

# 觀念物理－解答

## 彈力與正向力

### 詳解與困難剖析

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	11
正確答案	C	C	A	B	C	D	A	C	D	D	B
常見誤答	A	A	C	A	B	無	無	A	A	B	D
難度	難	中	中	中	難	易	易	中	難	難	難



(i) 手壓彈簧，靜置於桌面 (圖 1)      (ii) 放手後，彈簧正在伸展，木塊尚未離桌 (圖 2)  
 (iii) 放手後，木塊已離桌，彈簧繼續彈升 (圖 3)      (iv) 放手後，彈升到最高點 (圖 4)

第 1~6 題，涉及彈簧彈跳的 4 個階段，如圖 1~圖 4 所示，相關原理解說如下：

### 第 1~2 題

#### 正確觀念：

導致彈簧彈起的機制為：手施力下壓  $\Rightarrow$  使彈簧變形  $\Rightarrow$  造成彈力  $\Rightarrow$  彈力下壓桌面  $\Rightarrow$  桌面產生正向力向上  $\Rightarrow$  使彈簧彈起。其中的彈力屬於內力，同時在彈簧兩端，出現一對反向的力，根據「牛頓第三定律」，內力會在內部相互抵銷 (如圖 5 所示)。因此，彈簧所受外力只有重力 ( $\downarrow$ ) 與正向力 ( $\uparrow$ ) 兩者，使彈簧彈起的力是桌面所提供的正向力 (第 1 題)。

至於階段 (i) (圖 1) 因彈簧仍靜置於桌面，所以 [合力 = 0]，根據此時彈簧系統所受的外力推論：[手壓的力 ( $\downarrow$ ) + 重力 ( $\downarrow$ ) = 正向力 ( $\uparrow$ )] (第 2 題)。彈力因為是內力，必然互相抵消，不影響上列之等式。

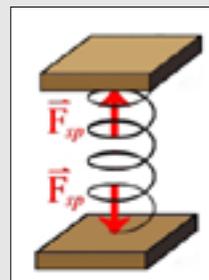


圖 5：彈力分析

### 常見錯誤：

許多同學沒能掌握「彈力」是內力的性質，以為彈簧的彈力只有向上，誤以為彈力會讓系統彈起(第1題)。同時，在分析靜置壓縮彈簧時，也會以為「手壓的力」(↓)除了須克服「正向力」(↑)與「重力」(↓)之差以外，還需克服彈力(↑)，所以第2題誤選了(A)。

## 第3~6題

### 正確觀念：

在階段(ii)時，彈簧底部尚未離桌，但已開始向上伸展，因此質心加速度向上。根據牛頓第二定律，此時彈簧所受的外力僅包含「正向力」(↑)與「重力」(↓)  
 $\therefore \Sigma \vec{F} = \vec{F}_g + \vec{N} = m\vec{a}(\uparrow) \therefore N > F_g$  (第3題)。

而階段(iii)則因彈簧已經離桌，且繼續上升，此時因彈簧沒有接觸桌面，所以「正向力」立即消失(無法作用)，因而只受重力，使加速度向下( $a=g$ )。所以，同樣是彈升過程，速度雖然皆為向上，但加速度在階段(ii)是向上，階段(iii)則為向下(第4題)。

階段(iii)的懸空彈升過程因只受重力，所以合力向下，且維持定值(第5題)。

至於階段(iv)，當彈簧抵達彈升之頂點瞬間，速度從原來的向上，轉變為向下，所以頂點時之速度=0。而加速度則因只受重力，得知 $a=g$ (向下)(第6題)。

### 常見錯誤：

許多同學在階段(ii)，直接根據彈簧底部尚未離桌，就誤以為[合力=0]，忽略了此時彈簧本身已經開始向上伸展，質心加速度已經向上( $a \neq 0$ )(第3題)。至於對於階段(ii)與(iii)的加速度判斷，則有許多同學以為兩者皆為向上，顯示出他們誤將「速度」當成「加速度」(第4題)。此項混淆的後遺症，也在第5題顯現：階段(iii)的「合力」判斷，錯誤選項集中在“合力向上，且逐漸減小”，顯示出學生將「速度」與「合力」做了不當的連結。此項不當連結不一定是透過「加速度」做橋樑，有人解釋“力逐漸減小，但 $a=g$ 保持常數”，透露出此位學生將「加速度」與「合力」獨立探討，並直接由「速度」連結「力」的不當推理。

