



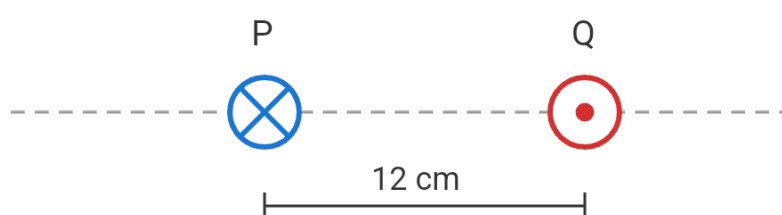
中六 - 物理

磁場、感應與電路挑戰

姓名： _____

班別： _____

1. 兩條非常長、彼此平行的直導線 P 和 Q 垂直於紙面，相距 12 cm。P 載有 2.0 A 電流，方向為入紙面；Q 載有 6.0 A 電流，方向為出紙面。



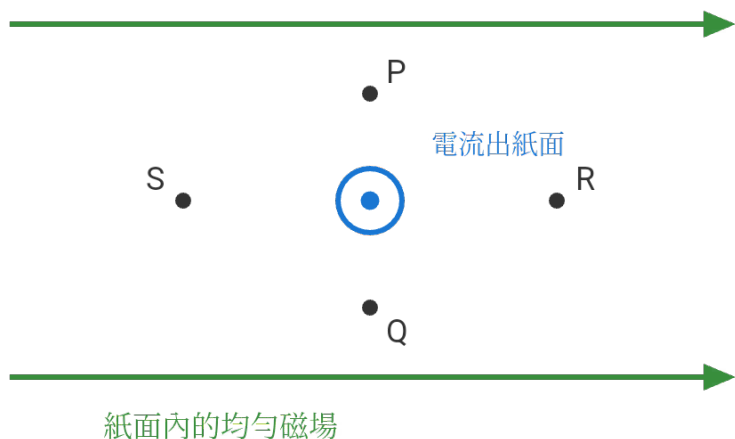
2.0 A 入紙面

6.0 A 出紙面

忽略地球磁場，在連接兩條導線的直線及其延長線上，合成磁場在哪一點為零？

- A. 距離 P 6.0 cm，位於遠離 Q 的一側
- B. 距離 P 3.0 cm，位於 P 和 Q 之間
- C. 距離 Q 6.0 cm，位於遠離 P 的一側
- D. 距離 P 4.0 cm，位於 P 和 Q 之間

2. 一條很長的直導線載有 5.0 A 穩定電流，方向為出紙面。導線置於磁通密度為 $2.0 \times 10^{-5}\text{ T}$ 的均勻磁場中，均勻磁場方向在紙面內並向右。P、Q、R 和 S 是導線周圍的四個點。



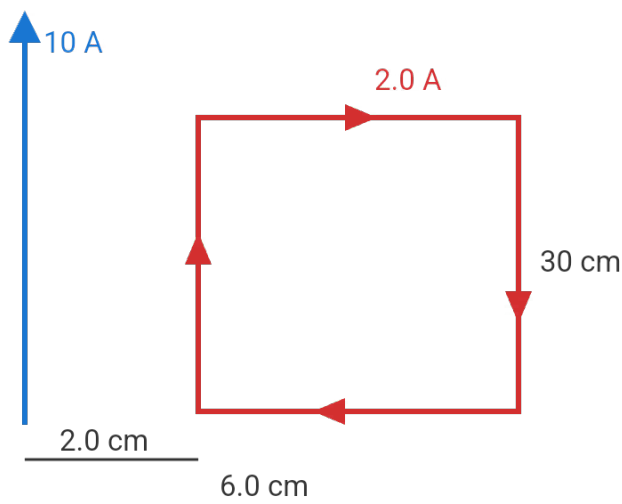
從導線向哪個方向可以使合成磁場為零？零磁場點距離導線多遠？

- A. 向 P 方向，距離導線 5.0 cm
- B. 向 Q 方向，距離導線 5.0 cm
- C. 向 P 方向，距離導線 10 cm
- D. 向 R 方向，距離導線 2.5 cm

