

觀念物理一解答

彈跳線圈探討磁學

詳解與困難剖析

本單元所有試題的正確答案、常見錯誤、及難度，如表1所示：

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	12
正確答案	A	B	F	D	F	E	A	C	B	C	B	B
常見誤答	X	X	C	A	A	A	C	A	A、C	A、B	A、C	A
難度	易	易	中	難	難	難	中	難	中	難	難	難

第1、2題

正確觀念：磁鐵上方的線圈通電後，之所以會彈升，是因為磁力的作用(如圖1)。根據「安培右手」定則(電生磁)，如圖2所示，4根手指順著線圈的電流方向，則拇指可顯示電流所產生的磁場為向下($\mathbf{B}:\downarrow$)。因此，線圈相當於一個N極向下(S極向上)的磁鐵(第2題)(如圖3)。

線圈得以彈升，必受到下方磁鐵相斥的磁力，根據「同極相斥」，可知下方磁鐵的N極應向上(第1題)(如圖3)。根據推導流程，需先推出第2題，才能進而推出第1題。

常見錯誤：多數學生可以順利運用「安培右手」，及「同極相斥」兩個原理來分析這兩題。少數錯誤的理由是：(1)將電池的正負極，與磁的NS極混為一談，以為電池正極在上，線圈所產生的N極也在上(第2題)；(2)也有少數人誤以為電流是由電池的負極流出。第2題的誤判，也會導致第1題的錯誤。



圖1：通電後線圈彈升

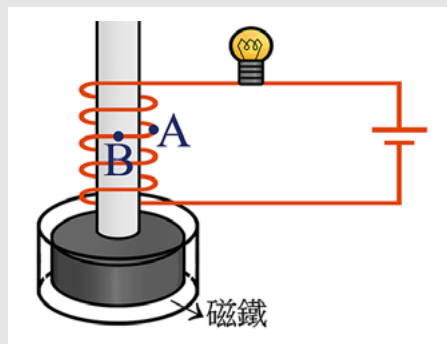


圖2：彈跳線圈器材裝置

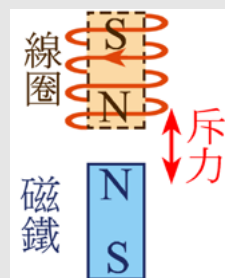


圖3：安培右手判斷磁極

第 3~6, 8 題

正確觀念：造成線圈彈升的有效**磁場方向**，應該為何？需透過「**右手開掌**」定則，如圖 4 顯示出：電流 (I)、磁場 (B)、及磁力 (F_B) 之間的方向關係。此定則闡明：一導線電流 (I)，受到外加磁場 (B) 時，會產生磁力 (F_B) 作用於導線上。因此， I 、 B 、 F_B 之間的因果關係是， I 及 B 為兩個獨立的原因，會造成 F_B 的結果 (第 8 題)。因為其中的電流 (I) 會「電生磁」，受到另一個外加磁場 (B)，產生磁力 (F_B) 的作用，且磁力方向必垂直於電流 (I) 與 (外加) 磁場 (B) 的方向。

透過「右手開掌」分析線圈的 I 、 B 、 F_B 時，通常須將線圈分割成每一個點來探討。以圖 2 線路之 A 點為例，根據線路圖中的電池方向可知，A 點的電流方向為射出紙面 ($I: \odot$) (第 3 題)，又因線圈彈升得知磁力向上 ($F_B: \uparrow$)，根據右手開掌定則 (如圖 5 所示)，可由**磁力 (結果) 反推**，磁鐵需在線圈 A 點處提供的磁場 (原因) 方向為向右 ($B: \rightarrow$) (第 4 題)。

同理，在 B 點處因電流為向左，為了提供向上磁力，所以磁鐵須提供射出紙面的磁場 ($\because I: \leftarrow$ 且 $F_B: \uparrow, \therefore B: \odot$) (第 5 題)。綜合 A、B 兩點的分析結果，如圖 6 所示，推測出此電流線圈各點，皆需受到從圓心向外的 (徑向) 磁場 (如圖 7 所示)，才能產生向上的磁力 (第 6 題)。

值得一提的是，雖然磁鐵的 N 極在上、S 極在下，但它所造成的磁力線 (磁場)，不僅有向上的方向，而是會彎曲往外 (如圖 8)，因而可以提供線圈彈升，所需的向外磁場方向。

常見錯誤：第 3 題，多數同學雖然能判斷，由上往下看線圈時，其電流是順時針方向，但是卻不一定能正確選出 A 點電流為射出 (\odot)，超過一半的同學選擇 \downarrow 或 \leftarrow 。學生雖然熟悉表達向量的箭頭符號 (如： \uparrow 、 \downarrow 、 \leftarrow 、 \rightarrow)，卻對 \otimes 與 \odot 感到陌生。對於三度的立體空間而言，整合上述 6 個符號，才是完整的向量表示工具。另外，令人意外的是，居然有不少的學生是透過「安培右手」或「右手開掌」來判斷電流的方向，顯示出他們尚未釐清這兩定則的目的，就濫加引用。