然而，大多數同學則能夠正確掌握，上拋運動頂點之「速度」與「加速度」的區別(第6題)。本題答對率超過80%，可能是反應現有教材強調的成果。

## 第7~9題

### 正確觀念：

第7題分別在斜坡上與平地上秤重，所秤得的「重量」(W)，是透過「正向力」(N)測得( $W=N$ )。根據力圖分析，因為此人維持靜止，所以合力=0，斜坡秤重時，為了維持力平衡，此人除了受到「重力」( $F_g$ )與「正向力」之外，還需受到「摩擦力」( $F_f$ )(↗)(如圖6)。將 $F_g$ 分解為與N平行及垂直兩個分量( $F_{g//}$  &  $F_{g\perp}$ )，其中 $F_{g//} = N$ ;  $F_{g\perp} = F_f$ ，以滿足合力=0。因此，斜坡時 $N < F_g$ ，而平面時 $N = F_g$ ，所以在斜坡時之秤重(N)小於平地。

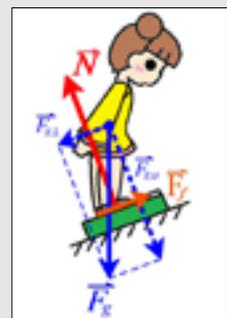


圖6：斜坡秤重

至於「秤重」(N)是否因地面加了地毯而改變(第8題)?同樣可以透過力圖分析,快速得解。地面上加了地毯後,此人所受到的**外力**(直接作用來源),仍然僅有「重力」與「正向力」,且兩者須達力平衡,所以「正向力」=「重力」,而「秤重」=「正向力」,故與地毯無關。下次量體重或買東西時,記得這兩題的結論,「秤重」與接觸面材質無關,與傾斜度有關。在電梯裡探討「秤重」(第9題),需透過畫力圖(如圖7)及公式分析( $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_g + \vec{N} = m\vec{a}$ ),根據電梯的加速度(不是速度),推出合力,進而確定正向力(N),就是「秤重」(W)的大小(W=N)。因此,電梯裡的秤重與加速度相關,但與速度無直接關係。

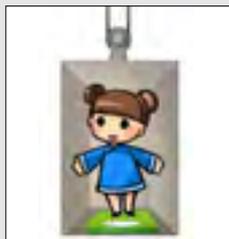


圖7: 電梯內秤重

**常見錯誤:**

大多數同學能正確比較出平地與斜坡上的秤重大小,顯示他們對於幾何分析能力的掌握(第7題)。相對地,卻有些學生誤以為在地毯上較輕(第8題),有人解釋,“地毯的毛會吸收部份重量”,似乎意味著地毯的“彈性”(或彈力)可以減輕人的秤重。探討人所受的秤重,需根據此人所受的**直接作用**來源分析,即使地毯有彈力向上頂,只是作用在磅秤底部,並沒有直接作用在人身上。所以地毯的彈力並不影響人所受的力圖,故不影響「秤重」。電梯裡的秤重(第9題),多數學生誤選了“上升時較重”,可能是受到生活經驗的誤導,也可能是將「速度」與「力」作了不當的連結,或是忽略了「力」與「加速度」的密切關係。

## 第 10~11 題

**正確觀念:** 探討太空人「失重」的原因(如圖8),首先要確定「重量」=「秤重」,太空人「失重」,代表其「秤重」=0,且「秤重」由磅秤所受的「正向力」測得,所以「失重」代表太空人所受「正向力」=0。而「失重」不一定代表所受「重力」=0, («重力」與「重量」必須區別),根據太空站的高度,太空人所受的「重力」仍相當顯著