3. 一條很長的空心螺線管每米密繞 2000 匝，載有穩定電流 I 。另一條獨立的很長直導線也載有相同的電流 I 。距離直導線多少垂直距離時，磁通密度會等於螺線管中心的磁通密度？

- A. $8.0 \times 10^{-5}\text{ m}$
- B. $1.6 \times 10^{-4}\text{ m}$
- C. $4.0 \times 10^{-5}\text{ m}$
- D. 除非給出 I 的數值，否則不能求出

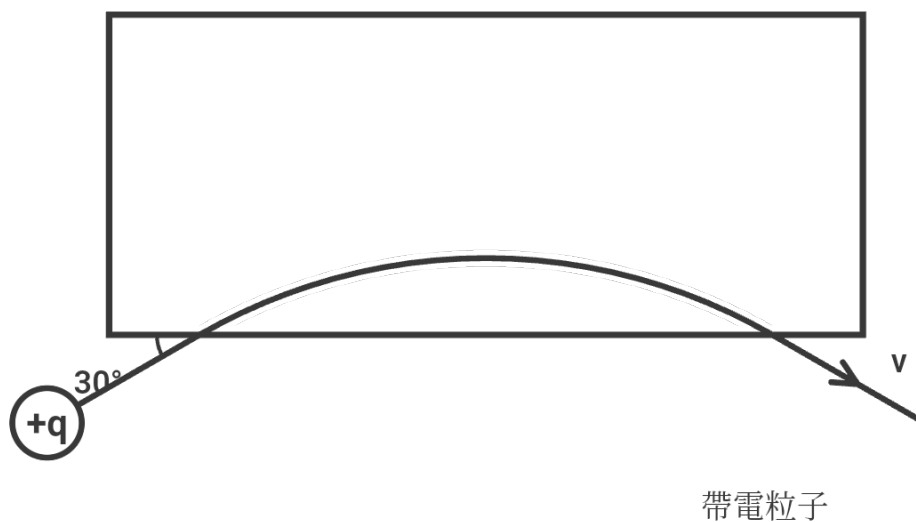
4. 一條很長的直導線載有 10 A 電流，方向向上。一個矩形線圈與導線位於同一平面，並以圖示方向載有 2.0 A 電流。兩條與導線平行的邊各長 30 cm，它們與導線的垂直距離分別為 2.0 cm 和 6.0 cm。



線圈所受合成磁力的大小和方向為何？

- A. 4.0×10^{-5} N，朝向直導線
- B. 4.0×10^{-5} N，遠離直導線
- C. 8.0×10^{-5} N，朝向直導線
- D. 6.0×10^{-5} N，遠離直導線

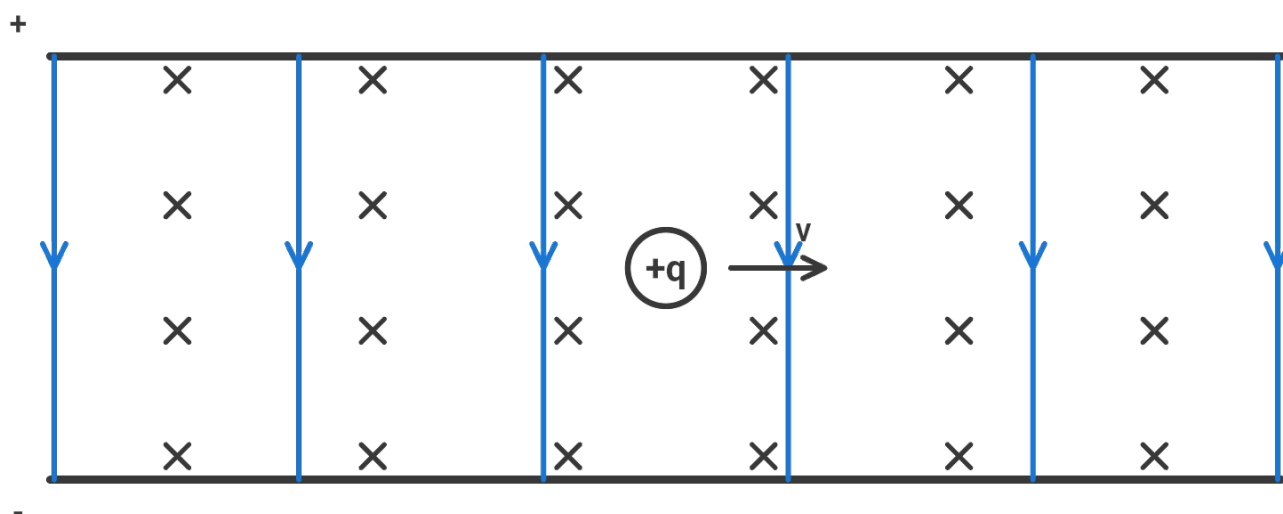
5. 一個帶正電粒子從有限範圍的均勻磁場區域的下邊界進入，沿相對水平線向右上 30° 的方向運動。粒子在區域內沿圖示的圓弧運動，然後再次從下邊界離開。重力可忽略。



