高中

生活與物理

版

玲　彭永聰　李浩然　林兆斌

4

中生活與物理（第二版）以第一版的內容為基礎重新修訂，能完全符合 2014 年更新的**《物理及評估指引（中四至中六）》**所列明之要求，並加強討論學習物理的各種基本技巧。第二版課本更多切合生活的情景和例子，既能闡述物理學的概念，又能凸顯物理學與日常生活的緊密關係。，第二版課本增添詳盡圖解，更新相片，並應用各式各樣的圖表來幫助學生掌握知識。

共有 10 冊，六冊屬於「必修部分」，四冊屬於「選修部分」。

部分

1 冊 *：熱和氣體
2 冊 *：力和運動
3A 和 3B 冊：波動
4 冊：電和磁
5 冊：放射現象和核能

部分

E1 冊：天文學和航天科學
E2 冊：原子世界
E3 冊：能量和能源的使用
E4 冊：醫學物理學

組合科學（物理）版本。

教材包括課本、實驗手冊和多媒體學習資源。

XFORD
IVERSITY PRESS
津大學出版社
v.oupchina.com.hk

ISBN 978-0-19-944197-6
9 780199 441976

新高中 生活與物理 第二版

4

教師用書

OXFORD 牛津

OXFORD

教師用書

黃小玲　彭永聰　李浩然　林兆斌

4

新高中

生活與物理

第二版

電和磁

多媒體資源

下列多媒體資源讓學生透過不同種類的學習模式來增進知識。

模擬程式 1.1

錄像片段 1.1

- **模擬程式**設互動功能，展示不同的物理現象和實驗。
- **錄像片段**記錄有趣的物理現象，以及實驗的過程和結果。
- **虛擬實驗室**讓學生在虛擬的環境操作實驗儀器。
- **生活中的物理、歷史點滴、物理DIY** 提供額外的文章和錄像，供學生參考。
- **詞語表**列出課本內的物理學詞語，並附以詳細解釋和英文正確讀音。

採用新高中生活與物理（第二版）的學生均獲得登入密碼，可經牛津物理網 (http://www.oupchina.com.hk/physics/chi/) 使用上述多媒體資源。

1 靜電學

我們在這一課會學到

- 電荷的種類
- 起電與放電的方法
- 電場的特性
- 電荷之間的靜電力
- 點電荷周圍，以及平行板之間的電場強度

1.1 電荷與電場

✔ 本節重點
1 兩種電荷
2 藉電子的轉移解釋起電過程
3 電量的單位：庫倫
4 絕緣體與導體
5 起電的不同方法
6 接地
7 電場

→ **錄像片段 1.1** 示範產生這個現象的方法。

起 點 奇妙的電荷

錄像片段 1.1

用毛巾摩擦膠袋（圖 a），然後將膠袋放近鋁罐，再慢慢拉開，鋁罐竟然跟着膠袋移動（圖 b）！

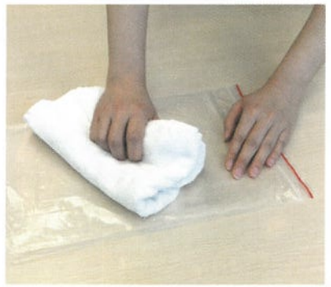


圖 a

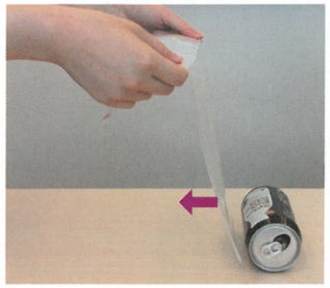
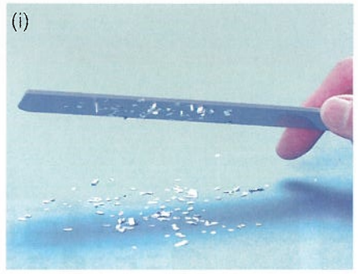


圖 b

為甚麼會這樣呢？ 參看第 6 頁。

你應該有這種經驗：在清涼乾爽的日子梳頭，梳子會把頭髮吸起（圖 1.1a）。同樣地，塑膠棒經羊毛布摩擦後，也能吸引紙屑，甚至流水（圖 1.1b）。

圖 1.1a 梳頭時，梳子吸引頭髮



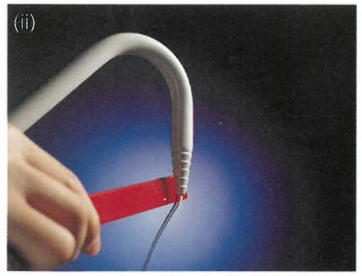


圖 1.1b 塑膠棒經摩擦後，能吸引 (i) 紙屑和 (ii) 流水

靜電學的英文「electrostatics」由「electro」和「static」兩個部分組成，前者由琥珀的希臘文「elektron」演變而成，後者解作靜止，或只有些微移動。

靜電力通常簡稱為「電力」。

早在兩千多年前，希臘人就已發現琥珀經動物皮毛摩擦後，會對附近的物體產生力。今天，我們知道梳子、塑膠棒、琥珀經摩擦後都帶有**電荷**，因而產生**靜電力**。**靜電學**就是研究靜止電荷間相互作用的學問。

電荷 electric charge　靜電力 electrostatic force　靜電學 electrostatics

錄像片段 1.2

→ **錄像片段 1.2** 展示不同薄片經摩擦後互相吸引和排斥的情況。

1 兩種電荷

若以羊毛布去摩擦兩條醋酸酯或聚乙烯薄片，並讓它們互相靠近（但沒有接觸），薄片就會互相排斥（圖 1.1c）。但是，將摩擦過的醋酸酯薄片和聚乙烯薄片放近的話，兩者卻會互相吸引（圖 1.1d）。

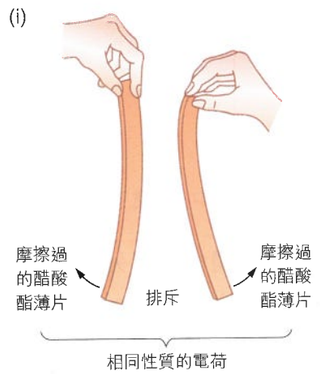
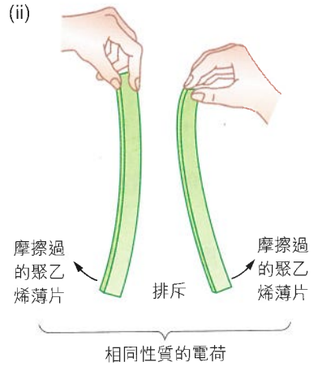


圖 1.1c 同物料的薄片互相排斥



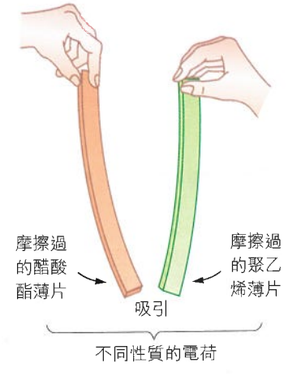


圖 1.1d 薄片互相吸引

以上結果顯示醋酸酯薄片和聚乙烯薄片帶有性質不同的電荷，分別稱為正電荷 (+) 和負電荷 (–)。我們得出以下結論：

電荷同性相斥，異性相吸。

靜電力因電荷之間的相互作用而產生。帶電物體之間的距離愈小，靜電力就愈大；距離不變時，物體上的電荷愈多，靜電力就愈大（圖 1.1e）。

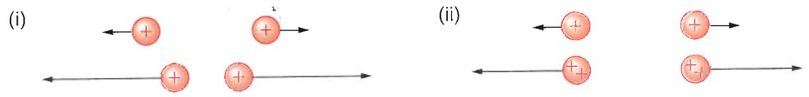


圖 1.1e 當 (i) 距離減小或 (ii) 電荷增加，靜電力就會增加

2 電荷從哪裏來？

物體為甚麼會帶電呢？原因是有些帶電粒子從其他地方轉移到物體，又或者從物體轉移到其他地方。

物質由稱為原子的細小粒子組成。原子的中心是**原子核**（圖 1.1f），由**質子**和**中子**組成，周圍有比它們更細小的**電子**，環繞原子核運行。

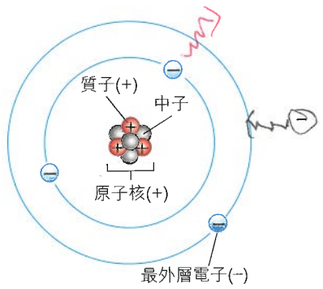


圖 1.1f 原子模型

這裏簡介原子的結構，以解釋摩擦生電的原理：兩個物體互相摩擦時，電子會從一個物體轉移到另一個去。第 5 冊第 2 課會更詳細討論原子模型。

原子核 nucleus　質子 proton　中子 neutron　電子 electron

有些學生誤以為「電子是電荷的一種」。提醒他們正確的說法應該是「電子**帶有**電荷」。

表 1.1a 比較不同粒子的電荷。質子帶正電荷，電子帶負電荷，兩者所帶的電荷正、負相反，但大小相等。顧名思義，中子是**中性**的，不帶電。在正常情況下，原子內的質子和電子數目相同，正、負電荷互相抵銷，因此原子是中性的。

粒子	電荷
質子	+
中子	中性
電子	− (與質子的電量相同)

表 1.1a 比較質子、中子和電子的電荷

可向學生說明，因為電子較質子容易移動，所以在起電的過程中轉移的必然是電子，而非質子。

有些學生誤以為醋酸酯薄片在摩擦後會獲得質子，從而變成帶正電。提醒他們，質子緊縛在原子核內，難以移走。

不同物料的原子核對電子的吸引力有所不同。如果兩種物質互相摩擦，吸引力較大的物料會獲得電子，另一物料則失去電子。

然而，物體互相摩擦時，**電子**有時會從一個物體轉移到另一個物體。獲得電子的物體帶負電，失去電子的物體便帶正電（圖 1.1g）。

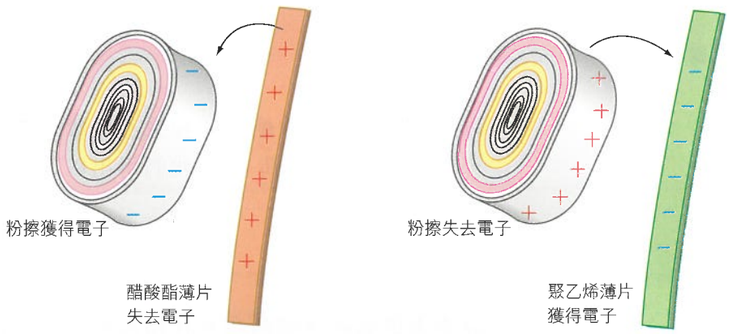


圖 1.1g 在摩擦的過程中，電子從一個物體轉移到另一個物體

我們必須注意，摩擦只是把電子由一個物體轉移到另一個物體，但不會創造電荷。

電荷不能無中生有，也不能消滅。

這就是**電荷守恆定律**。由此可知，孤立體系中的淨電荷保持恆定。

3 電量的單位

電量即電荷量或帶電量，它的單位是**庫倫**，簡寫為 **C**。一粒質子和一粒電子所帶的電量分別是 $+1.60 \times 10^{-19}$ C 和 -1.60×10^{-19} C，這個數值可用 e 來表示。

e 是最基本的電量，物體所帶的電量有時會以 e 的倍數來表示。

一般的物體含有極多電子。醋酸酯薄片與粉刷摩擦後，會把 -10^{-9} C 左右的電荷轉移至粉擦，這相當於 6×10^{9} 粒電子的總電量。

6×10^{18} 粒電子的總電量約為 −1 C。

中性 neutral　電荷守恆定律 law of conservation of charge　庫倫 (C) coulomb

進度評估 1

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.2）。

1 1 X、Y 和 Z 三個帶電的塑膠球以輕繩懸掛在半空。下列哪一項可能是塑膠球所帶的電荷？

	X	Y	Z
A	+	+	−
B	+	−	−
C	−	−	−
D	−	−	+

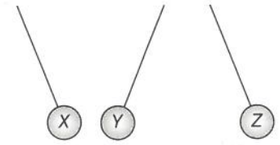


圖 a

2 2 醋酸酯棒經羊毛布摩擦後會帶正電。摩擦過程中，以下哪一種物質會在棒和羊毛布之間轉移？

A 電子
B 質子
C 中子
D 原子核

2 3 是非題：中性物體中必定不含任何帶電粒子。 (對 / 錯)

3 4 一粒質子帶有 1.6×10^{-19} C 電荷。三粒電子共帶多少電荷？ -4.8×10^{-19} C

4 絕緣體與導體

醋酸酯和聚乙烯薄片容易藉摩擦起電，因為聚乙烯薄片獲得的多餘電子不會輕易流失，而醋酸酯薄片失去的電子亦不易由周圍環境中得到補償。

有些物體不輕易讓電子流過，稱為**絕緣體**。絕緣體內的電子受原子核約束，不能自由地在原子之間移動（圖 1.1h）。塑膠就是良好的絕緣體。

圖 1.1h 絕緣體：電子受原子核約束，不能自由移動

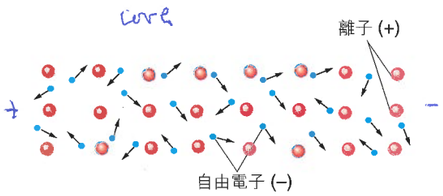


圖 1.1i 導體：原子最外層的電子可在不同的原子之間自由移動

在大多數情況下，物質中自由電子（或載荷子）的密度是影響傳導率的最重要因素。

可嘗試摩擦金屬尺，看看能否如圖 1.1b(i)（見p.2）般吸起紙屑。

相反，金屬並不容易藉摩擦起電，因為它們所得的多餘電子很容易流失。這些輕易讓電子流過的物體稱為**導體**（圖 1.1i）。在金屬中，原子最外層的電子所受的約束很小，可以自由地在各原子之間移動，所以稱為**自由電子**。

絕緣體 insulator　導體 conductor　自由電子 free electron

第 1 冊第 4 課介紹過「導體」和「絕緣體」，它們在熱學和電學的意思是否相同？

第 1 冊中的「導體」和「絕緣體」以物質導熱的效能來界定，在本課中，兩者則以電子流過物質的難易程度來界定，意思並非完全相同。

不過，大部分物體都不可簡單地區分為導體或絕緣體，因為它們的導電能力通常介乎兩者之間（圖 1.1j）。

圖 1.1j 比較不同物體的導電能力

此處指出有些物質會容許電子自由流過，有些則不會，從而解釋絕緣體和導體是甚麼。可提醒學生大部分物質都介乎絕緣體和導體兩個極端之間。

模擬程式 1.1

→ **模擬程式 2.6** 逐步顯示帶電棒怎樣使 (a) 鋁箔 (b) 紙屑產生感生電荷，以吸引它們。

5 吸引不帶電物體

a 導體

如果沒有其他帶電物體影響，自由電子會在導體中均勻分佈（圖 1.1k）。

帶正電的棒放在一小片不帶電的鋁箔上方時（圖 1.1l），會吸引鋁箔中的自由電子湧向鋁箔較接近棒的一端。結果，鋁箔上端會因電子聚集而帶負電，下端則因電子減少而帶正電。

起點的鋁罐就是因這個原理而受帶電膠袋吸引。

鋁箔上出現的電荷稱為**感生電荷**（圖 1.1m）。由於鋁箔的上端較接近帶電棒，吸力大於斥力，作用於鋁箔的淨靜電力把它吸向帶電棒。

我們必須注意，在鋁箔接觸帶電棒前，鋁箔的淨電荷一直都是零。如果帶電棒沒有接觸鋁箔就移開，鋁箔的電子便會回復均勻分佈的狀況。

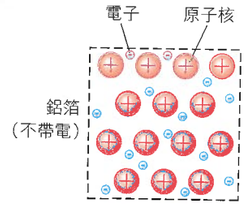


圖 1.1k 在鋁箔中，自由電子均勻分佈

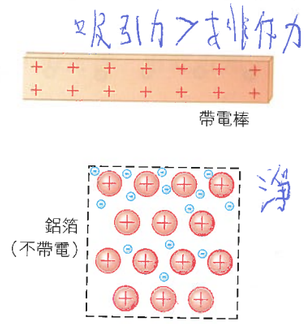


圖 1.1l 自由電子湧向鋁箔較接近帶正電棒的一端

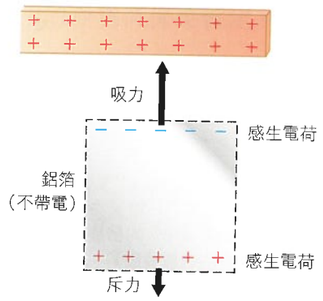


圖 1.1m 因感生電荷而產生淨吸引力，把鋁箔吸向帶電棒

感生電荷 induced charge

例題 1 電荷分佈

鄰近範圍沒有帶電物體時，金箔內的自由電子是均勻分佈的（圖 a）。

(a) 如圖 b 所示，一支帶負電的棒放在金箔的上方。試在圖 b 中畫出自由電子的分佈情況。

(b) 由此，描述和解釋作用在金箔上的淨靜電力方向。

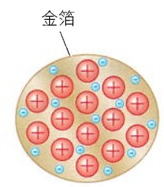


圖 a

圖 b

題解

(a) 見圖 c。

(b) 作用在金箔上的淨靜電力是向上的。金箔上端帶正電，而下端則帶負電，由於上端與棒較接近，吸力大於斥力。

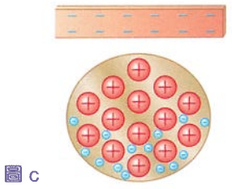


圖 c

進度評估 2 Q3 (p.8)

b 絕緣體

絕緣體內的電子不能自由移動，究竟帶電物體是怎樣吸引絕緣體的？

不帶電絕緣體的鄰近範圍沒有帶電物體時，電子會在絕緣體內均勻分佈（圖 1.1n）。

帶正電的棒移近一塊紙屑上方時，紙屑各原子內的電子會稍微移向帶電棒（圖 1.1o），紙屑接近棒的一端便帶負電，而遠離棒的一端則帶正電（圖 1.1p）。與鋁箔的情況一樣，感生電荷產生一個把紙屑吸向帶電棒的淨靜電力。

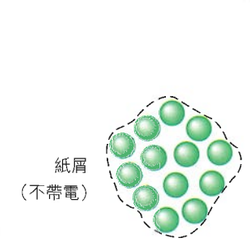


圖 1.1n 電子在每個原子內均勻分佈

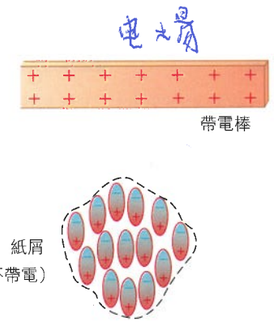


圖 1.1o 每個原子內的電子被吸向帶正電的棒

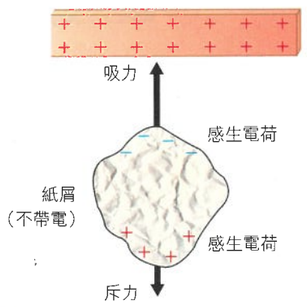
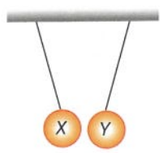
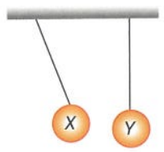


