牛頓第一定律」？需根據此定律的條件：合力 $=0$ ，加速度 $=0$ ，這兩個條件會同時滿足。兩個圖雖然都呈現靜止，但只有爆破前 ( 圖 1a ) 是維持平衡 ( 合力 $=0$  )，爆破後 ( 圖 1b ) 的 [ 合力=重力 ( 向下 ) ]，違反「平衡」的條件。所以圖 1b 不適用於第一定律。

### 常見錯誤：

第 2, 3 題難度非常高，常見的錯誤包含：(1) 誤以為只要是「靜止」就是「平衡」，也就是將「速度」與「加速度」相混淆。許多學生判斷「加速度」時，侷限於透過速度變化來判斷 ( $\because \vec{a} = \Delta \vec{v} / \Delta t \therefore \vec{a} \propto \Delta \vec{v}$ )，但因本題涉及的時間很短 ( $\Delta t \rightarrow 0$ )，所以無法得解。「加速度」還可從「力圖分析」，由合力判斷加速度。(2) 雖然掌握圖 1b 的合力 $\neq 0$ ，但卻誤解「慣性」的功能，以為物體的**慣性**是可以 ( 暫時 ) **抵抗**外力的作用。如：“圖 1a 因達力平衡故不需慣性，而圖 1b 支撐沒了，所以有慣性作用使水仍維持原本的形狀”。

## 第 4, 5 題

### 正確觀念：

第 4, 5 兩題，都是測試「合力 $=0$ ，則維持等速度」，或「維持等速度不需外力」的概念，挑戰「運動需要力」的迷思。第 4 題 ( 圖 2 )，從飛機上落下的保齡球，因為具有飛機原有的水平速度，再因為落下過程持續受到重力，從地面看是平拋運動，軌跡為拋物線 ( 選項 D )，難度不高。

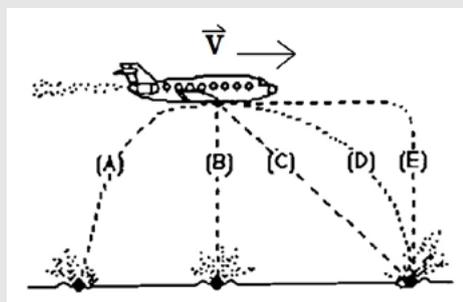


圖 2：球的軌跡

第 5 題 ( 圖 3 ) 是因為木塊在輸送帶上維持等速度，加速度 $=0$ ，因此木塊合力 $=0$  ( $\because \vec{v} = \text{常數} \therefore \vec{a} = 0$  且  $\Sigma \vec{F} = 0$ )，故木塊與輸送帶間無摩擦力。雖然是相同的概念，但難度比第 4 題高出很多。

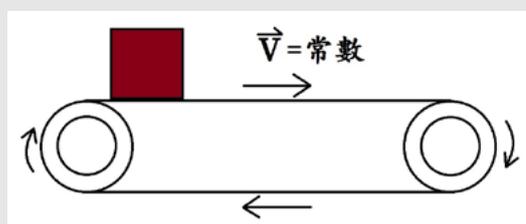


圖 3：木塊的摩擦

### 常見錯誤：

第 4 題的錯誤大多選了 (B)，主要是誤將觀察點放在飛機上 ( 而不是地面 )，則球落下的軌跡的確會是垂直向下。這是因誤解題意，而不屬於物理概念的缺失。而第 5 題則有很多學生選擇摩擦力向右，透露出兩種概念盲點：(1) 誤以為「維持運動需要力」；(2) 以為在粗糙面上運動就必然有反向的動摩擦。此時木塊與輸送帶之間並無相對滑動，所以沒有動摩擦，同時也因木塊維持等速度，所以也沒有靜摩擦。

## 第 6~8 題

### 正確觀念：

要判斷鎚頭在卡入時的加速度(如圖 4)，可根據速度變化( $\because \bar{a} = \Delta \bar{v} / \Delta t \therefore \bar{a} \propto \Delta \bar{v}$ )。鐵鎚把手敲擊後，鎚頭由敲擊前的初速(向下)逐漸減速至停止。因此，鎚頭卡入過程的加速度，應與速度反向，所以加速度向上(第 6 題)。再根據  $\Sigma \vec{F} = m\bar{a}$  可由加速度，推出鎚頭卡入過程所受的合力也是向上(第 7 題)，根據力的作用來源判斷，應是來自摩擦力(向上)使其減速。至於「慣性」=「質量」，屬於純量，沒有方向性(第 8 題)。

### 常見錯誤：

第 6~8 題的難度相當高，多數同學誤選了加速度向下(第 6 題)，可能是將速度與加速度混淆，也有同學誤將「慣性」當成卡緊的原因，如：“鎚頭因為慣性，使它的加速度向下”。因為加速度的錯誤，也誤選了合力向下(第 7 題)。