以下哪項正確描述磁場方向及粒子離開時的速率？

- A. 磁場指向紙面外，離開時的速率等於進入時的速率
- B. 磁場指向紙面內，離開時的速率等於進入時的速率
- C. 磁場指向紙面外，離開時的速率小於進入時的速率
- D. 磁場指向紙面內，離開時的速率小於進入時的速率

6. 一個速度選擇器由兩塊平行金屬板組成，兩板相距 4.0 cm 。在同一區域內有磁通密度為 0.025 T 、方向為入紙面的均勻磁場。一束正離子在兩板之間水平向右運動。



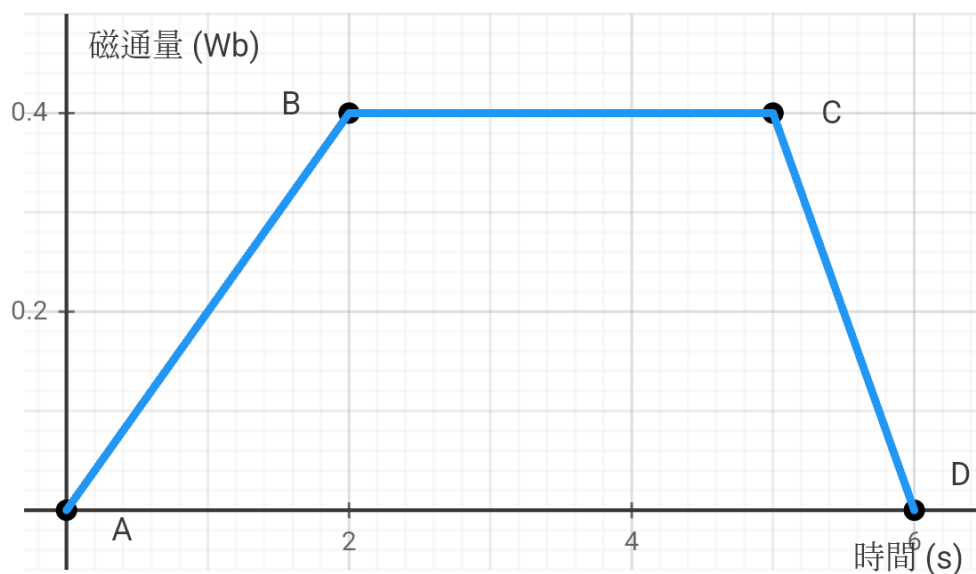
若要使速率為 $3.0 \times 10^5\text{ m s}^{-1}$ 的離子通過而不偏轉，兩板之間必須施加多大的電勢差？重力可忽略。

- A. 300 V
- B. $7.5 \times 10^3\text{ V}$
- C. $3.0 \times 10^4\text{ V}$
- D. $1.9 \times 10^5\text{ V}$

7. 一個扁平探索線圈有 50 匝，截面面積為 4.0 cm^2 。線圈平面與磁通密度為 0.80 T 的均勻磁場垂直。然後在線圈的一條直徑上，在 0.050 s 內把線圈轉過 180° ，而磁場保持不變。線圈產生的平均感生電動勢是多少？

