

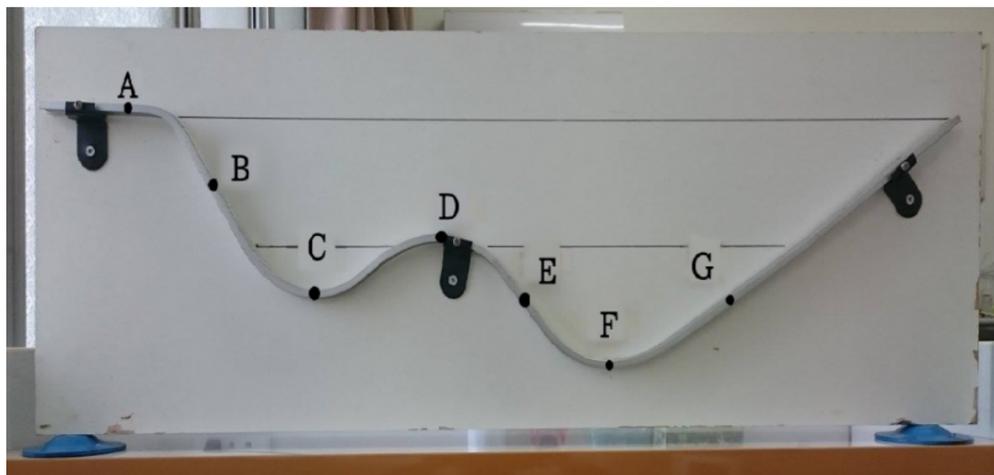
F=ma 之概念推理、盲點 詳解與困難剖析

學生作答後，教師的講解不僅需包含正確解答與推理，還須包含常犯的可能盲點（或迷思），才能更積極地落實學生的概念發展。每題的正確答案、常見錯誤選項、及試題難度排序，列於表 1。各題的詳細剖析如下：

表 1: 各題之正確答案、常見錯誤、及題目間之難度排序

題號	1	2	3	4	5	6	7	8	9
正確答案	B	A	C	C	D	B	A	C	A
常見誤答	C	B, E	A	B	C, A	C, D	C	無	D, E
難度排序*	9	3	6	2	4	5	6	8	1

* 難度排序為 9 題之間的比較，數字越小代表難度越高



〈第 1 題〉

正確觀念：「畫力圖」需釐清力的來源為外在的作用者，在 B 點時球受到地球的重力 (↓) 與軌道的正向力 (↗)，共兩個作用來源 (如圖 2)。

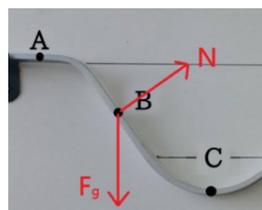


圖 2: 力的來源

常見錯誤：誤以為物體往前衝會有衝力 (↘) 而選擇 (C)，這種物體運動產生「內力」的迷思，違反了「力的來源」，需有「外在作用者」的定義。

〈第 2 題〉

正確觀念：根據「加速度」的效果來判斷，包含改變速度的大小 (切線加速度) 與方向 (法線加速度)。球在 C 點時「切線加速度」= 0，因為沒有切線 (→或←) 的外力來源 ($\Sigma \vec{F} \Rightarrow \vec{a}$)；但「法線加速度」(↑) ≠ 0，因為球正在轉彎且有速度 ($a_r = v^2/r \neq 0$)。

常見錯誤：許多學生誤選了 $\vec{a} = 0$ ，透露出他們僅聯想到切線分量，忽略了法線分量；也有學生解釋「因為 C 點為平衡點，所以「加速度」= 0」。因此，「平衡點」的術語，在此情境中成為「濫用平衡」的原因。而選擇 (B)(↓) 的學生，可能僅考慮到重力，忽略了軌道正向力的影響。

〈第 3 題〉

正確觀念：可依循上題的推理途徑，分為「切線」與「法線」兩個分量來判斷 G 點的「加速度」方向。因在 G 點之軌跡為直線，故沒有「法線加速度」，但因球速漸減，所以有切線分量，且加速度 (↖) 與速度反向 (如圖 3)。