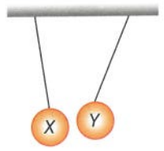
圖 1.1p 感生電荷出現，因而產生淨吸引力，使紙屑吸向帶電棒

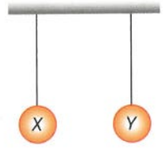
預試訓練 1　懸起的球 ☆ 香港中學會考2007年卷二Q19

X 和 Y 是兩個相同的塑膠球，以幼繩懸在鄰近位置。X 帶電，Y 則不帶電。下列哪幅圖最能表示兩個球的狀況？

A 

B 

C 

D 

題解

假設 X 帶正電荷，Y 的兩邊就會分別感生出正和負電荷（圖 a）。

注意在導體和絕緣體上同樣能感生出電荷。

圖 a

感生負電荷比感生正電荷更接近 X，因此吸力會大於斥力。

根據牛頓第三定律。

作用於 X 和 Y 的吸力大小必然相同。由於 X 和 Y 的質量相等（兩者完全相同），懸着它們的幼繩的傾斜角度必然相同。

常見錯誤

學生或忽略了作用於 X 和 Y 的吸力大小相同，因而誤以為幼繩會有不同的傾斜角度。

∴　答案是 A。

複習 Q19 (p.42)

進度評估 2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.2）。

1, 4 **1** 試在圖中用箭號標示作用在球體上的靜電力（「N」代表球體是中性的）。

(a)

(b)

(c)

(d)

4 **2** 帶正電的醋酸酯棒吸住一些紙屑，以下哪一項敘述必定是**不正確**的？

A　紙屑是中性的。　(B) 紙屑帶正電。

C　紙屑帶負電。

4 **3** 一支帶正電的棒正移近一個中性球體，但兩者沒有接觸。下列哪些敘述是正確的？

(1) 球體帶有淨電。

(2) 球體遠離棒的一邊出現感生正電荷。

(3) 棒和球體上的感生正電荷互相排斥。

A　只有 (1)　　B　只有 (2)

C　只有 (1) 和 (3)　　(D) 只有 (2) 和 (3)

6 起電與放電

起電指物體由中性變為帶電的過程；相反，物體由帶電變成中性的過程，則稱為**放電**。

金箔驗電器是用來探測電荷和研究起電與放電過程的儀器，它由金屬碟、金屬支架、金箔連接而成（圖 1.1q），金箔可沿支點自由轉動。

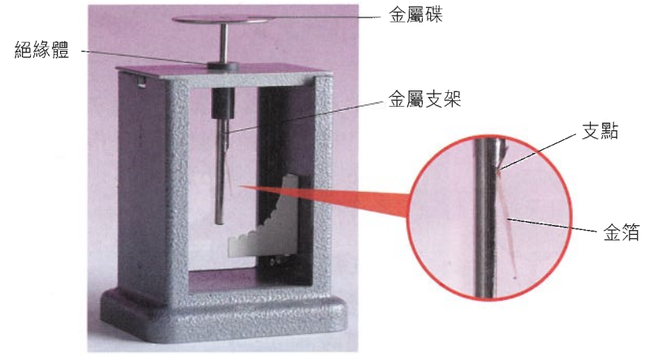


圖 1.1q　金箔驗電器

驗電器不帶電時，金箔垂下。金屬支架帶有淨電荷時，電荷會分佈在金屬支架和金箔之上。由於電荷同性相斥，支架和金箔會互相排斥，金箔因而向上偏轉（圖 1.1r）。

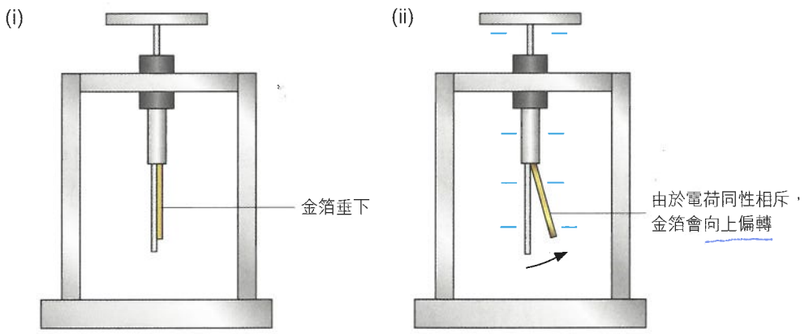


圖 1.1r　(i) 金箔不帶電時垂下，(ii) 金箔帶電時向上偏轉

a　摩擦起電

我們知道兩個物體互相摩擦時，就會有電子在它們之間轉移，摩擦後兩個物體會帶有相反電荷。過程中，兩個物體須直接接觸，這種起電方法，稱為**摩擦起電**。

我們會在以下實驗認識其他起電方法。

起電 charging　放電 discharging　金箔驗電器 gold leaf electroscope
摩擦起電 charging by friction

錄像片段 1.3

→ 錄像片段 1.3 示範實驗 1a。

實驗 1a 起電與放電

用金箔驗電器按以下步驟完成實驗，並觀察結果。

授受起電

1 用布拿起銅棒的一端，再用羊毛布摩擦銅棒，然後讓棒觸碰金箔驗電器的金屬碟（圖 a）。

圖 a

感應與接地起電

2 用羊毛布摩擦塑膠棒，然後將棒移近金箔驗電器的金屬碟。保持棒的位置不變，用手指碰一下金屬碟（圖 b），再移走塑膠棒。

接地放電

3 緊接步驟 2，再用手指碰一下金屬碟。

圖 b

討論

1 在步驟 1，為甚麼要用布來拿起銅棒？避免銅棒放電（因接地的緣故）。

2 在步驟 2，用手指碰一下金屬碟時，為甚麼棒要保持在金屬碟附近？讓金屬碟在接地後變為帶電。

較大的球體會分得較多的電荷；如果兩個球體的大小相等，電荷便會均分。

電子能輕易在導體間轉移，因此金屬球要置於絕緣支架上才能起電。

b 授受起電

圖 1.1s 中，帶負電的小金屬球觸碰一個中性的大金屬球。由於同性電荷相斥，負電荷會儘量互相遠離，因而分散到兩個金屬球中，結果大金屬球也變成帶負電。

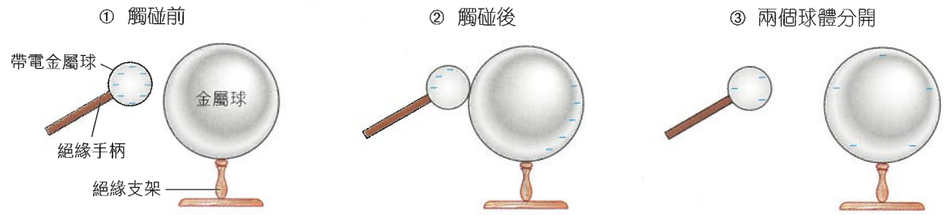


圖 1.1s 用授受起電的方法使中性金屬球帶電

假設過程中球體與周圍環境沒有電荷轉移。這結果遵從電荷守恆定律。

這個過程稱為**授受起電**。注意無論在起電的前或後，兩個球體的總電荷都保持不變。由於過程中要有自由電子流動，這種起電方法只適用於導體。

授受起電 charging by sharing

c 感應起電

在圖 1.1t 中，兩個中性的金屬球體 A 與 B 互相接觸。假設一支帶正電的棒移近球體 A（但沒有觸碰 A），球 B 內的自由電子會受棒吸引並移向球 A。因此，球 A 接近棒的一邊就會感生出負電荷，而球 B 遠離棒的一邊就會感生出正電荷（步驟 ①）。

若維持着帶電棒的位置固定不變，並把兩個球體分開（步驟 ②），兩個球體上的淨電荷就會留下來，於是球 A 變成帶負電，球 B 變成帶正電（步驟 ③）。這個過程稱為**感應起電**。

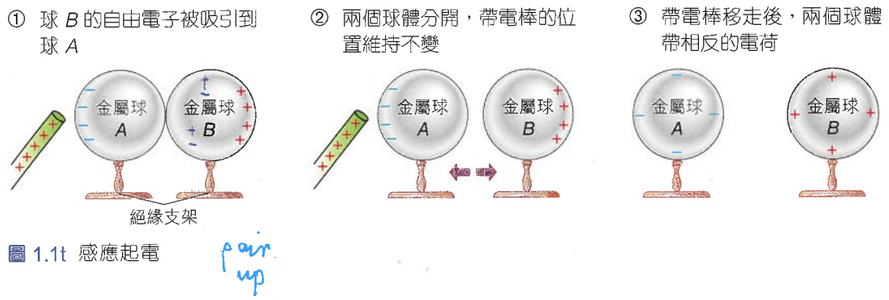


圖 1.1t 感應起電

假設過程中球體與周圍環境沒有電荷轉移。同樣地，這結果也遵從電荷守恆定律。

在起電過程前後，兩個球體的總電荷保持不變。感應起電跟授受起電一樣，也涉及自由電子的流動，因此只適用於導體。

例題 2 感應起電

兩個獎盃 X 和 Y 由金屬杯和大理石底座組合而成，一個帶負電的氣球以絕緣繩懸掛，並置於 X 和 Y 附近（圖 a）。試提出一個方法，即使不觸碰 Y，也可使它帶負電。（大理石是良好的絕緣體。）

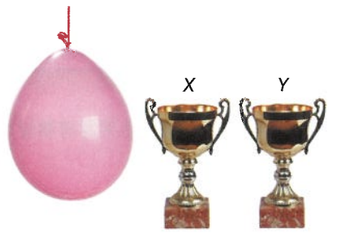


圖 a

題解

移動獎盃 X 的底座，使 X 觸碰 Y，並確保 Y 比 X 遠離氣球。分開兩個獎盃，Y 就會變成帶負電。

進度評估 3 Q3 (p.15)

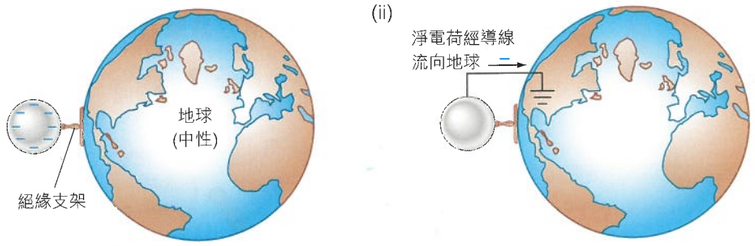
感應起電 charging by induction

d 接地

地球像個巨大的導體，可向其他導體提供額外的電子，也可接收它們多餘的電子。因為地球非常巨大，所以實際上總是保持中性。

如果用導體（例如金屬線）將帶負電的物體連接到地球，由於地球比帶電物體大得多，帶電物體上所有淨電荷會分散到地球去（圖 1.1u），物體便會變為中性，這個過程稱為**接地**。

圖中的符號 ⏚ 表示接地。



圖不依比例繪製

圖 1.1u 接地後，帶電物體的淨電荷會分散到地球去（設沒有其他帶電物體在附近）

我們觸碰導體，也會使它接地。人體是頗佳的導體，假設我們觸碰帶負電的導體，導體上多餘的電子會通過身體流到地球去，導體便變成中性。同樣地，觸碰帶正電的導體，電子就會從地球流到導體上，導體也因而變成中性（圖 1.1v）。

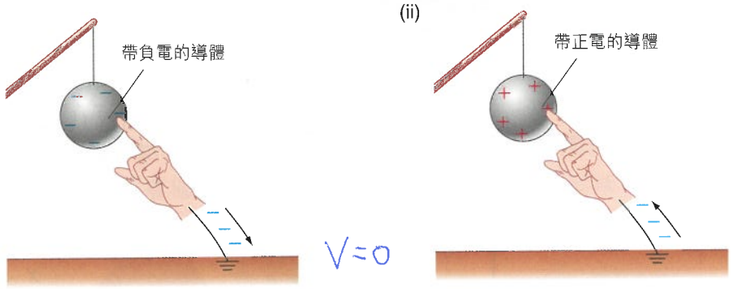


圖 1.1v 接地使帶電導體變成中性（設沒有其他帶電物體在附近）

相反，如果棒帶正電，接地時電子會從地球流向球體，球體最後會變成帶負電。

導體可藉感應和接地起電。在第 13 頁圖 1.1w 中，帶負電的棒停留在中性金屬球附近，球體的 A、B 兩邊分別出現感生正電荷和負電荷（步驟 ①）。如果球體短暫接地（步驟 ②），B 邊的負電荷會流到地球去，球體便變成帶正電（步驟 ③）。帶電棒移開後，淨電荷便會在球體上重新分佈（步驟 ④）。

由於金屬球是孤立的（即附近沒有其他帶電物體），淨電荷會均勻地分散在球體的表面。

接地 earthing

有些學生或誤以為必須觸碰 B 邊才能使金屬球接地。

我們必須注意，在步驟 ② 觸碰金屬球任何位置，都可以使它接地；即使觸碰球體的 A 邊，電子也是會流到地球去。

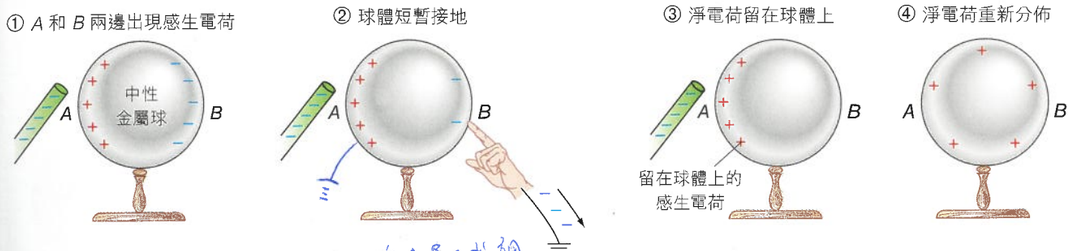


圖 1.1w 感應與接地起電

范德格拉夫起電機可以用來產生電力和火花，更重要的是，它證明了電流由電荷流動而產生。

例題 3 帶電的導體

君怡直接用手拿着帶電的金屬棒，然後把它放近紙屑（圖 a）。她發現金屬棒不能吸引紙屑。

(a) 解釋為甚麼金屬棒不能吸引紙屑。

(b) 君怡應怎樣做才可以用帶電的金屬棒吸引紙屑？試建議一個方法。

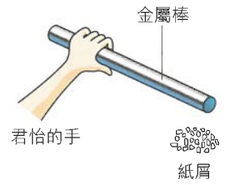


圖 a

題解

(a) 君怡的手觸碰帶電的金屬棒，會令金屬棒接地，因而變成中性，不能吸引紙屑。

(b) 君怡應該隔着絕緣體（例如膠手套）來拿起金屬棒，以防金屬棒接地。這樣做金屬棒就能一直帶電，並吸引紙屑。

習題與思考 1.1 Q12 (p.21)

7 范德格拉夫起電機

利用累積了大量電荷的物體，可以進行一些有趣的實驗。要在物體上累積大量電荷，可以使用**范德格拉夫起電機**（圖 1.1x）。起電機運作時，橡皮膠帶因與塑膠滾輪摩擦而帶電，所產生的電荷會經膠帶傳送至金屬圓頂，並在那裏大量積聚。

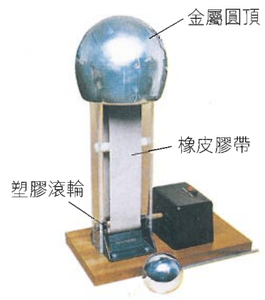


圖 1.1x 范德格拉夫起電機

范德格拉夫起電機 Van de Graaff generator

錄像片段 1.4

→ 錄像片段 1.4 示範實驗 1b。

實驗 1b 有趣的電荷實驗

開動范德格拉夫起電機，完成以下實驗，並觀察結果：

1 把附有金屬外層的中性聚苯乙烯小球懸在絕緣棒上，然後把小球慢慢移近起電機的圓頂（圖 a）。

2 把一束頭髮放在起電機的圓頂上（圖 b），或站在塑膠凳上觸摸起電機的圓頂。

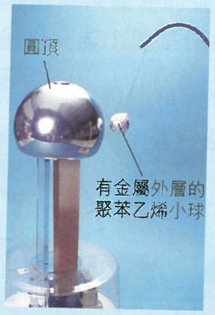


圖 a

圖 b

小心：關掉起電機後，須繼續觸摸起電機的圓頂約半分鐘。用這個方法來通過空氣放電後，才可從塑膠凳下來。患有心臟病的同學不可做這實驗。

3 把接了地的金屬球移近圓頂（圖 c）。

4 **光束檢流計**可量度微弱的電流。把圓頂經光束檢流計接地（圖 d）。

圖 c

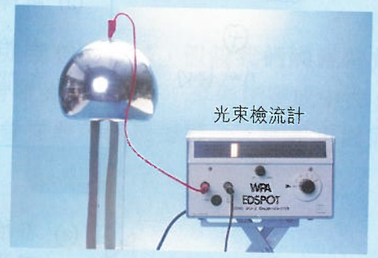


圖 d

這展示了電荷和電流的關係：電流即電荷流。

討論

你有沒有留意到，積聚在一起的電荷都有散開的傾向？

留意到。頭髮豎起顯示電荷會互相排斥散開。

實驗中各步驟所得的結果如下：

1 附有金屬外層的小球首先受起電機圓頂吸引，碰到圓頂後獲得與圓頂同性的電荷，最後受排斥而彈開。

2 頭髮會全部豎起，原因是每根頭髮都獲得同性的電荷，因而互相排斥。

3 有火花產生。電荷從圓頂躍到金屬球，然後流到地面，在穿越空氣時產生火花。

4 圓頂經光束檢流計接地，積聚在圓頂上的電荷會流到地面。光束檢流計的讀數顯示，電荷的流動會形成電流。

光束檢流計 light-beam galvanometer

例題 4 怒髮衝冠？

女孩站在塑膠凳上，用手按住范德格拉夫起電機的圓頂，頭髮便豎起來（圖 a）。

圖 a

(a) 女孩的頭髮為甚麼會豎起？

(b) 解釋在下列情況，會有甚麼事情發生：

(i) 女孩改為赤腳站在地上；

(ii) 女孩站在塑膠凳上，同時觸碰一名赤腳站在地上的男孩。

小心：危險！切勿嘗試！ ▶

小心：危險！切勿嘗試！ ▶

題解

(a) 女孩每根頭髮都獲得同性的電荷，所以互相排斥，並且豎起來。

(b) (i) 圓頂上的電荷會經過她的身體流到地面，她的頭髮不再豎起。

(ii) 圓頂上的電荷會經過兩人身體流到地面，女孩的頭髮不再豎起。

▶ 複習 Q24 (p.42)

生活中的物理

毛衣上的火花

在冬天乾燥的日子梳頭或脫毛衣時，經常會聽到「啪啪」的聲音。這些聲音來自身體和梳（或毛衣）因摩擦起電而產生的火花。在漆黑的房間脫毛衣，便有可能看到這些火花。

進度評估 3

✔各題號旁的數字對應本節重點（參看p.2）。

61 接觸下列哪點能將圖 a 中的帶電金屬球接地？

A *P*

B *Q*

C *R*

(D) 以上皆是

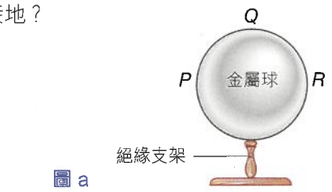


圖 a

52 *P* 和 *Q* 是兩個相同的球形導體。初時，*P* 帶有 8×10^{-9} C 的淨電荷，而 *Q* 是中性的。*P* 和 *Q* 互相觸碰後，*Q* 帶有多少淨電荷？4×10^{-9} C

53 帶正電的棒移近兩個互相接觸的中性金屬球 *X* 和 *Y*（圖 b）。

(a) *X* 和 *Y* 整體的淨電荷是多少？零

(b) 把棒移走，並分開兩個金屬球。現在每個金屬球各帶哪種淨電荷？兩者保持中性。

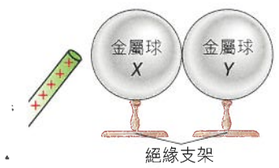


圖 b

STSE 空氣質素

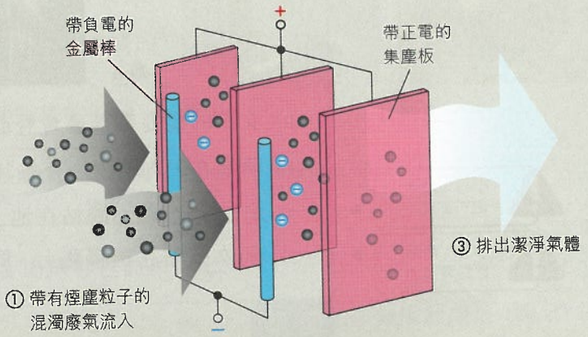
香港市民向來十分關注空氣質素。原來，靜電可應用於許多方面，以減少塵埃、煙塵等懸浮粒子，從而改善空氣質素。吸入大量直徑 10 μm 或以下的粒子會損害健康，對肺部的傷害尤甚。