- A. 0.64 V
- B. 0.32 V
- C. 1.28 V
- D. 0.064 V

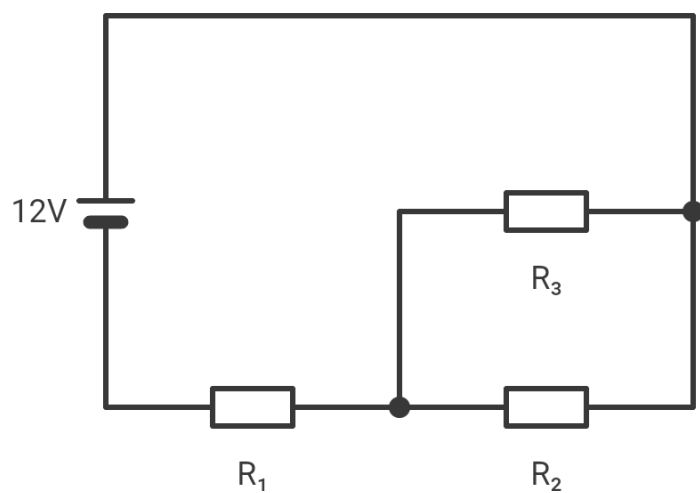
8. 一個有 100 匝的線圈置於變化的磁場中。下圖顯示穿過線圈**每一匝**的磁通量如何隨時間變化。



以下哪項正確？

- A. 在 5 s 至 6 s 期間，感生電動勢為 40 V，方向與 0 s 至 2 s 期間相反
- B. 在 5 s 至 6 s 期間，感生電動勢為 40 V，方向與 0 s 至 2 s 期間相同
- C. 在 5 s 至 6 s 期間，感生電動勢為 20 V，方向與 0 s 至 2 s 期間相反
- D. 在整個 6 s 期間，感生電動勢保持在 20 V

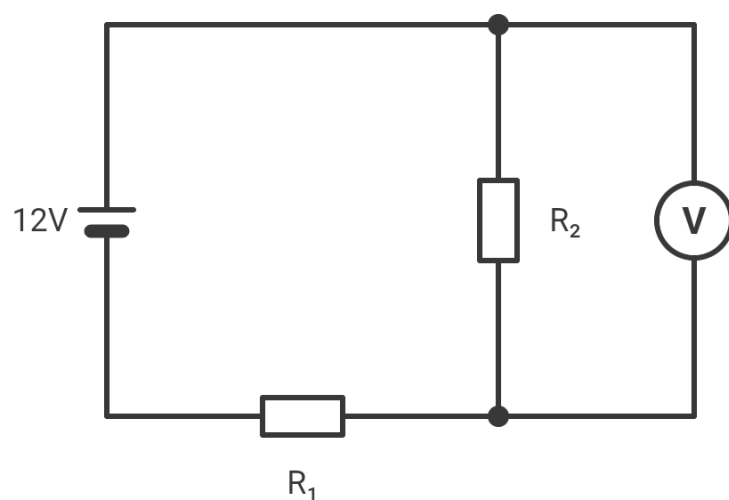
9. 在下圖電路中，電池的內電阻可忽略， $R_1 = 4\ \Omega$ 、 $R_2 = 12\ \Omega$ 和 $R_3 = 6\ \Omega$ 。



其後 R_2 發生故障並變成開路。 R_1 兩端的電勢差如何改變？

- A. 減少 1.2 V
- B. 增加 1.2 V
- C. 減少 2.4 V
- D. 保持不變，仍為 6.0 V

10. 在下圖電路中， R_1 和 R_2 都是 $10\text{ k}\Omega$ ，而電動勢為 12 V 的電池內電阻可忽略。接在 R_2 兩端的伏特計**並非**理想伏特計，其電阻為 $20\text{ k}\Omega$ 。



伏特計的讀數是多少？

- A. 4.8 V
- B. 6.0 V
- C. 7.2 V
- D. 3.6 V

答案

1 A

很長直導線產生的磁通密度為 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ ，因此電流較大或距離導線較近時，磁場較強。

由於兩個電流方向**相反**，在兩條導線**之間**的磁場方向相同，不能互相抵消。只有在兩條導線**外側**才可能抵消，而且零磁場點必須位於電流**較小**的導線 P 一側，讓較短的距離補償較小的電流。