至於「慣性」(第 8 題)則有相當高比例的學生，誤選了「慣性向下」，如：“把手停止而鎚頭仍向下，可知(鎚頭)慣性向下”；“慣性向下才能卡緊”，這些解釋都透露出學生將「慣性」與「速度」或「動量」相比擬的一種誤解。選擇「慣性向上」的人，則解釋“慣性使鎚頭會有維持原位的傾向”，似乎將「慣性」比擬成一種抵抗運動的回復作用。



圖 4：鎚頭卡緊

## 第 9, 10 題

### 正確觀念：

最後兩題則是符合「慣性定律」的例子。第 9 題(圖 5)在繩子被切斷之後，鐵球所受合力=0，故維持原本的速度，沿切線繼續前進(B)。本題主要在澄清：等速圓周運動需要有向心力才能維持，當過程中提供向心力的來源消失時，物體不會繼續旋轉。

第 10 題雖然是相同的概念，但需要區分「加速度」=0 的現象，可能包含「維持靜止」與「維持等速度」兩種。觀察圖 6，因為漏水沒有受到任何水平方向的外力(根據作用來源)，且漏水與車子維持垂直，可以推論車子與漏出的水維持相同速度或是維持靜止。根據  $\Sigma \vec{F} = m\bar{a}$ ，當  $\Sigma \vec{F} = 0$  可得  $\bar{a} = 0$ ，但卻無法區別「靜止」與「等速度」運動，也無法判斷絕對速度的大小。

### 常見錯誤：

第 9 題的難度是本份試題中最低的，原因除了概念已掌握之外，題型熟悉也有可能。第 10 題則有相當比例的學生誤選了「只有靜止」，透露出他們仍持有「運動需要力」的迷思。

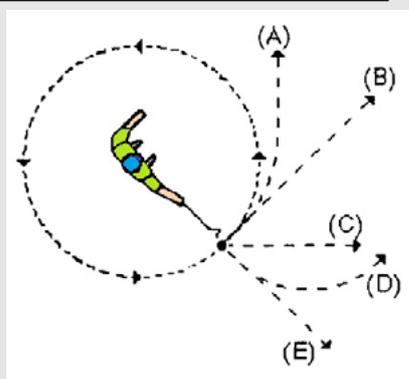


圖 5：斷繩後的軌跡

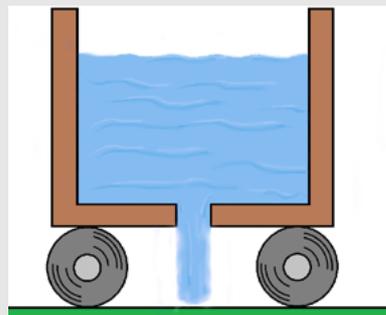


圖 6：水車漏水

## 不當推理及有效策略

許多國內外的教材，時常誤將圖 1b(暫時維持靜止)或圖 4(持續往前衝)，當成是「慣性」或「慣性定律」(也稱「牛頓第一運動定律」)的例子。雖然這兩個圖所受外力的時間都很短暫，但並不代表受力可以忽略。圖 1b 所受的重力，及圖 4 所受的動摩擦力( $F_{fk}=\mu_k N$ )都不為零，所以違反「慣性定律」。「力」與「加速度」指的都是瞬間值，並不會因時間的短暫而變小。

當學生將「慣性」套在這些不適用的例子，會以為物體因「慣性」，會對突然遭遇的外力，產生一種**抵抗作用**，以維持「靜者恆靜」(如圖 1b)；或者將「慣性」誤以為是一種運動中的物體突然遭受外在阻力時，會產生的**向前衝力**，以維持「動者恆動」(如圖 4)。類似的情況，被誤用來解釋「慣性」的例子還相當多，誤導了學生對「力」、與「加速度」的理解。

圖 1b 跟圖 4 雖然不適合用於「慣性定律」，但卻是用來區別「速度」與「加速度」的好題材。圖 1b 可以分辨「暫時靜止」(速度=0)的物體，可能「不平衡」(加速度 $\neq 0$ )，而圖 4 則釐清「速度」與「加速度」方向可能不同。

那麼，「慣性定律」究竟應引用哪些例子呢？學習的要點有哪些呢？本單元 7 個圖中除了圖 1b 及圖 4 以外，其它皆適用「慣性定律」。這些實例的概念要點包含：(1) 合力=0(缺乏外力)時，物體會維持原來的速度運動(如圖 2 水平分量，及圖 5)；(2) 維持等速度，**不需要**外力(如圖 3 及圖 6 水平分量)。這兩項概念看似基本，對多數學生而言卻不見得簡單，且難度與試題的熟悉度有關。因此，「慣性定律」包含著重要的概念需要澄清，也不是「慣性」一詞能夠解釋的。

註 1: 圖 1a, 1b 靈感來自 AAPT Photo Contest 的得獎作品，但作者誤用「慣性」來解釋汽球爆破瞬間的現象。

註 2: 第 4, 9 題取材自著名標準化考題 (FCI)。Hestenes, D., et al., (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.