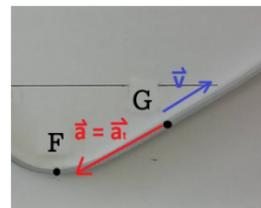


圖 3: 加速度的效果

常見錯誤：誤選 (A)(↓) 的原因，是僅考慮到重力加速度，忽略了軌道作用力的影響。

〈第 4 題〉

正確觀念：須先確定加速度的方向，進而推得合力方向，才能比較出在 D 點的重力及正向力之大小。而加速度涵蓋切線與法線兩個分量，故推導流程為

$$\vec{a}_t + \vec{a}_c \Rightarrow \vec{a} \Rightarrow \Sigma \vec{F} \Rightarrow \vec{F}_g \ \& \ \vec{N}$$

因為 D 點沒有切線方向 (→或←) 的外力來源，但軌跡有改變方向，所以加速度為法線方向 (↓)，因此合力 (↓)，且因合力來源僅包含重力 (↓) 與正向力 (↑) 兩項，故向上的正向力應小於向下的重力 (如圖 4)。本題的「推導流程」不但複雜，且與「因果關係」相反 (由 $\vec{a} \Rightarrow \Sigma \vec{F}$)，逆著因果關係的推導，使得本題難度頗高。

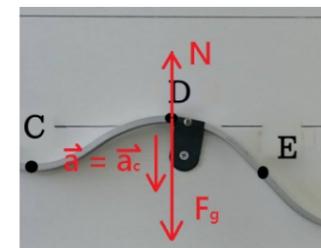
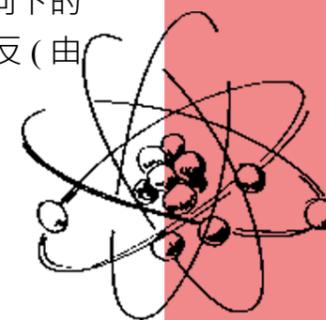


圖 4: 力的因果與推導



常見錯誤：許多學生誤選了上下兩力相等，再次透露出他們「濫用平衡」的盲點。

〈第 5 題〉

正確觀念：探討重力 (mg)、正向力 (N)、向心力 (F_c) 三者的關係，首先需根據「力的來源」畫力圖，包含 mg (\downarrow) 與 N (\uparrow)，推得「合力」，透過合力推出 $m\bar{a}$ ，且其中的 \bar{a} 僅有法線 (向心) 分量，所以合力 = 向心力 ($\Sigma\bar{F} = N - mg = m\bar{a}_c = \bar{F}_c$)，故 $N = F_c + mg$ 。

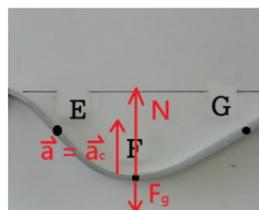


圖 5：被動力的推導

正向力 (N) 為一種「被動力」，其大小隨運動而變，所以須由加速度來反推 $\bar{a} \Rightarrow \Sigma\bar{F} \Rightarrow \bar{N}$ (如圖 5)。

常見錯誤：在加總「合力」時，沒考慮到 mg 與 N 是反向，應該相減而不是相加，而選擇 (C)。另外，也可能直接認定正向力等於重力 ($N = mg$) (選項 A)，忽略了此一等號關係僅適用於物體沒有加速度 ($\bar{a} = 0$) 的限制條件。

〈第 6 題〉

正確觀念：聚焦於「合力」與「向心力」間之關係，因為加速度僅有法線 (向心) 分量，所以，「合力」=「向心力」。

常見錯誤：(C) 或 (D)，顯示出這些學生誤認為「向心力」為物體受力的來源之一，導致求「合力」時將向心力與重力相加減。本題可以釐清「向心力」的因果定位，「向心力」並不是「力」的原因，而是力加總的結果。

〈第 7 題〉

正確觀念：球沿著 $D \rightarrow E \rightarrow F$ 曲線的速度變化，可透過「力學能守恆」推導，因為球的高度漸減，位能漸減，所以球速漸增，此項解答也可透過日常經驗獲得，應該算是相當基本的題目，但答對率卻不如預期。