設零磁場點在 P 遠離 Q 的一側，距離 P 為 x 。它距離 Q 為 $x + 12$ ：

$$\frac{\mu_0(2.0)}{2\pi x} = \frac{\mu_0(6.0)}{2\pi(x + 12)}$$

$$2.0(x + 12) = 6.0x$$

$$2.0x + 24 = 6.0x$$

$$4.0x = 24$$

$$x = 6.0$$

所以合成磁場在 P 遠離 Q 的一側、距離 P 6.0 cm 的位置為零。

2 A

要使磁場抵消，導線本身產生的磁場必須與均勻磁場**大小相等、方向相反**，即導線的磁場必須指向**左方**。

應用**右手握線規則**：電流由紙面向外時，磁場線以逆時針方向圍繞導線。在導線正上方，即 P 的位置，磁場切線方向向**左**，正好可以抵消向右的均勻磁場。在導線下方，磁場方向向右；在 R 和 S 位置，導線的磁場是垂直方向，因此不能抵消水平磁場。

使用 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ 求距離：

$$\begin{aligned} r &= \frac{\mu_0 I}{2\pi B} \\ &= \frac{(4\pi \times 10^{-7})(5.0)}{2\pi(2.0 \times 10^{-5})} \\ &= \frac{(2 \times 10^{-7})(5.0)}{2.0 \times 10^{-5}} \\ &= \frac{1.0 \times 10^{-6}}{2.0 \times 10^{-5}} \\ &= 0.050 \text{ m} \end{aligned}$$

因此零磁場點位於導線正上方、P 一側，距離導線 5.0 cm。

把兩個磁通密度都以相同的電流 I 表示。

長螺線管中心的磁通密度為 $B_{\text{sol}} = \mu_0 n I$ ，其中 $n = 2000 \text{ m}^{-1}$ 。

很長直導線的磁通密度為 $B_{\text{wire}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ 。

令兩者相等後，電流 I 和 μ_0 會相消，因此答案與電流大小無關：

$$\begin{aligned}\mu_0 n I &= \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \\ n &= \frac{1}{2\pi r} \\ r &= \frac{1}{2\pi n} \\ r &= \frac{1}{2\pi(2000)} \\ r &= 7.96 \times 10^{-5} \text{ m}\end{aligned}$$

所以所需距離約為 $8.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ 。

兩條平行載流導線之間，長度為 l 、距離為 d 的一邊所受的力為：

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d} = \frac{(2 \times 10^{-7}) I_1 I_2 l}{d}$$

與直導線**垂直**的兩條邊，在各位置所受的力方向相反，而且大小互相抵消。因此只需考慮與直導線**平行**的兩條邊。

近的一邊 ($d = 0.020 \text{ m}$) 電流方向與直導線**相同**，所以兩者互相**吸引**：

$$F_1 = \frac{(2 \times 10^{-7})(10)(2.0)(0.30)}{0.020} = 6.0 \times 10^{-5} \text{ N}$$

遠的一邊 ($d = 0.060 \text{ m}$) 電流方向**相反**，所以兩者互相**排斥**：

$$F_2 = \frac{(2 \times 10^{-7})(10)(2.0)(0.30)}{0.060} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ N}$$

兩個力方向相反，所以合力為：

$$F = 6.0 \times 10^{-5} - 2.0 \times 10^{-5} = 4.0 \times 10^{-5} \text{ N}$$

由於近的一邊所受的吸引力較大，合成磁力方向**朝向直導線**。

先找出向心力方向。圓弧向上拱起，表示圓心位於**圓弧下方**。在路徑最高點，粒子的速度水平向右，而磁力必須指向圓心，即**向下**。

對帶**正電**粒子應用 $F = qv \times B$ 。當 v 向右而 F 向下時，利用右手定則可知 B 必須指向**紙面外**。若磁場指向紙面內，磁力會向上，路徑便會向另一方向彎曲。