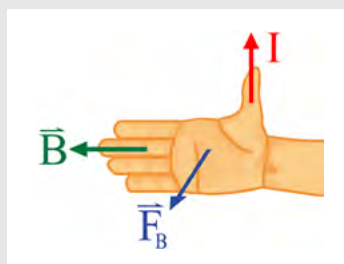


圖 4: 右手開掌定則

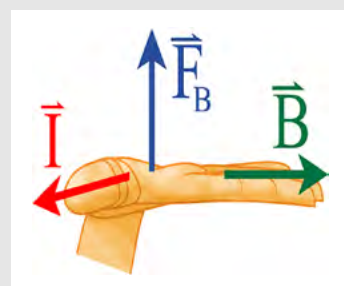


圖 5: A 點磁場推理

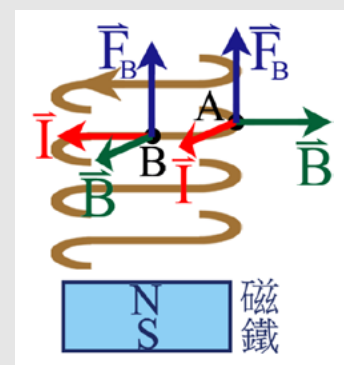


圖 6: A、B 點磁場推理

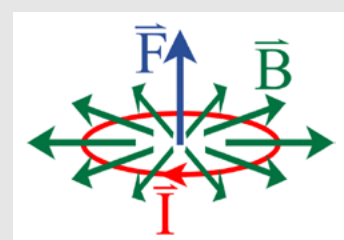


圖 7: 向外的磁場分量

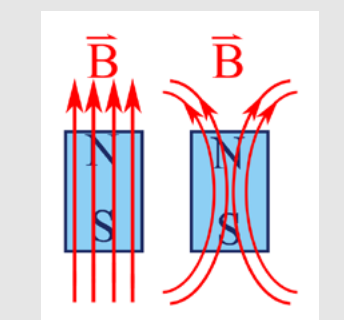


圖 8: 磁極磁力線分布

至於判斷有效**磁場方向** (第 4~6 題)，則難度相當高。常見的盲點包含：

1. 忽略「右手開掌」，直接由“磁力相斥，所以線圈與磁鐵的**磁場需相斥**”，推得磁鐵磁場應向上，並應用到線圈的 A、B 點、及所有位置。這些同學已經將“磁場”與“磁力”做了不當的連結。根據「右手開掌」，造成磁力的磁場 (或磁力線)，不可能彼此平行，而是彼此互相垂直的 (如圖 5、圖 6)。
2. 直接根據“磁鐵 N 極在上，因此磁場向上”，忽略了磁鐵的磁場 (磁力線)，在離開磁鐵後會彎曲的性質，兩者的區別如圖 8 所示。持有這項迷思的同學，甚至會無法理解試題中，“**有效**”磁場方向所指為何？因此，物理概念的不足，也會導致試題閱讀的困難。
3. 也有人誤以**線圈**的磁場，來回答**磁鐵**的磁場，直接根據電流方向，透過「安培右手」，得到磁場方向，顯示出這些人對於術語所**指認對象**的誤解 (或漠視)。
4. 有些人雖然能使用「右手開掌」，但卻未能由已知的向上磁力 (結果)，來反推磁場 (原因)，反而是將磁場當成已知，磁力當成未知。以 A 點為例，作答解釋如：“電流射出、磁場向上、力向左”，顯示出這些人未能掌握反推 (由結果推原因) 的推理策略。

對於「右手開掌」的推理困難，也可能根源於對相關變因 (I 、 B 、 F_B) 的「因果關係」，感到混淆所致 (第 8 題)。許多人無法掌握其中 I 與 B 是兩個獨立變因，有人解釋說：“因為電生磁，磁具磁場與磁力”，透露出他將「磁場」與「磁力」做了不當的連結。也有人解釋“磁場可用磁力線，越密集磁力越強，而電流會「電生磁」，所以推知電流造成磁場和磁力”。磁力線只能代表磁場的方向與大小，不能代表磁力，而具有磁場的空間，卻不一定有磁力。

特別提醒的是，有許多選項正確的同学，卻抱持著錯誤的概念，例如：“其中的 I 造成 B ， B 可產生 F_B ，所以 I 、 B 可產生 F_B ”。需要澄清的是， I (線圈) 雖然會產生 B (電生磁)，但所產生的 B (線圈的 B)，並非「右手開掌」中所涉及的 B (磁鐵的 B)。

第 7、9 題

正確觀念：綜合以上各題，造成線圈彈升的原因，僅涉及「電生磁」（安培右手定則），進而與下方磁鐵產生磁力。雖然彈升過程中，線圈所受到磁鐵的磁場大小會改變，進而造成「磁生電」，但此現象並非彈升的原因，而是彈升後的結果，會造成向上磁力大小的變化。因此，造成線圈彈升的原因僅涉及「電生磁」原理（第 7 題）。