常見錯誤：許多學生誤選 (C)，有人解釋說「因坡度先陡後平，所以速度先增後減」。當學生注意到「坡度」而忽略「高度」時，他們可能已將「速度變化」與「切線加速度變化」混為一談了。

〈第 8 題〉

正確觀念：「切線加速度變化」，需透過「力圖分析」，根據坡度先陡後平的變化，切線加速度是由「重力」的切線分量提供。在 $D \rightarrow E$ 的過程，重力與切線之夾角 (θ) 逐漸縮小，故切線分量漸增，反之 $E \rightarrow F$ 之夾角則漸增，切線分量漸減，所以切線加速度應「先增後減」(如圖 6)。令人驚奇的是，此題涉及幾何的分析，過程不算單純，卻難不倒大多數的學生，透過不同學校的測試，此題的難度竟然都低於速度的判斷 (第 7 題)。

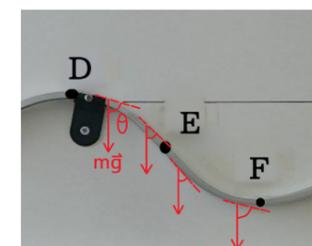


圖 6：切線分量的變化

常見錯誤：本題未發現有集中的錯誤選項。

〈第 9 題〉

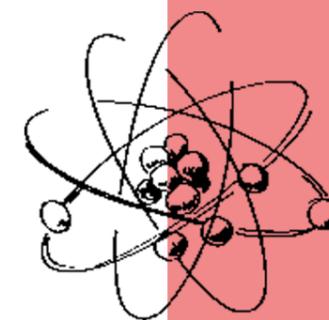
正確觀念：根據速度的變化 (第 7 題) 代入公式 $a_c = v^2/r$ ，便可推得「法線加速度」也是「漸增」。推導此題的數學應算是相當簡單，但出乎意料地，此題竟然是所有 9 題中最難的題目，答對率遠低於第 7 或第 8 題。

常見錯誤：誤認為「切線加速度」與「法線加速度」具有互補的關係，故法線加速度為「先減後增」，與切線的變化相反，顯示出他們濫用了「守恆」的策略。「切線」與「法線」分量，雖然相互垂直，互相獨立，但不會互補，因為過程中「加速度」並不守恆。也有學生選擇 (E)，其中的解釋為「因為法線加速度是用來改變方向，因軌道的曲率維持不變，所以法線加速度保持定值」，顯示出他們只考慮了 $a_c = v^2/r$ 公式中的 r ，忽略了速率。

不當推理及有效策略

綜合以上，可以歸納出以下幾點不當推理，及有效的策略：

- (1) 迷思作祟，如：「衝力」的迷思 (第 1 題)，根據日常經驗來作答，卻不一定符合科學定義。物理的許多術語，如「力」、「加速度」，是無法透過生活經驗或感官來理解的，需要熟悉科學的規範，包含因果關係 (來源與效果)。



- (2) 推理方向錯誤，選擇了不適用的“守恒”策略，如「平衡」的濫用(第 2, 4 題)，「加速度」守恒(第 9 題)。
- (3) 推理方向正確，但考慮不夠周全，例如：僅考慮切線加速度，忽略了法線(第 2, 4 題)；僅考慮重力，忽略了正向力(第 2, 3 題)；僅考慮大小，未考慮方向(第 5 題)。
- (4) 對術語的理解不夠周詳，也導致思考的不周全，如： $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ 中之 $\Sigma \vec{F}$ 代表什麼「力」？「重力」、「正向力」、「向心力」、「合力」之間的因果關係為何？(第 5, 6 題)；「加速度」(\vec{a}) 有哪幾種？彼此關係又如何？(第 2, 8, 9 題)。看似簡單的公式，每個符號的背後，卻有很多細節需要澄清。
- (5) 「觀念」與「公式」不應該切割，透過觀念推理，能夠體會公式的意義與用法，而藉由公式來推理，可使觀念的判斷更加嚴謹而精確。例如：本單元中最難的第 4, 9 題，都是需要主動連結觀念與公式的。

以上五點透露出「概念推理」所需避免的不當推理，及需加強的有效策略，不但在「牛頓定律」適用，也可運用在其它單元中，體認這些要點，便能逐漸掌握理解物理的竅門。