圖8: 太空人失重

( $g' = [6400^2 / (350 + 6400)^2] \cdot g = 0.90g$ )。當太空人仍受到顯著的「重力」,卻能維持「失重」的原因,是因為此時太空人以高速在地球上,繞行一圓形軌道,而此時太空人所受的「重力」=「向心力」(以維持等速圓周運動)。根據  $\Sigma \vec{F} = \vec{F}_g + \vec{N} = m\vec{a}_c = \vec{F}_c$ , 且  $\vec{F}_g = \vec{F}_c$ , 所以太空人所受的N(正向力)=0。而「重力」≠0,且「重力」=「合力」=「向心力」(皆不為零)(第10題)。因此,太空人「失重」時僅受「重力」一個外力,「正向力」已經消失,而「向心力」則是外力的**結果**,不是另一個外力**來源**(第11題)。

**常見錯誤:** 許多同學誤以為太空人失重時,「合力=0」(第10題),有人解釋說“因為失重時感受不到任何力”,這種解釋的錯誤在於站在太空梭內觀察,但此位置不是「慣性座標」( $a \neq 0$ ),所以  $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$  無法成立(違反牛頓定律的限制條件)。也有人說“∵重力=向心力,∴合力=0”,透露出「重力」與「向心力」相互抵銷的誤解,不理解兩者是因果關係(「重力」提供所需的「向心力」),而非兩種力。學生對於太空人受力**來源與結果**的混淆,在第11題時再次顯現。許多學生誤以為,太空人除了受到「重力」之外,還受到「向心力」,或「合力」的作用。因此,需要澄清「向心力」或「合力」,都是力圖的**結果**,而非**原因**。

## 不當推理及有效策略

綜合以上剖析，歸納出以下幾項結論：

首先，在畫力圖時，應根據物體的**直接外在來源**來判斷，如：「彈力」是彈簧的內力，彈力只會使彈簧上下伸展，但不會導致整體彈簧的彈跳（第 1、2 題）。而「向心力」則是外力總合的結果，不是另外一個外力來源（第 11 題）。至於「正向力」則是**被動力**，方向根據接觸面確定（相垂直），但大小需由加速度反推：根據直接外在來源  $\Rightarrow$  畫力圖（方向），另根據速度變化確定「加速度」（ $\bar{a} = \Delta\bar{v} / \Delta t$ ），由「加速度」反推「合力」（ $\Sigma\bar{F} = m\bar{a}$ ），最後由「合力」推出「正向力」大小（第 3, 9, 10 題）。因為推導流程的迂迴，導致此類型被動力的推論困難，除了正向力之外，還有張力、靜摩擦力，都屬於被動力。

其次，學生在本單元所出現的概念困難，主要來自日常經驗（或生活用語）的影響，誤導學生做了過度膚淺的推理，違反了物理定律的規範。例如：太空人「失重」，學生若站在太空艙內觀察，則會以為太空人維持靜止  $\Rightarrow$  [合力=0]，忽略了觀察者需在「慣性座標」的限制。另外，也可能以為[失重=失去重力]，用語上的誤解，造成錯誤（第 10 題）。還有，彈起的力不是彈力，而是正向力，也與日常經驗（語言）相衝突（第 1 題）。而電梯上升時，體重不一定增加（第 9 題）；量體重與地面是否有彈性（如地毯上）無關（第 8 題），可能也都與日常經驗（錯覺）相衝突。因此，推導物理概念時，雖然需結合日常經驗，以利概念的具體化，但推理時仍需抱著更嚴謹的態度，顧及科學定律的規範，才能順利得解。

最後，本單元中難度最低的第 6, 7 題，透露出現行教材（教學重點）所獲得的成果，包含：垂直拋體在頂點時，速度與加速度的不同（第 6 題）；以及力圖的**幾何分析**（向量分解）能力（第 7 題），這兩題的答對率，均明顯超過其它試題。因此，物理概念試題對學生的挑戰，可能不在基本數學能力，而是概念內涵的掌握。而概念試題的難度，也與情境是否熟悉有密切關係。例如：同樣是判斷彈簧系統加速度，第 6 題的難度就遠低於第 3, 4 題。因此，為了促進學生的概念理解，提供大量不同情境的試題以供練習，是很重要的。

註：1. 第 1 題參考 I. Beatty, et al., *Ame. J. Phys.* 74, 31 (2006).;  
第 8 題參考 P. Hewitt, *Phys. Teach.* 52, 396 (2014).

註：2. 「重量」=「秤重」的操作型定義，參閱 R. Taibu, *Phys. Teach.* 55, 34 (2017).