靜電除塵器

燃煤發電廠每天產生大量飛灰，須要安裝靜電除塵器來去除廢氣中的煙塵粒子（圖 a）。靜電除塵器的效率很高，能去除超過 99% 的煙塵粒子，避免它們混入周圍的空氣中（圖 b）。

靜電除塵器

圖 a



② 煙塵粒子經過帶負電的金屬棒後變成帶電，並受帶正電的集塵板所吸引，附在板上。

圖 b

空氣清新機

空氣清新機是常見的家居及辦公室電器（圖 c），主要功能之一是減少室內的懸浮粒子。空氣清新機一般會應用靜電運作，原理與靜電除塵器相似（圖 d）。

圖 c 家用空氣清新機

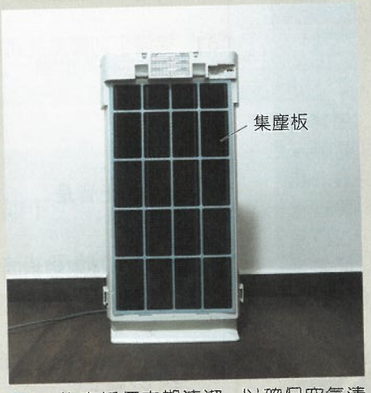
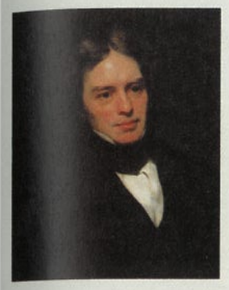


圖 d 集塵板須定期清潔，以確保空氣清新機有效運作

歷史點滴

法拉第 (1791–1867)

法拉第是英國化學家及物理學家，對**電磁學**貢獻良多。



可指出引力和磁力也是非接觸力。

8 電場

場的概念已在第2冊第10課介紹過。可把引力場的概念與電場連繫起來。

帶電物體互相靠近時，即使互相不接觸，物體也會受靜電力作用（圖 1.1y）。

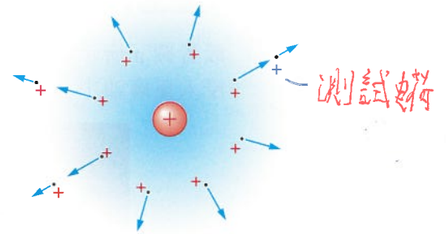


圖 1.1y 物體對周圍的正點電荷施加靜電力

19 世紀，**法拉第**引入**電場**的概念，以解釋這種非接觸力。根據他的理論，一個帶電物體會在它周圍建立電場，其他帶電物體只要在這個電場內任何位置，也會感受到靜電力，力的量值則視乎所在位置的電場強度。

a 電場力線

法拉第為清楚顯示電場的方向和強度，更引入**場力線**的概念，以描述電場。

圖 1.1z 顯示一對正、負電荷之間的電場力線。據此，可歸納出電場力線的幾個特性：

1 電場力線從正電荷出發，到負電荷終止。

檢驗電荷須極為細小，以免對電場造成任何影響。作用於負電荷的力與電場力線方向相反。

2 電場力線顯示了作用於**正**檢驗電荷（極細小的正電荷）的靜電力的方向，因此場力線又稱為力線。

3 在電場圖形中，場力線愈密，電場就愈強；場力線愈疏，電場則愈弱（圖 1.1z）。

4 電場力線永不相交。

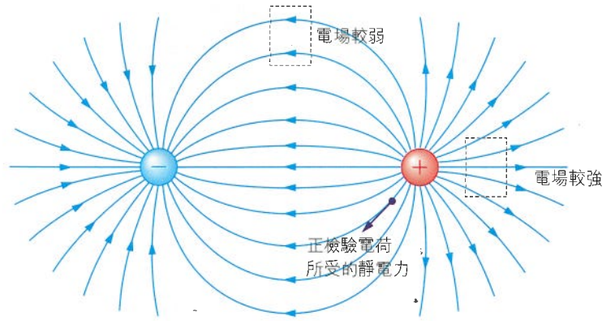


圖 1.1z 一正一負兩個電荷之間的電場力線

讓學生理解，力在某點的方向與通過該點場力線的切線相同，就如圖中紫色箭號所示。

強調電荷置於兩條場力線之間也會感受到電力。

法拉第 Michael Faraday　電場 electric field　電磁學 electromagnetism　場力線 field line

b 電場圖形

以下實驗讓我們觀察電場圖形。

錄像片段 1.5

→ 錄像片段 1.5 示範實驗 1c。

實驗 1c 電場圖形

1 設置圖 a 所示的電場裝置。把蓖麻油倒在圓碟裏，然後把一對電極浸入蓖麻油中。

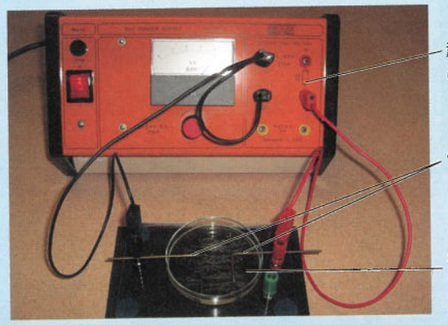


圖 a

2 把兩個電極分別連接到超高壓電源的正、負輸出端上。

3 在蓖麻油表面撒一層薄薄的粗粒麥粉。接通電源，並把電壓設定為 5 kV。粗粒麥粉便會依電場的形狀排列，觀察這個圖形。

4 改用其他形狀的電極（圖 b），然後重複以上步驟。

小心！在更換電極前必須關掉超高壓電源。

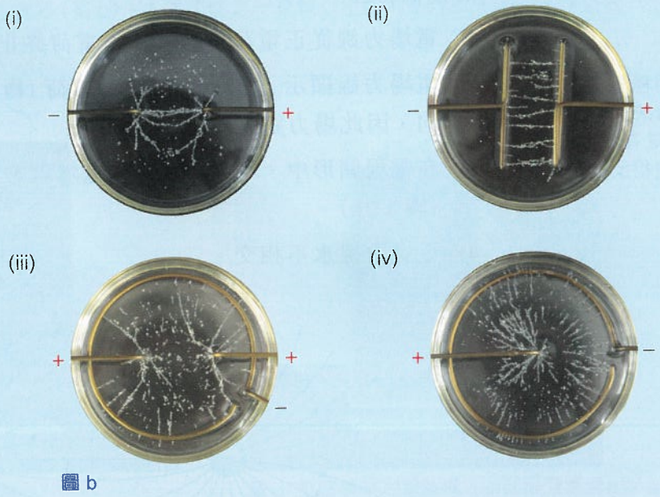


圖 b

討論

粗粒麥粉形成的圖形能顯示出電場力線的方向嗎？ 不能

強調不同的電荷分佈會產生不同的電場圖形，在圖形內的不同位置，電場強度也不同。

補充資料

超高壓電源

超高壓電源能提供高達 5000 V 的電壓。物體接駁至超高壓電源的輸出端，就變成帶電。在實驗 1c，連接至超高壓電源正輸出端的電極帶正電，而連接至負輸出端的則帶負電。

i 點電荷的電場圖形

一個孤立的正點電荷所產生的電場力線，會沿徑向**指向外**；一個孤立的負點電荷所產生的電場力線，則會沿徑向**指向內**（圖 1.1aa）。在這兩種情況下，距離電荷愈遠，場力線便愈疏，電場也就愈弱。

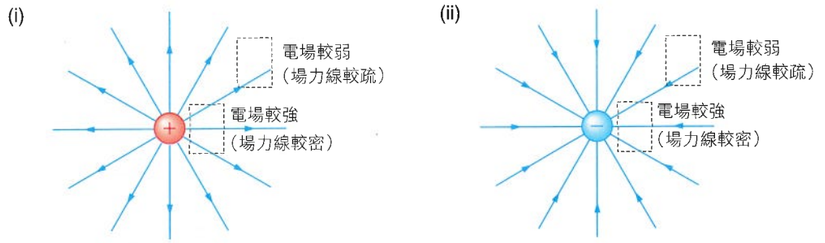


圖 1.1aa (i) 正點電荷和 (ii) 負點電荷的電場圖形

注意：沒有場力線穿過中和點。

▶ 圖 1.1ab 顯示兩個點電荷周圍的電場圖形。

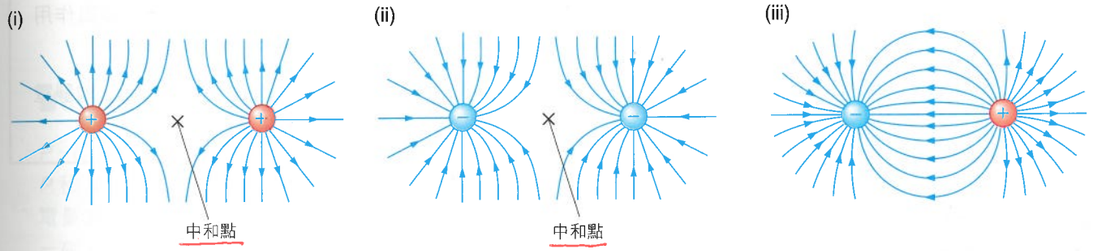


圖 1.1ab (i) 兩個正點電荷、(ii) 兩個負點電荷和 (iii) 正、負兩個點電荷周圍的電場圖形

雖然以上電場圖形都畫成平面，但實際上，電場是三維立體的。使用電腦程式，可以繪畫出立體的電場圖形（圖 1.1ac）。

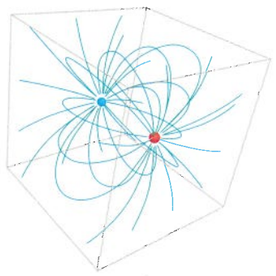


圖 1.1ac 兩個相反電荷的立體電場圖形

ii 帶電平行板之間的電場圖形

當兩塊帶相反電荷、電量相同的平行金屬板互相靠近，它們之間會形成一個勻強的電場，場力線互相平行且平均分佈（圖 1.1ad）。 uniform field

平行板上的電荷也是均勻分佈的。

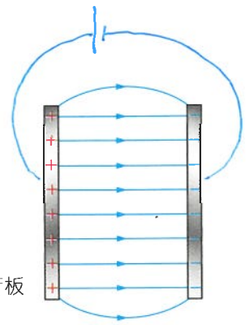


圖 1.1ad 兩塊帶電平行板之間的電場圖形

中和點 neutral point

進度評估 4

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.2）。

7 **1** 電場圖形可顯示電場的甚麼資料？

A 方向
B 強度
C 方向和強度

7 **2** 圖 a 顯示兩塊帶電板之間的電場圖形。從圖形可以得知甚麼？

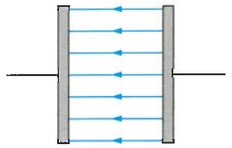


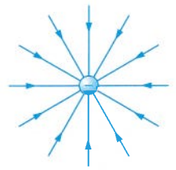
圖 a

(1) 電場是勻強的。
(2) 右面的板帶正電。
(3) 兩塊板是平行的。

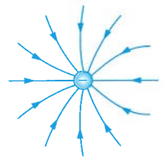
A 只有 (1)　　B 只有 (3)
C 只有 (2) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

7 **3** 參看圖 1.1ab(iii)（見 p.19）。下列哪一幅圖正確顯示移走正電荷後的電場圖形？

A



B



C 因為只有一種電荷存在，所以沒有電場產生。

7 **4** 點電荷置於勻強電場中的 *P* 點上（圖 b）。

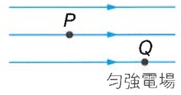


圖 b

(a) 假設該電荷帶 (i) 正電、(ii) 負電，指出作用在電荷上靜電力的方向。 (i) 右 (ii) 左

(b) 如果電荷改放 *Q* 點，對作用在電荷上的靜電力有甚麼影響？試簡單解釋。沒有影響

習題與思考 1.1

1 **1** 帶正電的棒移近絕緣的金屬球時，球被棒吸引。以下哪種情況可引致上述結果？

(1) 球是中性的。
(2) 球帶正電。
(3) 球帶負電。

A 只有 (2)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

6 **2** 帶正電的金屬球接地，附近並沒有其他帶電物體。下列哪些敘述必定是正確的？

(1) 正電荷從金屬球轉移到地球。
(2) 金屬球變為中性。
(3) 過程中產生火花。

A 只有 (2)　　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (2) 和 (3)

7 **3** 下列哪些有關電場力線的敘述是正確的？

(1) 孤立正電荷的場力線會沿徑向往外指。
(2) 場力線的密度代表電場的強度。
(3) 場力線可以相交。

A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

（第 4 至 5 題）圖 a 中，一支帶負電的棒移近中性金屬球，金屬球置於絕緣支架上。

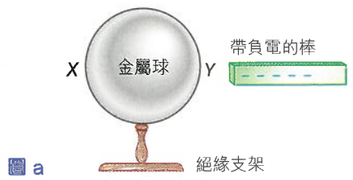


圖 a

★4 5 下列哪些敘述是正確的？

(1) 球體的 *X* 邊出現感生負電荷。
(2) 質子移到 *Y* 邊。
(3) 球體保持中性。

A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

★5 5, 6 棒的位置維持不變，祖恩觸碰了 *Y* 邊一下。下列哪些敘述必定是正確的？

(1) 電子透過祖恩的身體從球傳到地面。
(2) 球體變成帶正電。
(3) 球體的淨電荷依然是零。

A 只有 (2)　　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (1) 和 (3)

★6 5

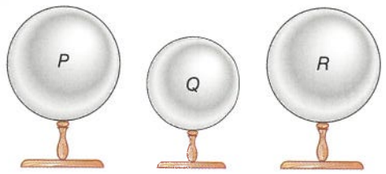


圖 b

P、*Q*、*R* 是三個置於絕緣支架上的金屬球（圖 b）。*P* 和 *R* 大小相同，*Q* 則比它們小。初時，*P* 所帶的電量為 -12×10^{-9} C，*Q* 和 *R* 是中性的。*Q* 先觸碰一碰 *P*，然後再碰一碰 *R*。下列哪一項可能是 *R* 最後所帶的電量？

A -6×10^{-9} C　　B -3×10^{-9} C
C $+3 \times 10^{-9}$ C　　D $+6 \times 10^{-9}$ C

★7 7

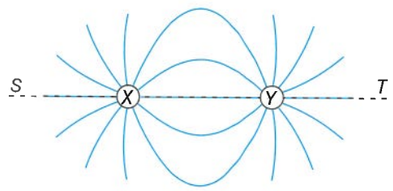


圖 c

圖 c 顯示點電荷 *X* 與 *Y* 周圍的電場圖形。下列哪些敘述必定是正確的？

(1) *X* 和 *Y* 帶相反的電荷。
(2) 電荷在 *ST* 上的任何一點都會感受到同一方向的靜電力。
(3) 置於 *X* 和 *Y* 中央的電荷不會感受到靜電力。

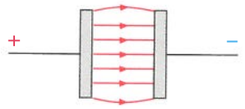
A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)　　D (1)、(2) 和 (3)

1, 4 **8** 下列各項敘述是否正確？

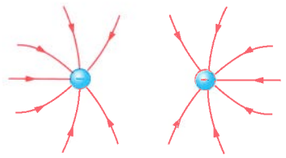
(a) 同性電荷相吸；異性電荷相斥。不正確
(b) 絕緣體中的原子較導體中的原子更能約束電子。正確
(c) 在絕緣體上的電荷不能自由移動。正確
(d) 在導體和絕緣體上都能產生感生電荷。正確

7 **9** 在下列各圖中草繪電場圖形。

(a)



(b)



5 **10** 家俊梳頭時發現頭髮會受塑膠梳子吸引。試簡單解釋這個現象。

5, 6 **11** 天氣乾燥時觸碰金屬門柄容易觸電。試簡單解釋這個現象。

★12 4, 5 (a) 用手直接拿着金屬棒，再用布摩擦它，為甚麼金屬棒不會帶電？

(b) 建議一個使金屬棒起電的方法。

★13 1, 6 兩個附金屬外層的聚苯乙烯小球帶正電，以尼龍繩懸於屋頂，並固定在圖 d 所示的位置。

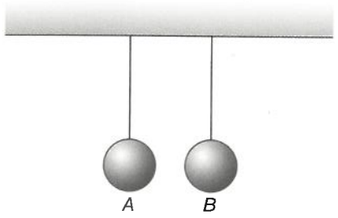


圖 d

(a) 放開小球，它們會怎樣移動？

(b) 如果改為以金屬線懸掛球 *B*，兩個小球會怎樣移動？試簡略解釋。

1.2 深入認識電場

單元 1.2 牽涉較高程度的概念和數學技巧，可移至第 3 課之後教授。

起 點 閃電

閃電其實是個放電過程。雷雲和地面之間會產生電場。如果電場夠強，閃電就會發生，能量以熱和光能的形式釋放。

這些能量到底從哪裏來呢？

參看第 32 頁。

✔ 本節重點

1 庫倫定律

2 對電場強度的基本認識

Ext 3 以 $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ 和 $E = \frac{V}{d}$ 計算電場強度

Ext 4 電勢能

以下部分以量化的方式詳述靜電力。

1 庫倫定律

1785 年，**庫倫**着手研究帶電物體之間作用力的大小，他的成果可歸納為**庫倫定律**：

> **兩個點電荷之間的靜電力 F 與每個電荷的電量（Q_1 和 Q_2）成正比，並與電荷間距 r 的平方成反比，即**
>
> $$F = k \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$
>
> Q_1 ——— r ——— Q_2

簡單起見，有時會取 $k = 9 \times 10^9$ N m^2 C^{-2}。

其中 k 是比例常數，稱為庫倫常數。根據實驗所得的結果，它的數值約為 8.99×10^9 N m^2 C^{-2}。

庫倫定律亦可以表達為：

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

電容率的大小取決於介質傳播電場的能力。

簡單起見，本書假設所有電荷都處於真空。

在這方程中，比例常數 k 寫成 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$。$\varepsilon_0$ 是真空的**電容率**，數值約為 8.85×10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}。

庫倫 Charles Coulomb　庫倫定律 Coulomb's law　電容率 permittivity

靜電力總是成對地出現，並符合牛頓運動第三定律。考慮圖 1.2a 中的兩個點電荷 X 和 Y，Y 作用於 X 的靜電力 (F_{XY}) 跟 X 作用於 Y 的靜電力 (F_{YX}) 形成作用力—反作用力對。在圖中的三個情況下，F_{XY} 和 F_{YX} 都有相同的量值，但方向相反。

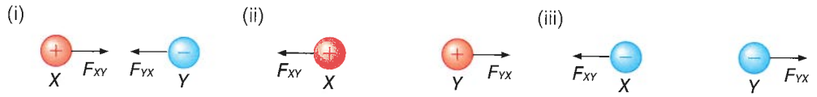
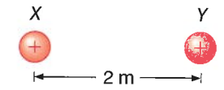


圖 1.2a F_{XY} 和 F_{YX} 形成作用力—反作用力對

point object

例 題 5 點電荷之間的靜電力

兩個點電荷 X ($+2 \times 10^{-8}$) 和 Y ($+10^{-8}$) 相距 2 m（圖 a）。



a

取 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ C^2 N^{-1} m^{-2}。

(a) 求 Y 作用於 X 的靜電力 F_{XY}。

(b) 求 X 作用於 Y 的靜電力 F_{YX}。

(c) 現以另一個點電荷 Z (-10^{-8} C) 取代 Y，求 Z 作用於 X 的靜電力 F_{XZ}。

題 解

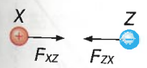
由於 X 和 Y 是同性電荷，它們會互相排斥。

(a) $F_{XY} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{(+2 \times 10^{-8})(+10^{-8})}{4\pi(8.85 \times 10^{-12})(2)^2} = +4.50 \times 10^{-7}$ N （斥力）