「電生磁」與「磁生電」的不同在於，「電生磁」無論是穩定或變化的電流，都會產生磁場，而「磁生電」則必須在變化中的磁場，才會產生電流。既然線圈彈升的原因僅涉及「電生磁」，就與電流是否穩定無關，無論是剛通電的瞬間（電流瞬間有變化），或是電流穩定時，只要電流的大小一致，則彈升的高度就相等（第 9 題）。

常見錯誤：第 7 題，多數學生雖然接受線圈彈升，是因為「電生磁」原理，但卻也約有半數，同時認為有「磁生電」的原因。此一誤解也顯示在第 9 題的作答，將近一半的人誤選了 A 或 C，認為等電流穩定時，線圈終究會掉回原位。有人解釋：“因為只有當 **B** 改變時，才會產生 F_B ”；或“根據冷次定律，產生電流只是一瞬間，所以上去後就落下”。這些解釋都透露出「磁生電」的特徵，違反本單元的現象。

第 10~12 題

正確觀念：磁鐵上方置入 1 根鐵棒，會使得線圈彈升更高，因為鐵棒屬於鐵磁性物質（包含鐵、鈷、鎳），會顯著增強磁鐵的磁場大小，磁場增強使得線圈受到的磁力增大，故彈升高度提高。至於鋁棒及木棒，則是非鐵磁性物質，兩者幾乎無法改變磁鐵的磁場，故鋁棒與木棒，幾乎不會改變線圈的高度（第 10 題）。因此，線圈的彈升高度，僅取決於中央材料的導磁性，與其導電性無關（第 11 題）。

然而，出乎意料的是，將中心鐵棒由 1 根增為 2 根時，線圈不但沒有跳得更高，反而**原地不動**（第 12 題）。其中的玄機，需藉由「**右手開掌**」定則，透過第 6 題的結果得知，線圈彈升需要由圓心往外的磁場方向（圖 7）。鐵棒由 1 根增為 2 根，不僅會增強磁鐵的磁場大小，同時也會改變其方向，讓磁力線（磁場）更加往上聚集，因而減少了往外的磁場分量（如圖 9）。有效的磁場方向（往外）減少，導致向上的磁力減小，不足以抵抗重力，故通電後線圈原地不動。

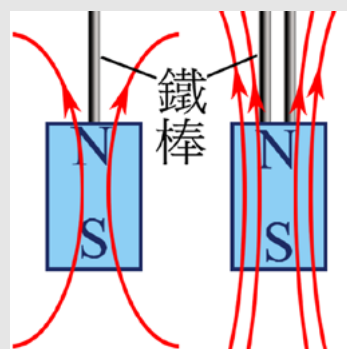


圖 9: 鐵棒改變磁場方向

線圈無法彈升 (第 12 題)，也可透過「磁極磁力」。磁鐵上方加了鐵棒，不僅增強磁鐵的強度，也會延伸磁鐵 NS 極的空間範圍 (如圖 10 所示)，原有線圈的磁極維持不變，但因磁鐵 NS 極的向上延伸而被包住。因此，仍然能符合「同極相斥、異極相吸」的原理。

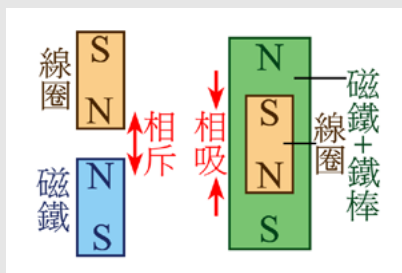


圖 10: 鐵棒延伸磁極範圍

常見錯誤：11 題，多數同學雖然認同線圈彈升高度，與材料的**導磁**性有關，但同時有許多同學認為，**導電**性也會影響。有人解釋：“導電性好 → 電流大 → 電生磁大”，事實上，中央材料並未通電，沒有外加電壓，就不會有電流，故與材料之導電性無關。

此概念的誤解，也顯示在第 10 題的作答上，超過一半的人，誤認為鋁棒造成線圈的彈升效果，會明顯高於木頭。而所持的理由，則多連結到「導電性」的好壞。如：“導電性：鐵 > 鋁 > 木”所以 $h_{鐵} > h_{鋁} > h_{木}$ 。事實上，純鋁的導電性是純鐵的 3 倍以上，而本現象與材料的導電度無關。

至於鐵棒增加，線圈為何不但沒有彈更高，反而原地不動 (第 12 題)？對於這個難題，多數人認同鐵棒的數量會改變磁場大小，不會影響磁場方向，但卻無法合理解釋：磁場變大，彈力為何沒有隨著增強？不過，也有一些人試著透過磁場方向的改變，來解釋線圈不動的原因。例如：“兩根鐵棒產生的磁極，方向相反，會互相抵消”，可惜這種推理並不符合現有的科學原理。作者雖然在第 5、6 題，提供暗示，試圖引導出“向外磁場才是造成彈升的有效磁場”(如圖 6、圖 7) 的概念，但只有極少數的學生能夠引用此概念，來解釋線圈不動的神奇現象。

註 1：所有的黑體英文字母，代表向量，包含大小與方向。