磁力永遠與速度垂直，因此對粒子**不作功**。粒子的動能及速率在離開磁場時保持不變。

6 A

要使離子沿直線運動，電力必須與磁力大小相等、方向相反：

$$qE = qvB \Rightarrow E = vB$$

電荷量會相消，所以速度選擇器選出的是特定的**速率**，與離子的電荷量和質量無關。

$$E = (3.0 \times 10^5)(0.025) = 7.5 \times 10^3 \text{ V m}^{-1}$$

對平行金屬板， $E = \frac{V}{d}$ 。當 $d = 0.040 \text{ m}$ 時：

$$V = Ed$$

$$= (7.5 \times 10^3)(0.040)$$

$$= 300 \text{ V}$$

因此所需電勢差為 300 V。使用 $E = V/d$ 前，記得先把板間距離換算成米。

7 A

使用法拉第定律和**磁通鏈的改變量**： $\mathcal{E} = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。

先換算面積： $A = 4.0 \text{ cm}^2 = 4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 。

開始時，每匝的磁通量為 $+BA$ 。轉過 180° 後，磁通量方向相反，因此變為 $-BA$ 。所以磁通量的改變量是**兩倍** BA ，而不只是 BA ：

$$\Delta\Phi = 2BA$$

$$= 2(0.80)(4.0 \times 10^{-4})$$

$$= 6.4 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

因此：

$$\mathcal{E} = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$= 50 \times \frac{6.4 \times 10^{-4}}{0.050}$$

$$= 50 \times 1.28 \times 10^{-2}$$

$$= 0.64 \text{ V}$$

法拉第定律指出，感生電動勢的大小與磁通量–時間圖的**梯度**成正比，而梯度的正負決定感生電流的方向：

$$\mathcal{E} = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

由 A 到 B，磁通量在 2 s 內由 0 增加至 0.4 Wb：

$$\mathcal{E} = 100 \times \frac{0.4}{2} = 20 \text{ V}$$

由 B 到 C，圖線是水平的，梯度為零，因此沒有感生電動勢。

由 C 到 D，磁通量在 1 s 內由 0.4 Wb 減少至 0：

$$\mathcal{E} = 100 \times \frac{0.4}{1} = 40 \text{ V}$$

此時磁通量由增加變為**減少**，梯度符號相反。因此根據楞次定律，這段時間的感生電流和感生電動勢方向，與第一段**相反**。

整個 6 s 期間的圖線並非具有固定梯度的直線，所以感生電動勢不會全程保持不變。

發生故障前： R_2 和 R_3 並聯。

$$\begin{aligned} R_p &= \frac{12 \times 6}{12 + 6} \\ &= 4 \Omega \end{aligned}$$

總電阻為 $4 + 4 = 8 \Omega$ ，所以電池提供的電流為：

$$I = \frac{12}{8} = 1.5 \text{ A}$$

因此 R_1 兩端的電勢差為 $V_1 = (1.5)(4) = 6.0 \text{ V}$ 。

R_2 **開路後：**該支路沒有電流通過，只剩下 R_3 與 R_1 串聯。

$$R_{\text{total}} = 4 + 6 = 10 \Omega$$

$$I' = \frac{12}{10} = 1.2 \text{ A}$$

$$V_1' = (1.2)(4) = 4.8 \text{ V}$$

移除一條並聯支路會使總電阻**增加**，主電路電流減小，因此串聯電阻兩端的電勢差也減小：

$$6.0 - 4.8 = 1.2 \text{ V}$$

所以電勢差減少 1.2 V。

真實伏特計會分流，因此必須視為與被量度元件**並聯**的電阻。這就是**電表負載效應**。
 R_2 與伏特計的合成電阻為：

$$\begin{aligned} R_p &= \frac{(10)(20)}{10 + 20} \\ &= \frac{200}{30} \\ &= 6.67 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

現在電路可視為 R_1 與 R_p 串聯，使用分壓定律：

$$\begin{aligned} V &= 12 \times \frac{R_p}{R_1 + R_p} \\ &= 12 \times \frac{6.67}{10 + 6.67} \\ &= 12 \times \frac{200/30}{500/30} \\ &= 12 \times 0.4 \\ &= 4.8 \text{ V} \end{aligned}$$

因此伏特計讀取 4.8 V。這低於未接上伏特計時的 6.0 V。