∴ F_{XY} 是 4.50×10^{-7} N （向左）。

(b) F_{YX} 是 4.50×10^{-7} N （向右）。

由於 X 和 Z 是異性電荷，它們會互相吸引。



(c) $F_{XZ} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{(+2 \times 10^{-8})(-10^{-8})}{4\pi(8.85 \times 10^{-12})(2)^2} = -4.50 \times 10^{-7}$ N （吸力）

∴ F_{XZ} 是 4.50×10^{-7} N （向右）。

可着學生直接用庫倫常數 k 計算，看看能否得出相同結果。

進度評估 5 Q1 (p.26)

我們必須注意，靜電力 F 的正負號**並非**顯示力向左還是向右。事實上，正號代表 F 是斥力，負號則代表 F 是吸力（表 1.2a）。

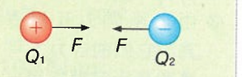
F 的正負號		F 的正負號	
+ （斥力）		− （吸力）	

表 1.2a 靜電力的正負號所代表的意思

例題 6 找出合靜電力

三個帶電粒子 X、Y、Z 置於一直線上，Y 與 X、Z 的距離都是 d（圖 a）。X 和 Y 各有 $+q$ 的電量。Y 作用於 X 的靜電力是 F，但 X 所受的淨力為零。重力的效應可略去不計。

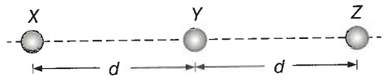


圖 a

(a) 繪畫 X 的隔離體圖。

(b) 求 Z 的電量。

(c) Z 現移至另一位置，令 X、Y、Z 形成直角三角形（圖 b），且 Y 和 Z 之間的距離變成 $\sqrt{3}\,d$。求 X 和 Z 作用於 Y 的合力。

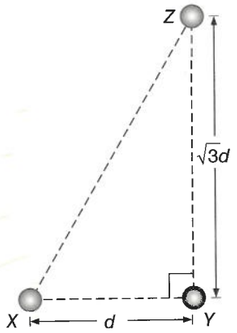


圖 b

題解

(a)

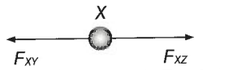


圖 c 來自 Y 的斥力　來自 Z 的吸力

作用於 X 的淨力為零，因此 F_{XZ} 與 F_{XY} 必定量值相同，但方向相反。

(b) 設 Z 的電量為 Q_Z。

$$F_{XZ} = -F_{XY}$$

$$\frac{qQ_Z}{4\pi\varepsilon_0(2d)^2} = -\frac{(q)(q)}{4\pi\varepsilon_0 d^2}$$

$$Q_Z = -4q$$

Z 的電量為 $-4q$。

(c) 參看 Y 的隔離體圖（圖 d）。

根據牛頓第三定律，X 作用於 Y 的靜電力是 F。

$\therefore\ F_{YX} = F$

$$F_{YZ} = \frac{q(-4q)}{4\pi\varepsilon_0(\sqrt{3}\,d)^2} = -\frac{4}{3}\left(\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 d^2}\right) = -\frac{4}{3}F \text{（吸力）}$$

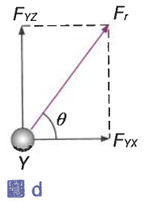


圖 d

作用於 Y 的合靜電力 F_r 的量值

$$= \sqrt{(F_{YX})^2 + (F_{YZ})^2} = \sqrt{F^2 + \left(\frac{4}{3}F\right)^2} = \frac{5}{3}F$$

此外，

$$\tan\theta = \frac{F_{YZ}}{F_{YX}} = \frac{\frac{4}{3}F}{F} = \frac{4}{3} \quad \Rightarrow \quad \theta = 53.1°$$

$\therefore$ 作用於 Y 的合靜電力是 $\frac{5}{3}F$，指向水平線以上 53.1°。

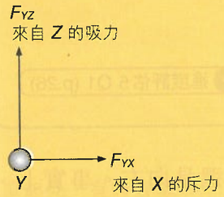
習題與思考 1.2 Q9 (p.35)

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

找出合力

① 繪畫隔離體圖以顯示所有作用於 Y 的力。



② 應用庫倫定律分別找出由 X 和 Z 作用於 Y 的靜電力量值。

③ 由於兩個力互相垂直，它們的合力 F 可應用畢氏定理求得。

$$F^2 = F_{YX}^2 + F_{YZ}^2$$

此外，合力的方向可應用三角方程求得。

實驗技巧應用

例題 7 估算真空電容率

兩個相同的金屬球各有 5×10^{-8} C 的電量。學生做了一個實驗，找出兩個金屬球之間的距離 r 改變時，兩者之間的靜電力 F 是多少。表 a 記錄他所得的結果。

表 a

金屬球之間的距離 r / cm	2	2.5	3	3.5	4
靜電力 F / $\times 10^{-3}$ N	54.0	34.8	24.2	17.3	13.7

(a) 標繪 F 對 $\frac{1}{r^2}$ 的關係線圖。

(b) 據此，估算真空電容率 ε_0。

題解

(a) 在不同的 r 值下的 $\frac{1}{r^2}$：

金屬球相隔的距離 r / cm	2	2.5	3	3.5	4
$\frac{1}{r^2}$ / m^{-2}	2500	1600	1110	816	625
靜電力 F / $\times 10^{-3}$ N	54.0	34.8	24.2	17.3	13.7

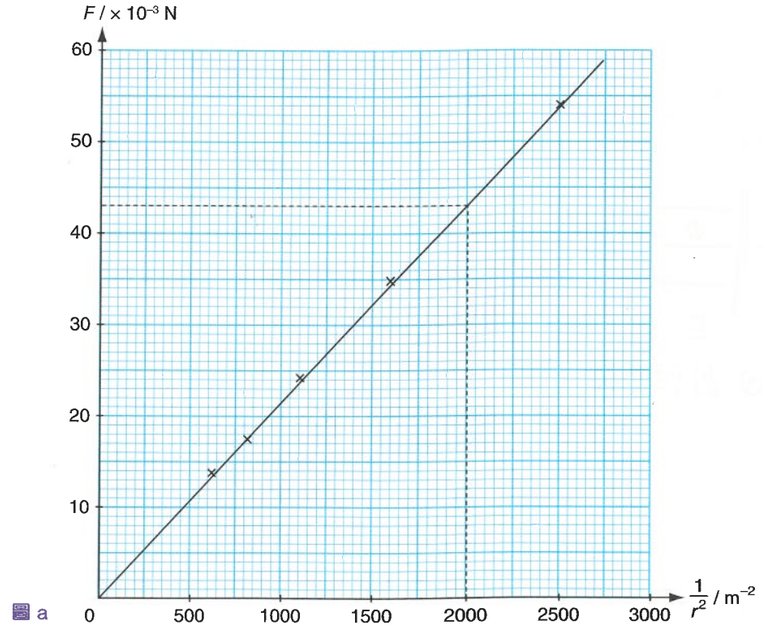


圖 a

穿過原點的線圖可用以下方程表達

$y = mx$

當中 m 是線圖的斜率。

比較上述方程和以下方程

$$F = \frac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r^2}\right)$$

得出線圖的斜率是 $\frac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon_0}$。

(b) 線圖的斜率 $= \frac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{43.0 \times 10^{-3} - 0}{2000 - 0} = 2.15 \times 10^{-5}$ N m^2

$$\Rightarrow \quad \varepsilon_0 = \frac{(5 \times 10^{-8})^2}{4\pi(2.15 \times 10^{-5})} = 9.25 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

ε_0 的標準值是 8.85×10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}。

百分誤差

$$= \frac{(9.25 - 8.85) \times 10^{-12}}{8.85 \times 10^{-12}} \times 100\%$$

$= 4.52\%$

歷史點滴

庫倫 (1736–1806)

庫倫在力學和電磁學方面成就卓越，其中最廣為人知的是對電荷間靜電力的研究。

進度評估 5 ✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.22）。

（第1至2題）兩個點電荷 X ($+5 \times 10^{-8}$ C) 和 Y (-2×10^{-8} C) 相距10 cm（圖 a）。取 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$。

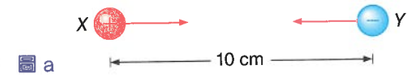


圖 a

1 **1** (a) 在圖 a 中繪畫作用於每個電荷的靜電力的方向。

(b) 求作用於每個電荷的靜電力的量值。 兩者都是 8.99×10^{-4} N。

[提示：$F = \dfrac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = ?$]

1 **2** 點電荷 Z (-3×10^{-8} C) 放在 X 和 Y 的正中間。

(a) 求 Z 作用於 Y 的靜電力的量值。 2.16×10^{-3} N（向右）

(b) 求作用於 Y 的淨靜電力。 1.26×10^{-3} N（向右）

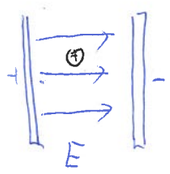
2 電場強度

電場強度是作用於每單位正檢驗電荷的靜電力。設正電荷 q 置於電場中某一點，並受靜電力 F 作用，那麼在該點的電場強度 E 定義為：

$$E = \frac{F}{q}$$

電場強度的單位是 $N\ C^{-1}$。電場強度是一個矢量，它的方向與電場的方向相同。

電場可由單一電荷產生，也可由不同的電荷組合產生。不論空間內是否有另一電荷出現（以感受該電場），電場都依然存在。



例題 8 在某點的電場強度

圖 a 中，一檢驗電荷 Q 放在電場中的 A 點時，感受到由電場引起的力 f。

(a) 求 A 點的電場強度。答案以 f 和 Q 來表示。

(b) 比較 A 點和 B 點的電場強度。

(c) 現在檢驗電荷 Q 由另一檢驗電荷 $3Q$ 取代。

(i) 求取代後檢驗電荷所受的靜電力。

(ii) 求 A 點的電場強度。

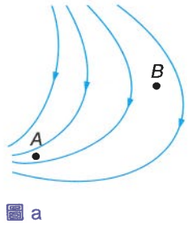


圖 a

電場強度 electric field strength

題解

(a) 電場強度 $= \dfrac{f}{Q}$

(b) 因為 A 點的場力線比 B 點密集，所以 A 點的電場強度比 B 點強。

(c) (i) 電荷所受的靜電力 $\propto$ 電量

$\therefore$ 電荷 $3Q$ 所受的力 $= 3 \times$ 電荷 Q 所受的力 $= 3f$

(ii) 電場強度不受檢驗電荷影響，所以在 A 點的電場強度仍然是 $\dfrac{f}{Q}$。

進度評估 6 Q1 (p.29)

可以應用方程 $E = \dfrac{F}{q}$ 來驗證答案。對檢驗電荷 $3Q$ 來說，

$E = \dfrac{3f}{3Q} = \dfrac{f}{Q}$

模擬程式 1.2

→ 模擬程式 1.2顯示由不同電荷組合所產生的合電場。

a 點電荷周圍的電場強度

考慮正點電荷 Q 和正檢驗電荷 q，兩者相距 r（圖 1.2b）。

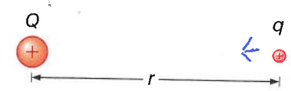


圖 1.2b 求點電荷 Q 的電場強度

因為作用於檢驗電荷 q 的靜電力 F 等於 $\dfrac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$，所以點電荷 Q 在該距離所產生的電場強度 E 是：

$$E = \frac{F}{q} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

一般來說，如果有多於一個電荷，某點的合電場強度就是各電荷產生的電場強度的總矢量（圖 1.2c）。

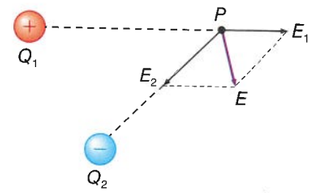


圖 1.2c 在 P 點，由電荷 Q_1 和 Q_2 所產生的合電場強度是 E

$E = \dfrac{F}{q}$ ▶ 只要知道作用在檢驗電荷上的靜電力，就能計算出在該點的電場強度。

F.X EXC

例題 9 兩個點電荷的合電場強度

兩個點電荷 Q_1 (+40 nC) 和 Q_2 (−10 nC) 放置在直線 AB 之上（圖 a）。Y 點在 Q_1 的右方 15 cm，在 Q_2 的左方 25 cm。

取 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9\ \text{N m}^2\ \text{C}^{-2}$。

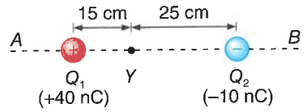


圖 a

(a) 求 Q_1 和 Q_2 作用於 Y 點的合電場強度。

(b) 在以下範圍，合電場強度有可能為零嗎？解釋你的答案。

(i) AB 線段上的 Q_1 和 Q_2 之間的範圍

(ii) AB 線段上 Q_1 的左方

題解

(a) Q_1 作用於 Y 的電場強度：

1 nC = 10^{-9} C ▶

$$E_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$= (9 \times 10^9) \times \frac{40 \times 10^{-9}}{0.15^2} = 1.60 \times 10^4\ \text{N C}^{-1}\ \text{（向右）}$$

Q_2 作用於 Y 的電場強度：

$$E_2 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$= (9 \times 10^9) \times \frac{-10 \times 10^{-9}}{0.25^2} = -1.44 \times 10^3\ \text{N C}^{-1}\ \text{（向右）}$$

✎ 也可向學生解釋，負號表示電場強度與靜電力的方向相反。

E_1 和 E_2 兩者都指向右（圖 b）。

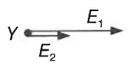


圖 b

合電場強度：

$$E = E_1 + E_2$$

$$= (1.60 \times 10^4) + (1.44 \times 10^3) = 1.74 \times 10^4\ \text{N C}^{-1}\ \text{（向右）}$$

(b) (i) 在 AB 線上 Q_1 和 Q_2 之間的任何一點，由 Q_1 和 Q_2 所引起的電場都是指向右的，它們不會互相抵銷。因此，在 Q_1 和 Q_2 之間電場強度不可能為零。

(ii) 對於 AB 線上 Q_1 左方的任何一點而言，Q_1 總比 Q_2 更為接近。此外，Q_1的電量比 Q_2大，因此由 Q_1所引起的電場總是較 Q_2強。由此可知，在該點的合電場強度不可能為零。

$E \propto \frac{Q}{r^2}$ ▶

習題與思考 1.2 Q3 (p.34)

b 帶電平行板之間的電場強度

單元 1.1 指出，兩塊帶相反電荷的平行金屬板互相靠近時，兩者之間的電場是勻強的（見 p.19）。圖 1.2d 所示的裝置，可用於產生這類電場。

兩塊相距 d 的平行金屬板，分別連接至電源的正負輸出端，兩者因而帶相反的電荷（圖 1.2e）。電源的輸出電壓設定為 V。兩塊板之間的電場強度是恆定的，可用以下方程求得：

$$E = \frac{V}{d}$$

電壓以伏特 (V) 為單位。因此，E 也可用 V m^{-1} 量度。在第 32 頁有這條方程的推導方法。 ▶

如果兩塊板並非互相平行（即 d 並非恆定不變），E 也會改變，所產生的電場不再是勻強的。 ▶

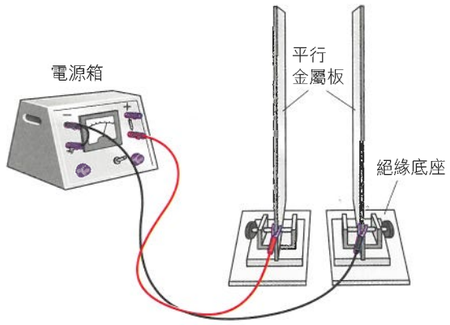


圖 1.2d 用兩塊帶相反電荷的平行板產生電場

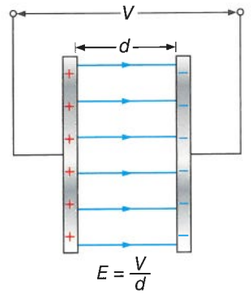


圖 1.2e 兩塊帶電平行板之間的電場強度是 $E = \frac{V}{d}$

進度評估 6

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.22）。

3 **1** 點電荷 q (-2×10^{-8} C) 受靜電力作用，力的量值為 1.2×10^{-3} N，指向左方（圖 a）。求 q 所在位置，電場強度的量值和方向。6×10^4 N C^{-1}（向右）

[提示：$E = \frac{F}{q} = ?$]

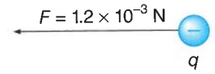


圖 a

3 **2** 點電荷 (4×10^{-8} C) 與 P 點相距 30 cm，求該點電荷作用於 P 點的電場強度。取 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2}$。$4.00 \times 10^3$ N C^{-1}

[提示：$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = ?$]

3 **3** 求圖 b 中金屬板之間的電場強度 E。10^5 N C^{-1}

[提示：$E = \frac{V}{d} = ?$]

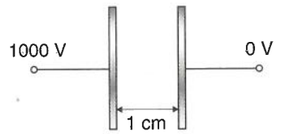


圖 b

F.X Ext

例題 10 勻強電場內的軌跡

兩塊水平放置的金屬板之間產生了一個勻強電場，兩塊板相距 4 cm，兩者之間的電壓為 5 kV。一粒電子從兩塊板正中央的位置沿水平方向進入電場。重力的效應可略去不計。取電子的電量為 -1.60×10^{-19} C，質量為 9.11×10^{-31} kg。

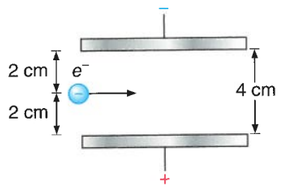


圖 a

(a) 求兩塊板之間的電場強度。

(b) 求電子在電場內所受的力。

(c) 描述並解釋電子在電場中的路徑。

(d) 兩塊板的闊度為 10 cm。如果電子剛好能夠通過電場並離開金屬板，它進入電場時的速率是多少？

題解

(a) 根據 $E = \frac{V}{d}$，

$$E = \frac{5000}{0.04} = 1.25 \times 10^5 \text{ N C}^{-1}$$

(b) 取電場的方向為正。

根據 $E = \frac{F}{q}$，

$$F = Eq = (1.25 \times 10^5)(-1.60 \times 10^{-19}) = -2 \times 10^{-14} \text{ N （向下）}$$

(c) 電子在水平方向所受的淨力為零，故以恆速率向右移動。然而，電場向電子施加向下的淨力，所以電子會以恆加速度向下移動。因此，電子最終沿一條向下彎的拋物線移動。

(d) 考慮垂直方向。取向下的方向為正。

$$a_y = \frac{F}{m} = \frac{2 \times 10^{-14}}{9.11 \times 10^{-31}} = 2.20 \times 10^{16} \text{ m s}^{-2}$$

根據 $s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$ 和 $u_y = 0$，

$$t = \sqrt{\frac{2s_y}{a_y}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.02}{2.20 \times 10^{16}}} = 1.35 \times 10^{-9} \text{ s}$$

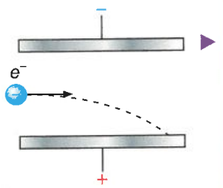
考慮水平方向。

$$u_x = \frac{s_x}{t} = \frac{0.1}{1.35 \times 10^{-9}} = 7.41 \times 10^7 \text{ m s}^{-1}$$

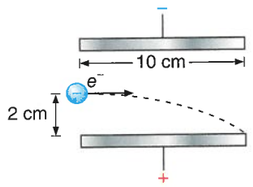
∴ 電子進入電場時的速率是 7.41×10^7 m s^{-1}。

複習 Q40 (p.47)

電子會像一個水平拋出的物體般移動。



如果電子剛好能離開金屬板，在時間 t 內所移動的垂直和水平位移就分別是 2 cm 和 10 cm。



預試訓練 2 兩塊帶電平行板之間的電場

☆ 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q8

小金屬球的電量為 2×10^{-8} C，以絕緣幼繩懸在勻強電場中。電場由兩塊相距 5 cm 的平行金屬板 P 和 Q 所產生（圖 a）。兩者之間的電壓為 1500 V。金屬球受電場作用，令幼繩與垂直線成角度 θ。

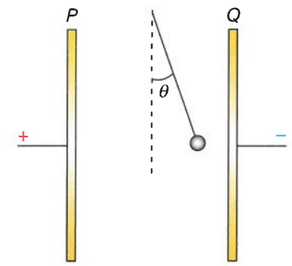


圖 a

(a) 求作用在金屬球上靜電力的量值。 (2 分)

(b) 假設 θ 為 10°。

(i) 求幼繩中的張力 T。 (2 分)

(ii) 據此，找出金屬球的重量 W。 (2 分)

(c) 學生認為如果懸掛金屬球的位置向 P 靠近一點，θ 就會改變。試評論這個說法。 (2 分)

題解

(a) 根據 $E = \frac{V}{d}$ 及 $F = Eq$， *1M*

$$F = \frac{Vq}{d}$$

$$= \frac{1500 \times (2 \times 10^{-8})}{0.05}$$

$$= 6 \times 10^{-4} \text{ N} \quad \textit{1A}$$

(b) 參看圖 b 的隔離體圖。

(i) 在水平方向，

$$T \sin 10° = F \quad \textit{1M}$$

$$T = \frac{F}{\sin 10°}$$

$$= \frac{6 \times 10^{-4}}{\sin 10°}$$

$$= 3.455 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\approx 3.46 \times 10^{-3} \text{ N} \quad \textit{1A}$$

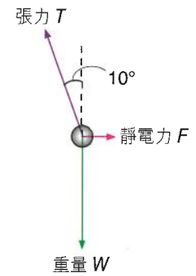


圖 b

(ii) 在垂直方向，

$$W = T \cos 10° \quad \textit{1M}$$

$$= (3.455 \times 10^{-3}) \times \cos 10°$$

$$= 3.40 \times 10^{-3} \text{ N} \quad \textit{1A}$$

(c) 這個說法不正確。 *1A*

帶電平行板之間的電場是勻強的。即是說，無論金屬球在兩塊板之間的哪一點，所受的靜電力也不變，因此 θ 的大小也不會改變。 *1A*

兩塊板之間的電場強度只取決於它們之間的電壓和距離。當這兩個因素固定不變，電場強度就維持不變。因此，作用於金屬球的靜電力及 θ 的角度大小都保持不變。

複習 Q36 (p.45)

F.X Ext

這部分會簡單介紹電勢能，讓學生所學的知識更完整。電動勢和電勢差的討論都牽涉電勢能的概念 (p.63)。

提醒學生勢能取決於物體受某特定力作用時的位置。

3 電勢能

假設質量為 m 的物體受外力作用，以恆速度垂直上升，所經過的高度為 h（圖 1.2f）。外力要對物體作功以克服重力，物體最終獲得重力勢能。

物體獲得的重力勢能 = 外力對物體所作的功

$$= Fs = (mg)h = mgh$$

在第 2 冊單元 10.2，g 亦可理解為引力場強度。 ▶ 其中 g 是重力加速度。

同樣地，在勻強電場中將正電荷 q 以恆速度移動距離 x（圖 1.2g），過程中須作功以克服靜電力，而電荷所獲得的能量稱為**電勢能**。

起點中，閃電時所釋出的熱和光能就是由電荷的電勢能轉換而來的。 ▶

電荷獲得的電勢能 = 外力對電荷所作的功

$$= Fs = (qE)x = qEx$$

其中 E 是電場強度。

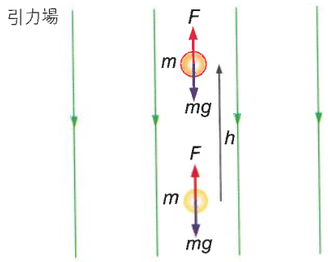


圖 1.2f 將物體垂直提升

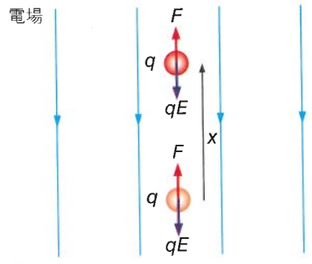


圖 1.2g 將電荷在勻強電場內移動

圖 1.2h 中，對於在兩塊平行板之間移動的正電荷來說，

電荷獲得的電勢能 = qEd

兩塊板之間的電壓 V，就是每單位電荷由一塊板移至另一塊板時的電勢能改變。因此，

有關電壓和電勢能的討論，參看單元 2.2。 ▶

$$V = \frac{\text{電荷獲得的電勢能}}{q} = \frac{qEd}{q} = Ed$$

這就得出了第 29 頁的方程。 ▶

$$\Rightarrow E = \frac{V}{d}$$

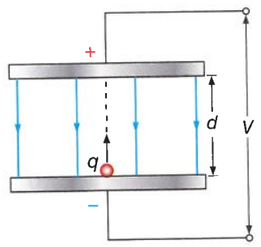
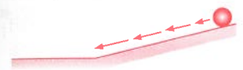


圖 1.2h 電荷橫跨兩塊平行板移動

F.X Ext

可用以下模型解釋過程中的能量轉換：



例題 11 加速的質子

質子由靜止加速，從正電板移至負電板（圖 a）。兩塊板之間的電壓為 4500 V。取質子的電量為 1.60×10^{-19} C，質量為 1.67×10^{-27} kg。無須考慮重力效應。

(a) 描述過程中的能量轉變。

(b) 求質子到達負電板時獲得的動能。

(c) 據此，求質子到達負電板時的速率。

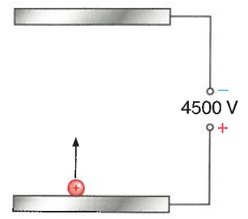


圖 a

題解

(a) 質子的電勢能轉換成它的動能。

(b) 設兩塊板之間的距離為 d。

根據 $E = \frac{V}{d}$，

失去的電勢能 $= qEd = q\left(\frac{V}{d}\right)d = qV = (1.60 \times 10^{-19})(4500)$

$= 7.20 \times 10^{-16}$ J

獲得的動能 = 失去的電勢能 $= 7.20 \times 10^{-16}$ J

(c) 根據 $\text{KE} = \frac{1}{2}mv^2$，

質子的速率 $= \sqrt{\frac{2 \times \text{KE}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times (7.20 \times 10^{-16})}{1.67 \times 10^{-27}}} = 9.29 \times 10^5$ m s^{-1}

習題與思考 1.2 Q12 (p.35)

進度評估 7

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.22）。

4 **1** 圖 a 顯示電子從 Y 板移至 X 板。取電子的電量為 -1.60×10^{-19} C。

(a) 過程中，電子會獲得還是失去電勢能？失去電勢能

(b) 求電子電勢能的改變。-3.2×10^{-16} J

[提示：電勢能 = qEd，$E = \frac{V}{d}$]

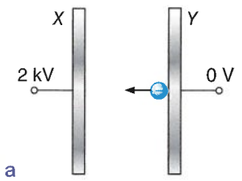


圖 a

4 **2** 圖 b 顯示電量為 3×10^{-8} C 的粒子由靜止加速，在 10 N C^{-1} 的勻強電場中由 X 點移至 Y 點。只有電場的靜電力作用於該粒子。

(a) 描述該粒子的能量轉變。由電勢能轉換為動能

(b) 找出將粒子固定在 X 點所需要的外力。3×10^{-7} N（向上）

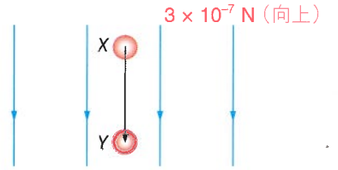


圖 b

習題與思考 1.2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.22）。

如有需要，取 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$ 和 $g = 9.81\ m\ s^{-2}$。

Ext 3 **1** 對於兩塊帶相反電荷平行板之間的電場（圖 a），下列哪一項描述是**不正確**的？

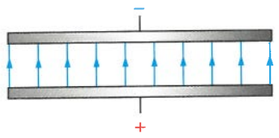


圖 a

A 電場為勻強。
B 電場強度是恆定的。
(C) 電場強度與兩板之間的距離成正比。
D 電場強度與兩板之間的電壓成正比。

Ext 4 **2** 一粒電子沿電場力線以恆速率移動。下列哪一項描述必定是正確的？

A 電子沒有感受到任何靜電力。
B 電場沒有對電子作功。
(C) 電子移動時，它的電勢能正在改變。
D 電子的移動方向與電場方向相反。

★ Ext 3 **3** Q_1、Q_2 和 Q_3 是三個相同的點電荷，各個的電量都是 q（圖 b）。它們在一條直線上平均分隔開。X 點處於 Q_1 和 Q_2 的中央位置，而 Y 點則處於 Q_1 的左方，與 Q_1 的距離相等於 X 與 Q_3 的距離。

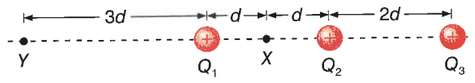


圖 b

下列哪些有關這三個電荷所產生的電場的敘述是正確的？

(1) 在 X 點和 Y 點的電場方向相同。
(2) X 點的電場強度量值比 Y 點的大。
(3) 電場內沒有其他位置的電場強度量值與 X 點的相同。

(A) 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

★ 1 **4** 三個點電荷置於一個等邊三個形的頂點上（圖 c）。Q_1 和 Q_2 的電量都是 $+q$。一個置於三角形中心的正電荷沒有感受到任何靜電力。Q_3 的電量是多少？

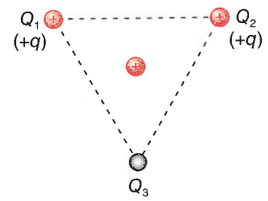


圖 c

(A) $+q$　　B $+0.5q$
C $+\sqrt{3}q$　　D $-q$

★ 2 **5** A、B、C 與 D 四點形成一個正方形（圖 d）。電荷 Q 置於 D 點。置於 A 點的檢驗電荷 q 會感受到由 Q 所產生的靜電力 F。在 B 點由 Q 所產生的電場強度是多少？

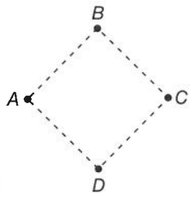


圖 d

A $\dfrac{F}{2Q}$　　(B) $\dfrac{F}{2q}$
C $\dfrac{F}{\sqrt{2}Q}$　　D $\dfrac{F}{\sqrt{2}q}$

1 **6** 圖 e 顯示兩個點電荷，兩者相距 r。

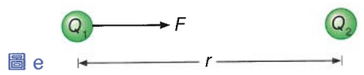


圖 e

(a) 如果 $Q_1 = 5 \times 10^{-8}$ C，$Q_2 = 2 \times 10^{-8}$ C，$r = 5$ cm，求 F。 3.60×10^{-3} N

(b) 如果 $Q_1 = Q_2 = -5 \times 10^{-8}$ C，$F = 5.5 \times 10^{-8}$ N，求 r。 20.2 m

Ext 3 **7** 兩塊帶相反電荷的平行板相隔 5 cm，兩者之間的電壓為 230 V。

(a) 試計算兩塊板之間的電場強度。 4600 N C^{-1}

(b) 如果兩塊板之間的距離減半，會怎樣影響 (a) 部的答案？ 原來的兩倍

(c) 如果兩塊板之間的電壓減半，會怎樣影響 (a) 部的答案？ 減半

1 **8** 圖 f 顯示三個相同的金屬球 A、B 和 C，以尼龍繩懸掛。球 B 帶正電，而球 A 和 C 則帶正或負電，而且電量與球 B 的相同。

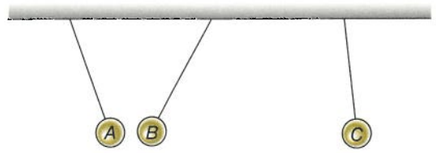


圖 f

(a) 球 A 和 C 帶有哪種電荷？ A：負電；C：正電

(b) 試繪出球 A、B 和 C 的隔離體圖，並標示出所有作用力。

(c) 如果球 A 和 B 對調位置，試畫圖顯示三個球體的新位置。

★ 1 **9** 三個點電荷 X $(+q)$、Y $(+q)$ 和 Z $(-5q)$ 如圖 g 所示放置，Y 與 X 相距 $4d$，與 Z 相距 $3d$，由 Y 作用於 X 的靜電力是 F。

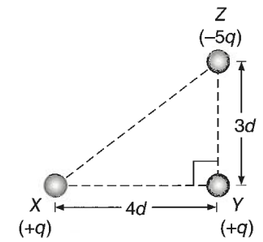


圖 g

以 F 來表示答案。

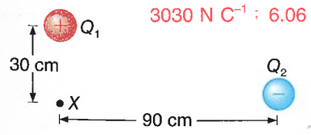
(a) 找出由以下電荷作用於 Z 的靜電力。
(i) X　(i) $\dfrac{16}{5}F$　(ii) $\dfrac{80}{9}F$
(ii) Y

(b) 據此，找出作用於 Z 的合靜電力的量值。 11.1 F

★ Ext 1, 3 **10** 在下列各情況，Q_1 的電量為 3×10^{-8} C，Q_2 的電量為 -4×10^{-8} C，求在 X 點由 Q_1 和 Q_2 所引起的合電場強度的量值。據此，再找出置於 X 點的電荷 Q_3 $(2 \times 10^{-8}$ C) 所受的合靜電力的量值。

(a) 2.30×10^4 N C^{-1}；4.60×10^{-4} N

(b) 3030 N C^{-1}；6.06×10^{-5} N



★ 1, 3 **11** A 和 B 是兩個以絕緣繩懸掛的球體，它們都帶電並互相吸引（圖 h）。兩個球處於同一水平，球 A 的質量是 20 g。

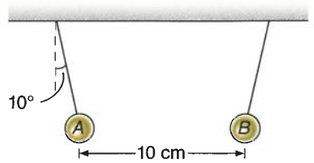


圖 h

(a) 懸掛球 A 繩子中的張力是多少？ 0.199 N

(b) 作用於球 A 的靜電力是多少？ 0.0346 N

(c) 球 A 的電量是 5×10^{-8} C，球 B 的電量是多少？ 7.69×10^{-7} C

Ext (d) 找出球 B 作用於球 A 所處位置的電場強度。 6.92×10^5 N C^{-1}（向 B）

★ Ext 4 **12** 兩塊平行金屬板 P 和 Q 相距 3 cm。一粒電子由靜止加速，從金屬板 P 移至金屬板 Q。兩塊板之間的電壓為 1 kV（圖 i）。重力的效應可略去不計，取電子的電量為 -1.60×10^{-19} C，質量為 9.11×10^{-31} kg。

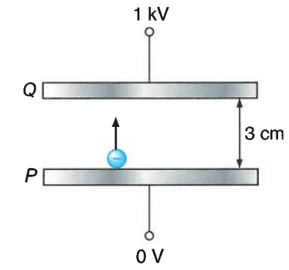


圖 i

(a) 求電子到達金屬板 Q 時的速率。 1.87×10^7 m s^{-1}

(b) 金屬板 P 和金屬板 Q 之間現相距 6 cm，試再計算 (a) 部。 1.87×10^7 m s^{-1}

(c) 從 (a) 和 (b) 部的答案，你可得出甚麼結論？

總結 1

詞彙

1	電荷 electric charge	p.2	11	起電 charging	p.9
2	靜電力 electrostatic force	p.2	12	放電 discharging	p.9
3	靜電學 electrostatics	p.2	13	接地 earthing	p.12
4	電子 electron	p.3	14	電場 electric field	p.17
5	中性 neutral	p.4	15	場力線 field line	p.17
6	庫倫 (C) coulomb	p.4	F.X 16	庫倫定律 Coulomb's law	p.22
7	絕緣體 insulator	p.5	F.X 17	電容率 permittivity	p.22
8	導體 conductor	p.5	F.X 18	電場強度 electric field strength	p.26
9	自由電子 free electron	p.5	F.X Ext 19	電勢能 electric potential energy (EPE)	p.32
10	感生電荷 induced charge	p.6			

課文摘要

1.1 電荷與電場

1 電荷有兩種：正電荷 (+) 和負電荷 (–)。電荷的單位是庫倫。電荷不能無中生有，也不能消滅，這就是電荷守恆定律。

2 電荷同性相斥，異性相吸。

3 電子：帶負電 (-1.60×10^{-19} C)
質子：帶正電 ($+1.60 \times 10^{-19}$ C)
中子：中性

4 輕易讓電子流過的物體稱為導體；難以讓電子流過的物體稱為絕緣體。

5 中性導體會因為帶電物體感生出電荷，因而受帶電物體吸引。

6 起電是指將中性物體變成帶電的過程，下列方法都能使物體帶電：
- 摩擦起電
- 授受起電
- 感應起電

7 接地是指帶電物體將電荷散佈到地球去的過程，如果沒有其他帶電物體在附近，導體接地便會放電（變成中性）。

8 帶電物體會在周圍建立電場，即使與其他物體或電荷沒有接觸，仍會對它們施加靜電力。

9 電場以場力線來表示（圖 a）。

10 兩塊帶相反電荷、電量相同的平行金屬板互相靠近，它們之間的電場是勻強的，場力線互相平行且平均分佈（圖 b）。

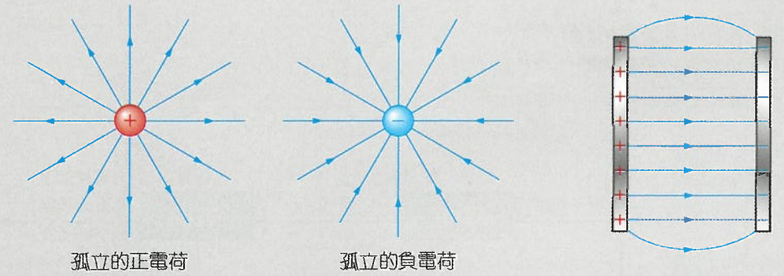


圖 a　　圖 b

11 電場力線有以下特性：
- 電場力線從正電荷出發，到負電荷終止。
- 電場力線顯示了作用於正檢驗電荷的靜電力的方向。
- 在電場圖形中，場力線愈密，電場愈強；場力線愈疏，電場則愈弱。
- 電場力線永不相交。

F.X 1.2 深入認識電場

12 庫倫定律：相距 r 的電荷 Q_1 和 Q_2 之間的靜電力 F 是

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

其中 ε_0 是真空電容率，數值約為 8.85×10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}。

13 電荷 q 在某點受靜電力 F 作用，則在該點的電場強度 E 定義為

$$E = \frac{F}{q}$$

電場強度是矢量，單位為 N C^{-1}，方向與電場相同。

Ext 14 點電荷 Q 的電場強度 E 是

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

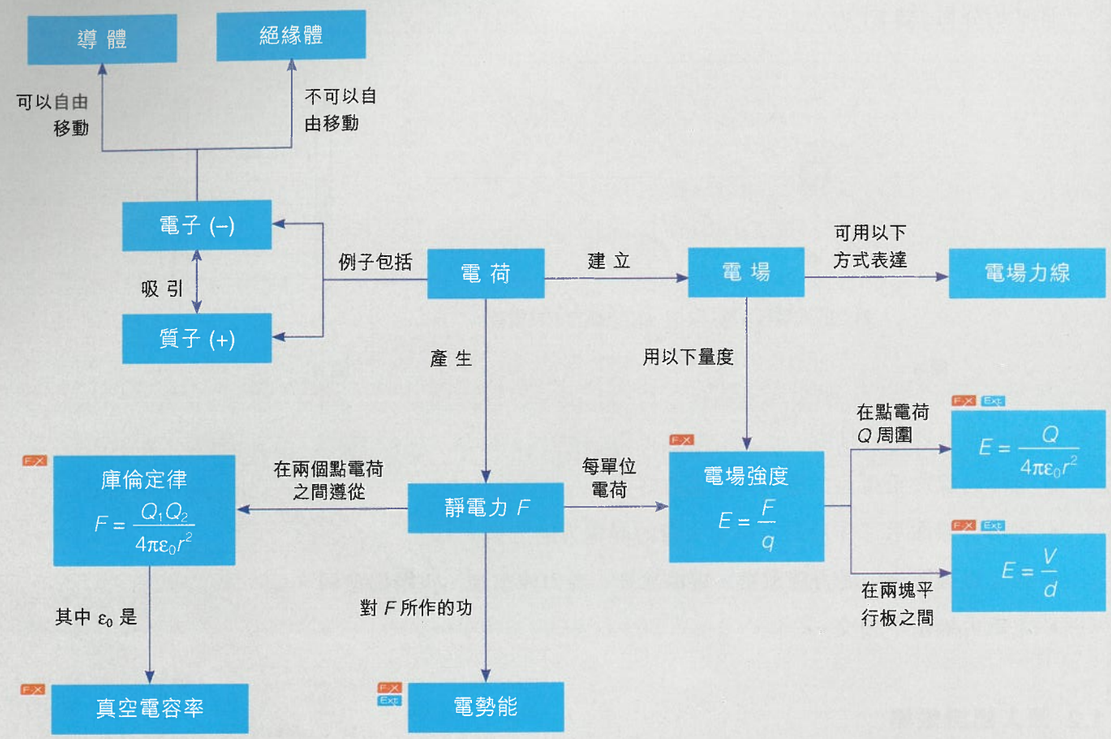
Ext 15 如果帶電平行板之間的距離是 d，電勢差是 V，則兩塊板之間的電場強度 E 的量值是

$$E = \frac{V}{d}$$

Ext 16 在勻強電場中將正電荷 q 以恆速度對抗靜電力移動距離 d，所需要作的功 W 是

$$W = qEd$$

概念圖



複習 1

Q2 導體的兩邊分別感生出正電荷和負電荷，但總電量為零。
Q3 在兩塊帶相反電荷的平行板之間，電場是均勻的。

如有需要，取 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$，$g = 9.81\ m\ s^{-2}$。

概念重溫

（第 1 至 3 題）判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 2011 年卷二Q25

1.1 **1** 帶電的塑膠棒可以吸引不帶電的金屬薄片。T

☆ 香港中學會考 2003 年卷二Q44

1.1 **2** 帶負電的棒接近不帶電且置於絕緣支架上的導體時，在導體內會感生出淨正電荷。F

☆ 香港高級程度會考 2010 年卷二Q21 考試報告

F-X 1.2 **3** 一粒質子置於兩塊帶相反電荷的平行板之間，在靠近負電板時會比靠近正電板時感受到更大的靜電力。F

多項選擇題

1.1 **4** 如下圖所示，三個金屬球 *P*、*Q* 和 *R* 互相靠近，但互不觸碰（圖 a）。已知 *P* 帶正電。在金屬球 *R* 的 *T* 邊和 *U* 邊會感生出哪種電荷？

圖 a

	T	*U*
A	正	正
B	正	負
(C)	負	正
D	負	負

1.1 **5** 下列哪些敘述是正確的？

(1) 金屬容許電子輕易流過，而塑膠物質卻不容許。
(2) 塑膠物質能經摩擦起電。
(3) 帶電的導體和帶電的絕緣體在接地後都會變為中性。

A 只有 (1)
(B) 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

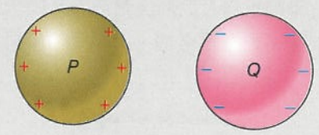
1.1 **6** 如果一個帶正電的導體接地，會發生下列哪一種情況？

A 導體中的質子會流向地球，導體變成中性。
B 導體中的電子會流向地球，導體變成中性。
C 質子會由地球流向導體，導體變成中性。
(D) 電子會由地球流向導體，導體變成中性。

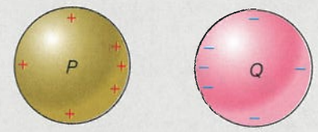
（第 7 至 8 題）中性金屬球 *P* 置於帶負電的金屬球 *Q* 的左邊。

1.1 **7** 下列哪一幅圖正確地顯示 *P* 和 *Q* 的電荷分佈？

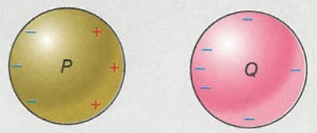
A



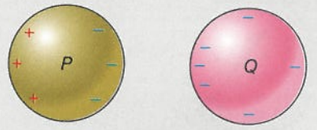
B



(C)



D



★ 1.1 **8** 移動 *P* 和 *Q*，使兩個金屬球互相接觸，再將 *P* 接地。兩個金屬球分開後，*P* 和 *Q* 各帶有甚麼淨電荷？

	P	*Q*
A	正	負
B	負	負
C	不帶電	負
(D)	不帶電	不帶電

F-X 1.2 **9** X、Y 和 Z 是三個電量相同的點電荷。作用於 X 的靜電力指向哪一個方向（圖 b）？

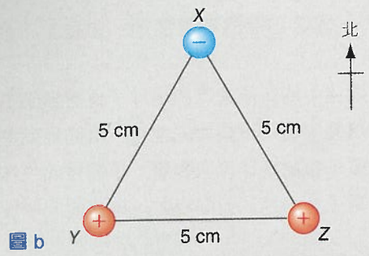


圖 b

A 向東　(B) 向南
C 向西　D 向北

F-X 1.2 **10** 兩個相同的球 X 和 Y 以兩條尼龍繩懸掛起來。球 X 和 Y 帶有相同電量，尼龍繩因而向某個角度傾斜（圖 c）。如果 X 的電量增加，尼龍繩的傾斜角度會變成怎樣？

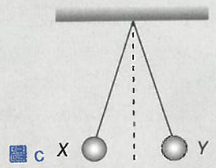
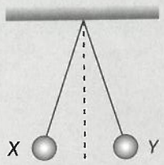
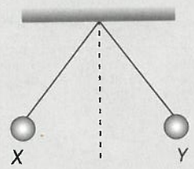
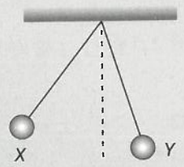
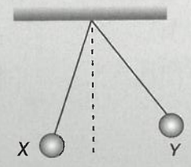


圖 c

A


(B)


C


D


（第 11 至 12 題）圖 d 顯示 X、Y 及 Z 三個點電荷所形成的電場。

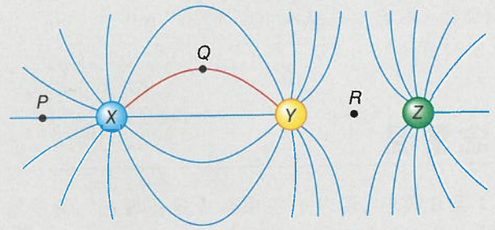


圖 d

★ 1.1 **11** 下列哪些敘述是正確的？

(1) 如果在 P 點從靜止中釋放一個電荷，電荷會沿水平方向移動。

(2) 如果在 Q 點從靜止中釋放一個電荷，電荷會沿着紅色的電場力線移動。

(3) 如果把電荷置於 R 點，電荷不會加速。

A 只有 (1)　(B) 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)　D (1)、(2) 和 (3)

★ 1.1 **12** 如果 X 帶正電，下列哪些敘述是正確的？

(1) 如果 X 的電量較大，將會有更多場力線由 X 指向 Y。

(2) 置於 Q 點的正電荷會感受到一道指向 Y 的吸力。

(3) 置於 R 點的中性物體會受到排斥。

(A) 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

★ F-X Ext 1.2 **13** 檢驗電荷 q 跟點電荷 Q 的距離為 R。在 q 的位置的電場強度為 E，而 q 所感受到的靜力為 F。檢驗電荷 $2q$ 跟 Q 的距離為 $3R$ 時，它感受到的電場強度和靜電力是多少？

	電場強度	靜電力
A	$\frac{E}{3}$	$\frac{2F}{3}$
(B)	$\frac{E}{9}$	$\frac{2F}{9}$
C	$3E$	$\frac{3F}{2}$
D	$9E$	$\frac{9F}{2}$

★ F-X Ext 1.2 **14**

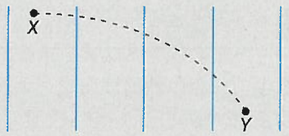


圖 e

圖 e 中的藍色垂直線代表兩塊帶電平行板之間的電場力線。現有一帶電粒子，只受電場內的靜電力作用，沿圖中的虛線移動。下列哪些敘述必定是正確的？

(1) 粒子在 X 點或 Y 點都會感受到相同的電場強度。

(2) 粒子在 X 點或 Y 點的動能相同。

(3) 粒子由 X 點移向 Y 點。

(A) 只有 (1)　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)　D (1)、(2) 和 (3)

★★ F-X 1.2 **15**

圖 f

X、Y 和 Z 是三個間距相同的粒子。Y 帶正電荷 Q，而 X 和 Z 則是中性的。外力 F 作用於正檢驗電荷 q，使它停留在 X 和 Y 的中央位置（圖 f）。如果每個粒子所帶的電荷變為 $\frac{Q}{3}$，F 的量值和方向會怎樣改變？

	量值	方向
A	增加	沒有改變
B	增加	方向倒轉
(C)	減少	沒有改變
D	減少	方向倒轉

參看 例題 6 (p.24)

★★ F-X 1.2 **16** X 和 Y 是兩個相同的球形導體，兩者靠得很近。X 和 Y 的電量比為 1 : 3，而兩者之間的靜電力為 F。X 觸碰 Y 一下後移回原來位置。X 觸碰 Y 後，兩者之間的靜電力可能是下列哪些數值？

(1) $\frac{F}{3}$

(2) $\frac{4F}{3}$

(3) $4F$

A 只有 (2)　B 只有 (3)
(C) 只有 (1) 和 (2)　D 只有 (1) 和 (3)

參看 p.10, 22

★★ F-X Ext 1.2 **17** 粒子 X 和 Y 以速率 v 進入兩塊帶電平行板之間形成的電場。X 和 Y 的質量相同但帶有異性的電荷。圖 g 中的虛線顯示了它們的路徑。無須考慮重力效應。

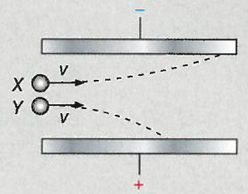


圖 g

下列哪些有關 X 和 Y 的敘述必定是正確的？

(1) X 帶有正電荷。

(2) Y 所受的靜電力較 X 的大。

(3) X 的電量較 Y 的大。

A 只有 (1)
B 只有 (3)
(C) 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

參看 例題 10 (p.30)

★★ F-X Ext 1.2 **18** 兩塊平行金屬板相距 d，兩者之間的電壓為 V。正電荷 Q 由 X 點經 Y 點移至 Z 點。圖 h 中的虛線顯示出 Q 的移動路徑。

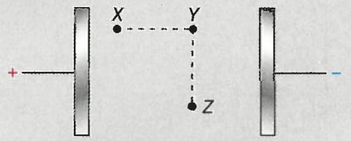


圖 h

下列哪些敘述必定是正確的？

(1) Q 從 X 點移至 Z 點會獲得電勢能。

(2) 將 Q 從 Y 點移至 Z 點並不用作功來克服靜電力。

(3) 如果將負電板移近正電板，Q 在 X 點和 Y 點之間的電勢能差會減少。

A 只有 (1)
(B) 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

參看 p.32

1.1 **19** **香港中學會考 2007 年卷二 Q19**

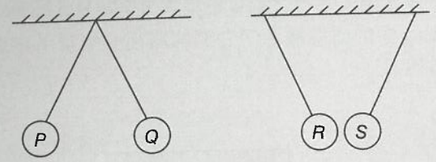


圖 i

圖 j

上圖中，P、Q、R 和 S 都是相同的輕質導體球，並用相同長度的絕緣細線將它們自由懸掛。

以下哪些推論是正確的？

(1) P 和 Q 必帶同性電荷。

(2) R 和 S 必帶異性電荷。

(3) P 和 Q 必帶等量的淨電荷。

(A) 只有 (1) (41%)　　B 只有 (2)

C 只有 (1) 和 (3)　　D 只有 (2) 和 (3)

F-X 1.2 **20** **香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q24**

兩個相同的細小金屬球 X 和 Y 分別帶電荷 $-2Q$ 及 $+6Q$。當 X 和 Y 相隔一段距離時，兩者之間靜電力的量值為 F。

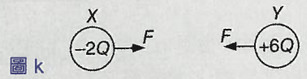


圖 k

當兩金屬球被移至互相接觸，然後再放回原位，兩者間的靜電力會變為

A $\frac{1}{4}F$，相吸。

B $\frac{1}{4}F$，相斥。

C $\frac{1}{3}F$，相吸。

(D) $\frac{1}{3}F$，相斥。 (53%)

F-X Ext 1.2 **21** **香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q25**

當雷雨雲與地面之間的電場（假設為勻強）的強度達到 3×10^6 N C^{-1}，閃電便會發生。一次閃電平均放出約 20 C 的電荷。如果雷雨雲離地面的高度是 500 m，估算一次閃電所釋出能量的數量級。

A 10^6 J

B 10^8 J

(C) 10^{10} J (58%)

D 10^{12} J

問答題

1.1 **22** 志豪用毛巾摩擦中性的玻璃球，令玻璃球帶電。毛巾經摩擦後，失去 3×10^{12} 粒電子。取電子的電量為 -1.60×10^{-19} C。

(a) 找出玻璃球經摩擦後所帶的電量。 -4.8×10^{-7} C （2 分）

(b) 志豪想令一個塑膠球帶電，因此他將塑膠球觸碰帶電的玻璃球。用這個方法能否令塑膠球帶電？試解釋原因。 不能 （2 分）

23 綜合題 帶電小球 A 以尼龍繩懸掛。小球 A 移近帶負電的圓球 B 時，受排斥並停在一平衡位置（圖 l）。

圖 l

(a) 小球 A 帶有哪種電荷？ 負電 （2 分）

(b) 試畫出小球 A 的隔離體圖，並標示出所有作用力。 （3 分）

(c) 若以小球 C 取代小球 A，小球 C 會被圓球 B 吸引。學生說：「由於電荷同性相斥，小球 C 必定帶正電。」試評論他的說法。 不正確（2 分）

1.1 **24** 在某個乾燥的日子，汽車行駛了一段距離後停下來。司機下車時，腳先踏地，手一接觸車門就觸電了（圖 m）。

圖 m

(a) 試解釋司機觸電的原因。 （3 分）

(b) 試提出一個令司機避免觸電的方法。 （1 分）

★ 1.1 **25** 一個附金屬外層的小球以絕緣幼繩懸掛，如圖所示置於兩塊帶相反電荷的平行金屬板之間（圖 n）。

圖 n

現將小球觸碰正金屬板。試描述並解釋放開小球後會有甚麼事情發生。 （4 分）

★ 綜合題 **26** (a) 一個細小正電荷在電場內移動。圖 o 顯示該電場的圖形，以及電荷在電場內所感受到的靜電力 F。

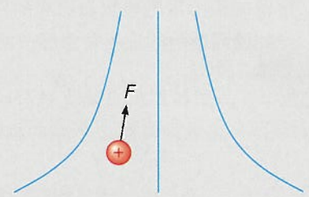


圖 o

(i) 在電場力線上繪畫箭號標示出電場的方向。 （1 分）

(ii) 電荷移至另一位置時，F 會否改變？為甚麼？ 會 （2 分）

(b) 一個帶電粒子以速率 v 進入勻強電場。下圖的虛線表示粒子從 X 點移至 Y 點的路徑（圖 p）。

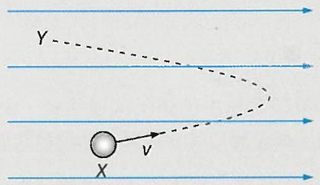


圖 p

(i) 粒子帶正還是負電荷？ 負電荷 （1 分）

F-X Ext (ii) 過程中，粒子的動能有沒有改變？試簡單解釋。 有 （2 分）

★ F-X 1.2 **27** 四個點電荷 (−1 nC)、Q (−2 nC)、R (+3 nC) 和 S (−2 nC) 置於正方形的四個頂點上（圖 q）。正方形的邊長為 50 cm。取 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$ N m^2 C^{-2}。

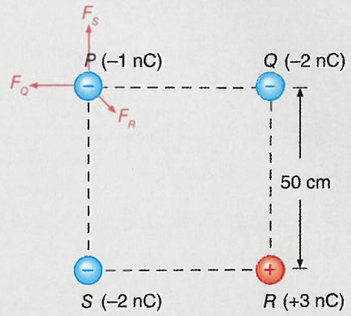


圖 q

(a) 在圖 q 繪畫箭號指出 Q、R 和 S 作用在 P 上靜電力的方向。 （2 分）

(b) 找出作用在 P 上合靜電力的量值的方向。 4.78 × 10^{-6} N（離開 R） （4 分）

★ F-X Ext 1.2 **28** 圖 r 中的 E–x 線圖顯示在兩塊帶電平行板之間，電場強度 E 在離開負電板距離 x 時的大小。

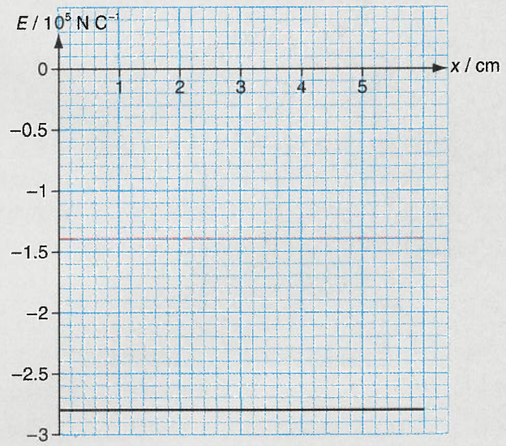


圖 r

(a) 從線圖可以得知甚麼？ （1 分）

(b) 兩塊板相距 6 cm 時，它們之間的電壓是多少？ 1.68 × 10^4 V （2 分）

(c) 兩塊板之間的電壓現減半，試在圖 r 繪畫新的 E–x 線圖。 （1 分）

★ **29** F-X Ext 1.2

在圖 s，Q_1 的電量為 5×10^{-8} C，而 Q_2 的電量為 -3×10^{-8} C。取 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$ N m^2 C^{-2}。

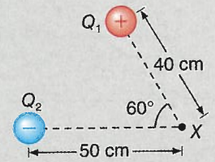


圖 s

(a) 求在 X 點由 Q_1 和 Q_2 引起的合電場強度量值。
2460 N C^{-1} （3 分）

(b) 據此，求作用在 X 點上的電荷 Q_3 (4×10^{-8} C) 的合靜電力量值。9.83 × 10^{-5} N （2 分）

★ **30** F-X Ext 1.2

W、X、Y 和 Z 是有相同電量 Q 的粒子，但所帶電荷的正負不一。它們如圖 t 所示分佈。如果 Q 是 4 nC，在 P 點的合電場強度是多少？ （4 分）
636 N C^{-1}（向右）

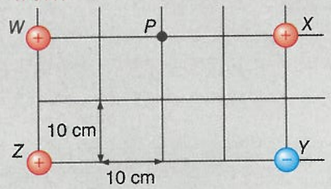


圖 t

★ **31** F-X Ext 1.2

密立根讓一顆油滴懸浮在兩塊水平放置的帶電板之間，以量度油滴所帶的電量。圖 u 顯示實驗的裝置簡圖。兩塊板之間的電壓為 1224 V，油滴的質量為 1×10^{-14} kg，兩塊板相距 0.6 cm。取 $g = 9.81$ m s^{-2}。

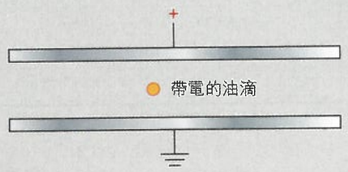


圖 u

(a) 油滴帶正還是負電荷？負電 （1 分）

(b) 求兩塊板之間的電場強度。 （2 分）
2.04 × 10^5 N C^{-1}（向下）

(c) 如果兩塊板之間的電壓變為零，油滴會有甚麼事情發生？ （1 分）

(d) 油滴所帶的電量是多少？−4.81 × 10^{-19} C （2 分）

★ **32** F-X Ext 1.2

圖 v 顯示一電子槍，電子從陰極射出後，由陽極加速，到達陽極時的速率為 6.6×10^6 m s^{-1}。設電子離開陰極時的初速率為零。

取電子的電量 $e = -1.60 \times 10^{-19}$ C，電子的質量 $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg。重力的效應可略去不計。

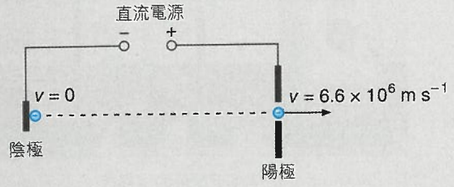


圖 v

(a) 求電子從陰極到達陽極時所獲得的動能。
1.98 × 10^{-17} J （2 分）

(b) 求直流電源的輸出電壓。124 V （2 分）

(c) 陰極和陽極相距 10 cm。求在電子槍內，作用於電子的靜電力的量值。1.98 × 10^{-16} N （2 分）

(d) 電源的輸出電壓現變為原來的四倍。試解釋電子到達陽極時的速率會怎樣改變。 （2 分）
原來的兩倍

★★ **33** 綜合題

1752 年，美國科學家富蘭克林發明了一個探測閃電的儀器，該儀器與圖 w 所示的相似。

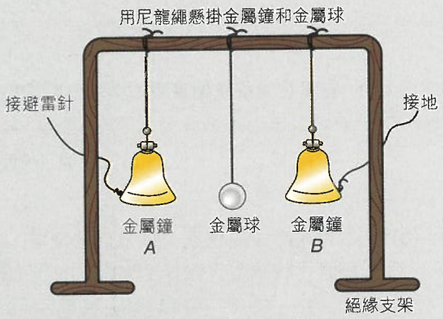


圖 w

如果閃電擊中屋頂上的避雷針，金屬鐘 A 便帶負電，而金屬球會在撞擊兩個鐘數次後停下來。

(a) 閃電擊中避雷針後，金屬球會先撞擊哪個鐘？試解釋你的答案。A （4 分）

(b) 假設以絕緣棒取代尼龍繩。閃電擊中避雷針。

(i) 在鐘 A 和金屬球之間，可能見到甚麼？
火花 （1 分）

(ii) 鐘 A 維持帶電，試畫出鐘 A、B 和金屬球的電荷分佈所形成的場力線。繪圖時，把金屬鐘簡化為球體。 （2 分）

參看 p.6

★★ **34** 1.1

圖 x 顯示一個金箔驗電器。金屬碟、金屬支架和金箔三者連接在一起，安置在絕緣容器中，金箔可沿支點自由轉動。

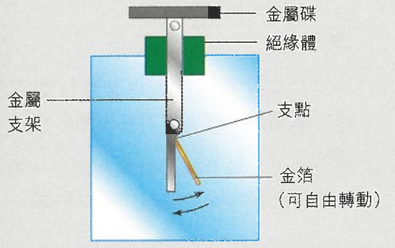


圖 x

(a) 驗電器不帶電。帶有正電的棒現移近金屬碟。

(i) 描述金箔的運動。試扼要解釋你的答案。 （3 分）

(ii) 棒移開時，金箔會怎樣？ （1 分）

(b) 驗電器現帶負電。在下列各情況，金箔會怎樣？

(i) 帶負電的棒移近金屬碟 轉動幅度增加 （1 分）

(ii) 不帶電的鐵棒放在金屬碟上 （1 分）
轉動幅度減小

參看 p.9

★★ **35** F-X Ext 綜合題

兩個點電荷 A (2×10^{-8} C) 和 B (-2×10^{-8} C) 相距 30 cm（圖 y）。S 和 T 是位於 AB 的垂直平分線上的兩點。

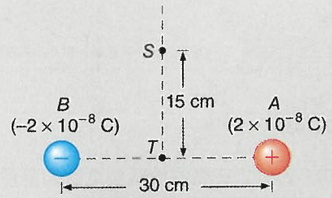


圖 y

(a) 指出 S 點和 T 點的電場方向。向左 （1 分）

(b) 求 T 點的電場強度。 （3 分）
1.60 × 10^4 N C^{-1}（向左）

(c) 如果電荷 B 的電量變為 2×10^{-8} C。
S：向上；T：零

(i) 求 S 點和 T 點的電場方向。 （2 分）

(ii) 把一個中性點粒子放在 S 點，它會怎樣移動？靜止不動 （1 分）

(iii) 如果將 (ii) 部提及的中性粒子改為細小中性金屬球，會有甚麼事情發生？試解釋原因。 （4 分）

參看 例題 9 (p.28)

考試報告見第 48 頁。

36 綜合題 **香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q8**

如圖 z 所示，把兩塊設在底座上的豎直大金屬板平行放於聚苯乙烯板上。兩塊金屬板分別接駁至超高壓電源的正極和負極，而兩板的間距為 $d = 10$ cm。

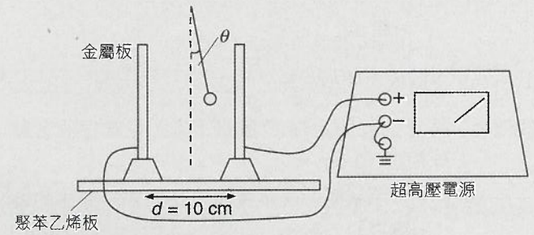


圖 z

一帶電小球以尼龍線懸掛，把它放置於兩塊金屬板的中央位置。平衡狀態時，尼龍線與豎直成 θ 角。

(a) 繪畫一隔離體圖以顯示作用在帶電小球上的力，並在所繪圖中指出兩塊金屬板之間電場的方向。 （3 分）

(b) (i) 以作用在小球的電力 F 和小球的重量 W 表達 tan θ 。 tan θ = $\frac{F}{W}$ （1 分）

F-X Ext (ii) 已知小球的質量為 0.07 g。當兩塊金屬板之間的電壓為 4000 V 時，θ = 2°。估算小球所帶電荷的量值。假設兩塊金屬板之間的電場為勻強。 （3 分）
6.00 × 10^{-10} C [6.11 × 10^{-10} C]

F-X Ext (c) 利用圖 z 的裝置，建議一個簡單的方法以測試兩塊金屬板之間的電場是否勻強。 （3 分）

❑ 考試報告見第48頁。 ☆ 略去原題 (b)(ii) 部。

F-X 37 綜合題 **香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q11**

圖 aa 顯示兩個相同的細小金屬球 X 和 Y，以等長的絕緣線懸掛着。每個金屬球的質量為 1.0×10^{-5} kg，並分別帶 3.1 nC ($1\ nC = 10^{-9}\ C$) 的正電荷。兩球的間距 d 為 10 cm。球的大小跟兩者間距相比可忽略，因此兩球可視為點電荷。取 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9\ N\ m^2\ C^{-2}$。($g = 9.81\ m\ s^{-2}$)

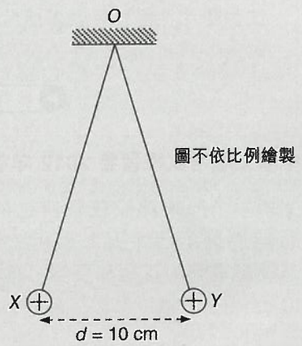


圖 aa

(a) 求兩線之間的夾角。10.1° (3 分)

Ext (b) 點 P 位於固定點 O 豎直下方，並跟每個金屬球相距 10 cm。

(i) 標示該兩個帶電金屬球在 P 點所產生的合電場的方向。 (1 分)

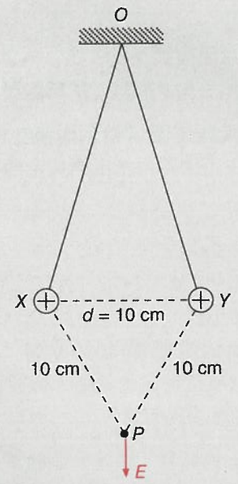


圖 ab

(ii) 現於 P 點放置一個有限大小的不帶電金屬球，指出間距 d 會因該金屬球的存在而增加、減小還是保持不變。 減小 (1 分)

❑ 考試報告見第48頁。 ☆ 略去原題 (a)–(b) 部。

38 綜合題 **香港高級程度會考 2011 年卷一 Q7**

如圖 ac 所示，導電小球放置於兩塊平行金屬板正中間，金屬板連接超高壓電源及電流計。

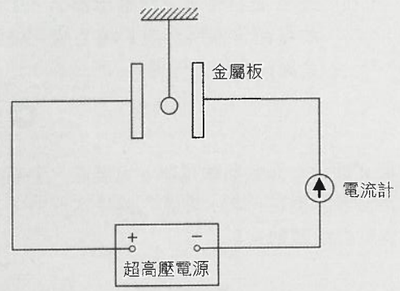


圖 ac

(a) 指出如何使小球開始於金屬板間不斷穿梭往返。解釋為甚麼小球能在板間穿梭。 (3 分)

F-X Ext (b) 如縮短供小球穿梭的金屬板間距，指出及解釋電流計所錄得平均電流如何受影響。 (3 分)

F-X 39 綜合題 **CCEA GCE A2 Unit 1 January 2006 Q6**

(a) 真空中的兩個點電荷相距 r，它們之間作用力的量值是 F。簡繪線圖，顯示 F 在以下情況怎樣隨 r 變化：

(i) 兩個電荷的電量分別為 $+Q$ 和 $+Q$（把圖命名為圖 1），

(ii) 兩個電荷的電量分別為 $+2Q$ 和 $-2Q$（把圖命名為圖 2）。 (3 分)

Ext (b) 如圖 ad 所示，真空中的兩個電荷 $-Q$ 和 $+Q$ 的位置相近。

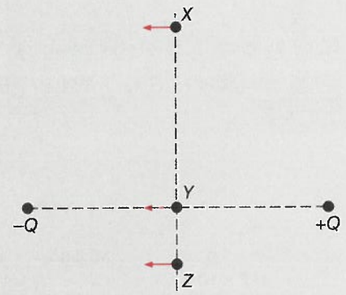


圖 ad

X、Y 和 Z 三點位於兩個電荷的垂直平分線上。

(i) 在圖 ad 中標示出電場在 X、Y 和 Z 點的方向。 (3 分)

(ii) X、Y 和 Z 哪一點的電場強度最大？ Y (1 分)

Ext (c) 施加電壓，使兩塊平行金屬板之間形成一個勻強電場。兩塊板之間的距離是 d。

(i) 如果兩塊板之間的電壓保持不變，試簡繪線圖，以顯示電場強度 E 和板間距的倒數 $\left(\text{即 } \frac{1}{d}\right)$ 有甚麼關係。 (1 分)

(ii) 圖 ae 顯示 (c)(i) 部描述的平行板及它們之間的電場方向。要形成這個方向的電場，這兩塊板的極性是怎樣的？在圖 ae 中標明這兩塊板的極性。 (1 分)

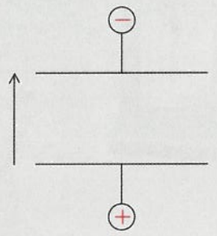


圖 ae

(iii) 在兩塊板正中間的電場強度是 $7.0 \times 10^3\ N\ C^{-1}$。已知道兩塊板相距 12 mm，試計算它們之間的電壓。 (3 分)
84 V

F-X Ext 40 綜合題 **BOSTES HSC 2009 Q19**

某礦物樣本釋出一粒電子，電子穿過孔 A，用 $6.0 \times 10^6\ m\ s^{-1}$ 的速率以 60° 角進入光譜儀。已知：電子的電量為 1.60×10^{-19} C，電子的質量為 9.11×10^{-31} kg。

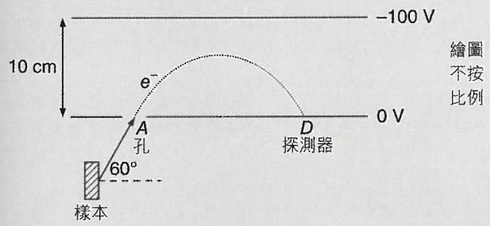


圖 af

(a) 計算在光譜儀內作用在電子上的力的量值和方向。 1.60×10^{-16} N（指向 0 V板） (3 分)

(b) 電子以恆加速度移動，最後撞向探測器 D。電子從 A 移至 D 需時多久？ 5.92×10^{-8} s (3 分)

❑ 考試報告見第49頁。 ☆ 略去 (b)(iii)–(iv) 部。

41 綜合題 **WJEC Physics GCE Summer 2011 PH4 Q4**

如圖所示有兩個細小正電荷置於空間內。

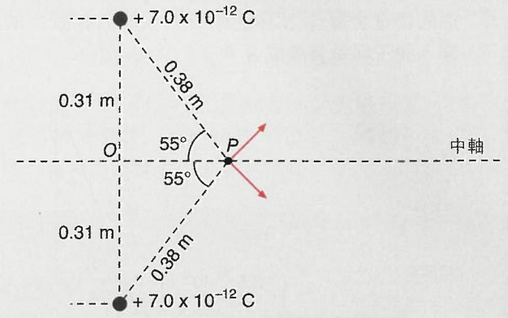


圖 ag

(a) (i) 在 P 點繪畫箭號以顯示各電荷作用在 P 點的電場方向。 (1 分)

F-X Ext (ii) 計算 P 點的合電場強度。0.500 N C⁻¹ (4 分)

F-X Ext (iii) 以下線圖顯示在中軸上的合電場強度 E_{res} 怎樣隨離開 O 點的距離而變化。

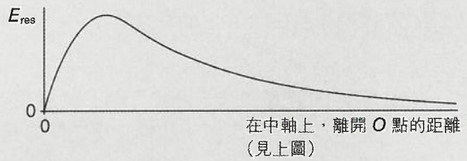


圖 ah

試簡單解釋為甚麼

(1) O 點的 E_{res} 為零。 (1 分)

(2) 離 O 點極遠時，E_{res} 的值會隨着離開 O 點的距離增加而減少。 (1 分)

F-X Ext (b) 正離子的電量為 4.8×10^{-19} C，質量為 4.5×10^{-26} kg，進入圖所示的區域，沿中軸移動。在 O 點時，離子正以 $2000\ m\ s^{-1}$ 的速率向右移動。引力和阻力可略去不計。

(i) 計算離子經過 P 點時的加速度。$5.33 \times 10^6\ m\ s^{-2}$
[可利用 (a)(ii) 部得出的答案] (2 分)

(ii) 離子由 O 點沿中軸移至 P 點以外，試描述過程中離子的速率怎樣改變。 (2 分)

F-X 42 OCR GCE Jun 2011 Q4
綜合題

一個帶電的細小金屬球 A 以絕緣繩懸掛。球 A 帶有的電量是 +5.0 nC。圖 ai 顯示，置在絕緣棒末端的帶電金屬球 B 移近球 A 時，球 A 所受到的影響。繩子與垂直線成 θ 角。

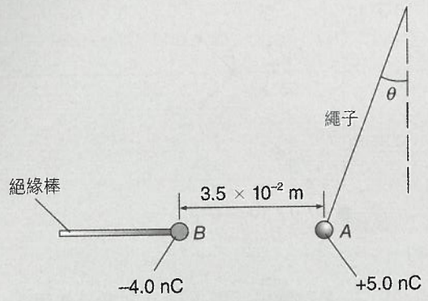


圖 ai

球 B 帶有的電量是 −4.0 nC。兩個球體的中心相距 3.5×10^{-2} m。

(a) 找出兩個帶電球體正中間那一點的電場強度的量值和方向。2.64×10^{5} N C^{-1}（向左） （4 分）

Ext (b) 證明作用在球 A 上的電力是 1.5×10^{-4} N。 （2 分）

(c) 球 A 的質量是 4.5×10^{-5} kg。試應用分解矢量的方法，找出繩子和垂直線之間的角度 θ。
18.8° （3 分）

實驗題

★ 43 1.2 使用圖 aj 所示的儀器，描述一個實驗，以說明球體的大小會怎樣影響所分得的電荷量值。答案須包括實驗中要量度的物理量以及預期的結果。假設電荷能長時間保留於球體中。 （6 分）

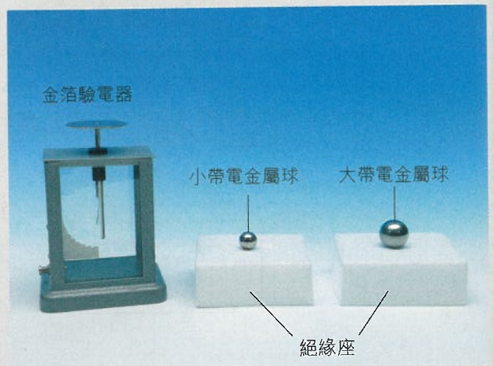


圖 aj

❑ Q36 考試報告：考生在 (a) 和 (b) 部的整體表現平平，從錯處可看出他們並沒有仔細閱讀題目，例如，學生只在圖 z 標示力，但並沒有按題目指示畫出所需的隔離體圖。在 (b)(ii) 部中，有些考生用 0.07 kg 而非 0.07 g 來計算。從考生在 (c) 部的表現可看出他們對平行板系統的一些錯誤概念。有些考生認為調整平行板的間距時，角 θ 會保持不變；有些則認為若電場不均勻，小球便會擺動。

❑ Q37 考試報告：在 (a) 部，雖然考生多能引用方程式來計算靜電力，但錯漏百出，例如將靜電力減半，誤取 $4\pi\varepsilon_0 = 9 \times 10^{9}$ N m^2 C^{-2} 或代入 $r = 5$ cm，所繪自由體圖不正確等。很多考生沒有回答 (b)(i) 部，有些將整個電場圖樣繪出，更有個別考生誤以為合電場是朝上指向正電荷。在 (b)(ii) 部，少於半數考生能正確作答，這顯示很多考生不明導體受鄰近電荷或電場影響可引致感應帶電。

❑ Q38 考試報告：平平。考生在 (a) 部表現不俗，但有些考生未能指出如何令球開始穿梭。在 (b) 部，很多考生混淆了金屬板上的電荷和球所帶的電荷，以致錯誤推斷金屬板上擁有更多電荷而導致電流增加。

物理文章分析

★ 44 1.2 閱讀下列一段有關靜電噴漆的文章，然後回答隨後的問題。

靜電噴漆

汽車必須上漆以防止車身銹蝕。靜電噴漆是一個有效率的上漆方法。油漆從噴嘴射出時，每一滴漆都會帶上正電荷（圖 ak），而車身就會因接駁高壓電而帶負電荷，因而吸引帶正電荷的細小漆滴（圖 al）。用這個方法上漆，除了消耗油漆較少之外，油漆亦會牢固地黏附在車身上。

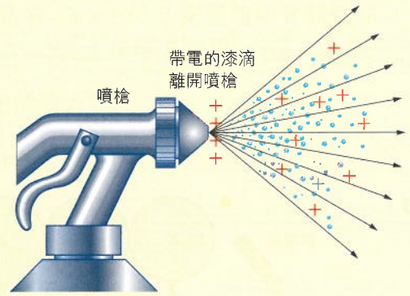


圖 ak

圖 al

(a) 利用噴槍可確保車身能均勻上漆，試解釋過程。 （2 分）

(b) 為甚麼用靜電噴漆法來為汽車上漆，油漆的消耗量會較少？ （1 分）

(c) 如果漆滴和車身帶有同性的電荷，會有甚麼事情發生？ （2 分）

❑ Q41 考試報告：

(a) (i) 大部分考生正確畫出箭號，以表示個別電荷作用在 P 點的電場方向，然而，小部分考生繪畫的卻是合電場強度。

(ii) 求個別電荷的電場強度時，學生常犯的錯誤包括把電荷之間的力誤當答案、取 r 為 0.31 m 而非 0.38 m，但許多學生並沒有犯這類錯誤。計算合電場強度時出現更多問題，但許多考生都正確地把 2 cos 55° 和個別電場強度相乘。考生繪畫矢量圖時，經常誤把個別電場強度的夾角看成是直角。更有若干考生一開始把 0.38 m 乘以 cos 55°，這揭示他們有極嚴重的錯誤概念。

(iii) 考生一般能圓滿解釋線圖的形狀，但部分考生卻指在 O 點出現電荷互相抵銷而非電場互相抵銷。本題目並不困難，但線圖並非學生常見的類型。

(b) (i) 考生計算離子在 P 點的加速度時，須把 (a)(ii) 部的電場強度乘以離子的電量，然後再除以離子的質量。不少考生略去了第一個步驟，但仍有許多考生得出正確答案。

(ii) 大部分考生（雖然未達足夠多數）都知道離子不會因電場強度減少而減慢。少部分考生明瞭速率的**增加率**會隨圖線改變，即由零開始上升至最高值，然後再下降。

自我評核 1

時間：25 分鐘　　總分：16 分

答題須知

1 全部題目均須作答。
2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
3 答案須寫在預留的空位內。
4 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

如有需要，取 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$ 和 $g = 9.81\ m\ s^{-2}$。

甲 部

1.1 **1** 氣球 X 帶負電，放近氣球 Y 時會將它吸引。由此可知，

A Y 是中性的。
B Y 必定帶正電。
C Y 必定帶負電。
D Y 可以是中性或是帶正電。　　D

F-X 1.2 **2**

圖 a

圖 a 中，O 點處於兩個負點電荷的正中間。P 點離開兩個點電荷的距離相等。下列哪些敘述是正確的？

(1) 各電荷引起的電場會在 P 點互相抵銷。
(2) 在 O 點的合電場強度是零。
(3) 作用在置於 P 點的正檢驗電荷上的合力指向左。

A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)　　D

1.1 **3**

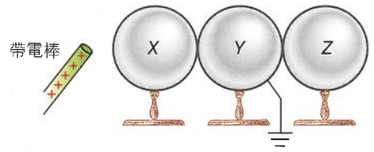


圖 b

三個置於絕緣支架上的中性金屬球 X、Y、Z 互相接觸。一支帶正電的棒移近但不觸碰 X 時，Y 短暫接地（圖 b）。當棒仍停留在 X 附近時，X、Y 和 Z 帶有甚麼淨電荷？

	X	Y	Z
A	負	中性	正
B	負	中性	中性
C	正	負	負
D	中性	中性	中性

B

（第 4 至 5 題）如圖 c 所示，一個粒子帶有 $+2e$ 電量，進入一個強度為 $5 \times 10^3\ N\ C^{-1}$ 的勻強電場區域。該區域呈正方形，邊長為 0.2 m，而該粒子的初速率為 $10^5\ m\ s^{-1}$。重力的效應可略去不計。取 $e = 1.60 \times 10^{-19}\ C$。

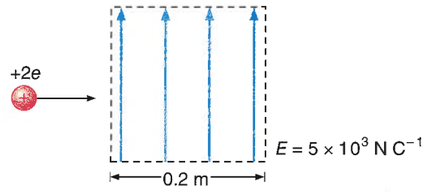


圖 c

F-X 1.2 **4** 在電場內，作用於該粒子的靜電力的量值是多少？

A 1.6×10^{-16} N
B 1.6×10^{-15} N
C 8×10^{-17} N
D 8×10^{-16} N　　B

F-X Ext 綜合題 **5** 穿過該電場區域後，該粒子的電勢能會怎樣改變？

A 獲得多於 3.2×10^{-16} J
B 獲得不多於 3.2×10^{-16} J
C 失去多於 3.2×10^{-16} J
D 失去不多於 3.2×10^{-16} J　　D

乙 部

F-X 1.2 **6** 學生把帶有 $+3 \times 10^{-8}$ C 電量的球 B 放近球 A，球 A 帶有正電，以輕絕緣繩懸掛。如圖 d 所示，球 A 偏斜了 5°。球 A 和球 B 相隔 3 cm，處於同一水平。球 A 的質量為 15 g。

(a) 求繩的張力。　　(2 分)

0.148 N

(b) 找出球 A 的電量。　　(2 分)

4.30×10^{-8} C

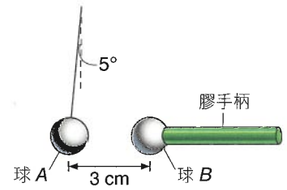


圖 d

F-X Ext 1.2 **7** 圖 e 中，帶有電荷 $+Q$ 的粒子跟 P 點相距 d。另一個正負不明的帶電粒子 X 置於 P 點右方，與該點相距 $2d$。在 P 點的電場強度為零。

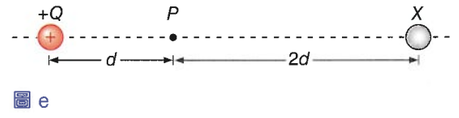


圖 e

(a) 求 X 所帶的電量。　　(2 分)

$4Q$

(b) X 所帶的電荷變為 $\frac{Q}{4}$。利用 (a) 部的答案或用其他方法，找出若 P 點的電場強度仍然為零，X 應置於哪處。　　(2 分)

P 點右方，與該點距離 $\frac{d}{2}$ 的位置

(c) 圖 f 中有四個帶電粒子，所帶電荷分別為 $+3q$、$-4q$、$-q$ 和 $+12q$。如果 P 點的電場為零，求 y。　　(3 分)

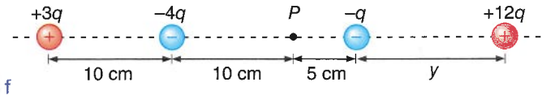


圖 f

35 cm

2 電路

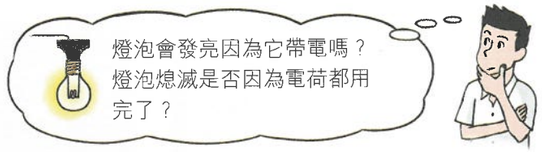
我們在這一課會學到

- 電流的定義及量度方法
- 電壓的定義及電壓與能量傳送的關係
- 歐姆定律
- 電阻器以串聯及並聯方式連接時的等效電阻
- 安培計、伏特計及電源的內電阻對電路的影響

2.1 電流

✔ 本節重點
1 電流為電荷流
2 電流和它的量度單位
3 電流的單位
4 串聯和並聯電路的電流

起點　帶電的燈泡會發亮嗎？



我們可以做實驗來找出答案。用超高壓電源令氖燈泡帶電（圖 a），帶電的燈泡有沒有發亮？然後用手指觸碰帶電的燈泡（圖 b），燈泡會怎樣？ 參看第 55 頁。

小心！
開啟超高壓電源後，不要觸碰任何通電部分 。

超高壓電源可設定為 2 kV。

金箔驗電器用來顯示燈泡是否帶電。

圖 a

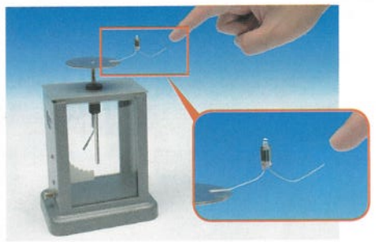


圖 b

第 1 課提到，帶電的物件接地時會有電荷流動，然而，流動的過程極為短暫。怎樣才能讓電子的流動變得持續而穩定呢？

1 電荷的流動

在圖 2.1a 中，風扇上下兩端的水受水泵作用，令上下水缸中水的重力勢能維持在不同水平，因此水不斷穩定地循環流動。在圖 2.1b 所示的完整電路中，電源（這裏是電池組）讓燈泡兩端的電勢能維持在不同水平，因此電荷不斷穩定地流動，情況就像上述的「水回路」一樣。

電池組可以是單一顆電池，也可以是由多顆電池連接而組成。第 67 頁會有詳細討論。

如學生修讀化學科，可提醒他們已經學過組成化學電池兩個電極的物料有不同的電勢，造成這個現象的原因是物料失去和獲得電子的趨向不同。

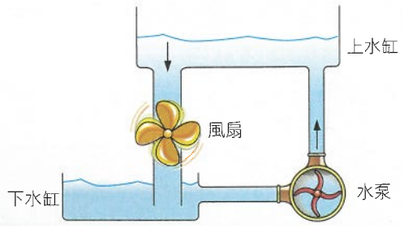


圖 2.1a 水泵令水持續流動

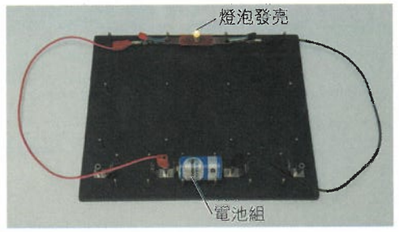


圖 2.1b 電池組令電荷持續流動

在**起點**中，氖燈泡即使帶電也沒有亮着，但有電荷流通時（即當手指接觸氖燈泡使其接地），氖燈泡就發亮，可見電荷要流動燈泡才能亮着。

電荷的流動稱為**電流**。就如「水回路」中水量是固定不變的，在閉合電路中，電荷數量也保持不變，亦即符合電荷守恆定律。

2 電流 I (A)

a 傳統電流方向

科學家最初以為電流是正電荷由電池組的正極 (+) 流向負極 (–)，這個方向稱為傳統電流方向。

導電液體中的電流，卻是正負離子以相反方向運動。

到了 20 世紀初，科學家才發現，金屬中的電流其實是帶負電的電子沿**相反方向**流動（圖 2.1c），而金屬的正離子基本上是靜止的。不過，在實際用途上，我們還會沿用傳統的電流方向。

提醒學生要懂得分辨傳統電流和電路中電子的流動。

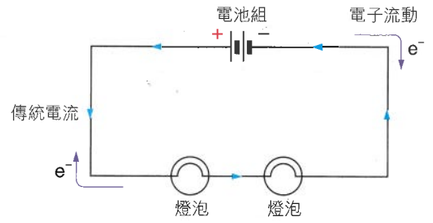


圖 2.1c 傳統電流方向與電子的流動方向相反

b 電流和它的量度單位

部分學生誤以為電流經過導線時，導線會帶淨電荷。

電流是電荷的流動率，電流的大小是指每單位時間內經過導線截面的總電量（圖 2.1d）。

$$\text{電流} = \frac{\text{電荷}}{\text{時間}} \quad \left(I = \frac{Q}{t}\right)$$

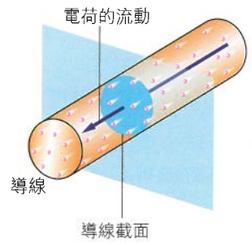


圖 2.1d 電荷的流動率

電流以**安培**為單位，簡寫為 **A**。如果流經某點的電流是 1 A，即表示該截面每秒有 1 C 的電荷經過（即每秒有 6.24×10^{18} 粒電子經過）。

$$1\ \text{A} = 1\ \text{C s}^{-1}$$

電流 electric current　安培 (A) ampere

1 A 是一個頗大的電流單位，較小的電流單位有毫安（mA，即 10^{-3} A）和微安（μA，即 10^{-6} A）。表 2.1a 列出一些常用電器操作時的電流大小。

電器	電流 / A
電視機（32 吋 LED）	0.32
智能電話（使用無線傳輸系統 Wi-Fi 的時候）	0.35
電飯煲	2.5
風筒	3.6
冷氣機（1 匹）	4.2
電水煲	9

表 2.1a 常用電器操作時的電流大小，用於發熱或製冷的電器通常以較大的電流操作

例題 1 電流與電荷

LED 電筒（圖 a）的電流為 0.1 A。如果電筒亮着了 10 分鐘，共有多少庫倫的電荷經過電筒？

圖 a

題解

10 分鐘內經過電筒的電荷 = It = (0.1)(10 × 60) = 60 C

進度評估 1 Q3 (p.56)

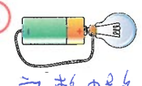
進度評估 1

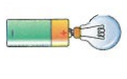
✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.54）。

1 是非題：電池向電路供應電荷。 （對 / 錯）

2 以下哪個燈泡會發亮？

A

B 

C 

D

3 在 2 s 內有 1 C 電荷經過燈泡，通過燈泡的電流是多少？

(A) 0.5 A
B 1 A
C 2 A

c 量度電流

電流感應器須與數據記錄器一併使用，以記錄電流隨時間的改變。

電路內的電流大小可用**安培計**量度，也可用與數據記錄器連接的**電流感應器**來量度（圖 2.1e）。

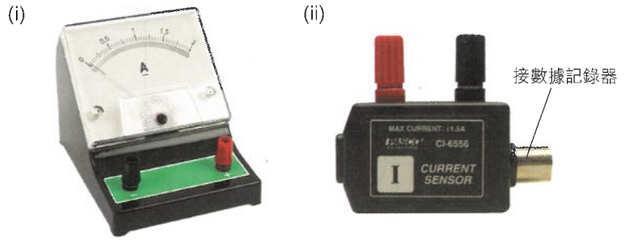
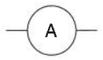


圖 2.1e (i) 常見的安培計、(ii) 電流感應器

安培計或電流感應器應與電路其他元件串連起來（圖 2.1f），安培計的紅色和黑色端鈕必須正確接駁，否則指針就會擺向相反方向，安培計或會因而損壞。



安培計的電路符號

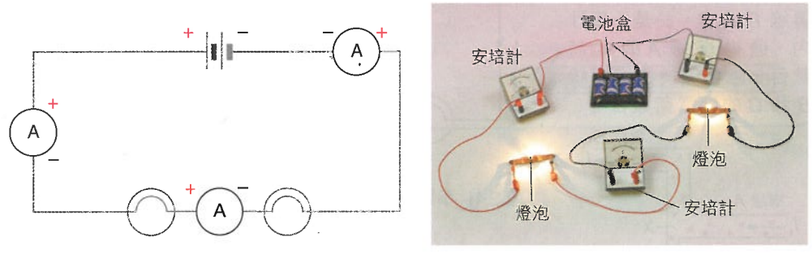


圖 2.1f 安培計應與電路其他元件串連起來

模擬程式 2.1

→ **模擬程式 2.1** 測試學生讀多量程安培計的技巧。

技巧分析

使用安培計

1 安培計的紅色端鈕應連至電源的正輸出端，黑色端鈕則應連至電源的負輸出端（圖 2.1f）。

2 電路中沒有其他元件時，不應將安培計直接接駁到電源。

3 有些安培計有多於一個紅/黑色端鈕，分別對應不同的電流測量範圍（量程）；每個量程對應不同的標度，讀取電流時須注意。

4 如果安培計有多個量程，應先選用最大量程。確認所量得的電流在較小的量程之內，才改用較小量程的端鈕。這樣做能避免損壞安培計。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

安培計 ammeter　　電流感應器 current sensor

d 串聯和並聯電路的電流

兩個燈泡連接到電池組時，可以用**串聯**（圖 2.1g）或**並聯**兩種方式相連（圖 2.1h）。

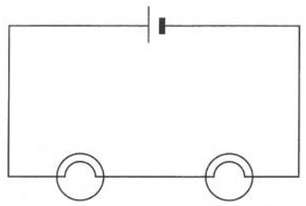


圖 2.1g 串聯連接的燈泡

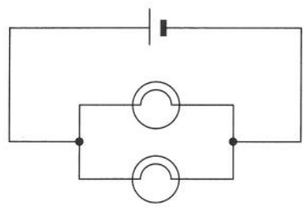


圖 2.1h 並聯連接的燈泡

圖 2.1i 的電路中，不論有多少個電路元件，在任何一點的電流都**相同**。

參閱圖 2.1j，考慮連結點 *X*。由於電荷不能無中生有，也不能銷毀，流經導線 *A* 的電荷必定也流經導線 *B* 或 *C*。於是，每秒內，通過導線 *A* 的電荷數目，應相等於通過導線 *B* 和 *C* 的總電荷數目。

圖 2.1j 的電路中，主電路的電流是各個分支電流的**總和**。

圖 2.1i 串聯電路中的電流

圖 2.1j 並聯電路中的電流

1 串聯電路中，電流處處相等。

2 並聯電路中，主電路的電流是流經各個分支電流的總和。

歷史點滴 伏打的爭論

1786 年，**伽伐尼**與**伏打**爭論電的本質。伽伐尼提出電來自動物的細胞組織，但伏打卻反對這個想法，之後更發明了伏打電池。伏打電池利用金屬產生電流，伏打以此發明來支持自己的論點（參看 p.66）。

伽伐尼 (1737–1798)

伏打 (1745–1827)

牛津物理網

串聯 in series　並聯 in parallel　伽伐尼 Luigi Galvani　伏打 Alessandro Volta

例題 2 流過燈泡的電流

兩個燈泡 L_1 和 L_2 串聯連接（圖 a）。健太認為電流流過電路時會逐漸變小，即 $I_A > I_B > I_C$。他的想法正確嗎？試簡略解釋原因。

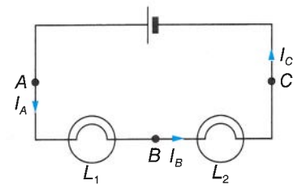


圖 a

題解

健太的想法不正確。串聯電路中的電流應處處相等。

假如 $I_A > I_B > I_C$，電荷流動率在 *A* 點較高，在 *C* 點則較低。這意味着 *A* 點和 *C* 點之間有電荷流失，但這是不可能的，因為在閉合電路中，總電荷數目必須守恆。

習題與思考 2.1 Q9 (p.60)

進度評估 2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.54）。

41 圖 a 中，流過燈泡 *X* 的電流為 0.2 A。安培計 *P* 和 *Q* 的讀數分別是 I_P 和 I_Q。下列哪一項是正確的？

(A) $I_P = I_Q > 0.2$ A
B $I_P = I_Q = 0.2$ A
C $I_P > 0.2$ A $> I_Q$
D $I_P < 0.2$ A $< I_Q$

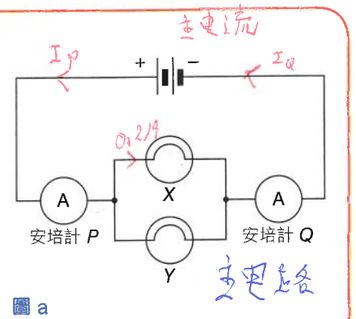
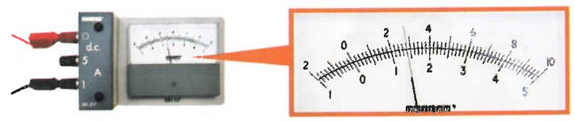


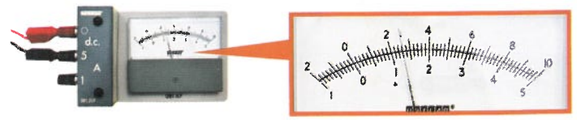
圖 a

42 讀出以下安培計顯示的電流。(a) 0.28 A (b) 1.3 A

(a)



(b)



習題與思考 2.1

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.54）。

2 1 安培計的讀數是 0.3 A。1 分鐘內有多少庫倫的電荷經過安培計？

A 0.3 C　　B 3.33 C

(C) 18 C　　D 200 C

1 2 燈泡接駁電池組後發亮。下列哪些敍述是正確的？

(1) 電荷通過燈泡後，以較低的速率流動。

(2) 燈泡會吸收所有進入它的電荷。

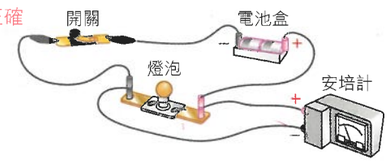
(3) 電池把電子推入導線，因此電路變成帶負電。

A 只有 (1)　　B 只有 (3)

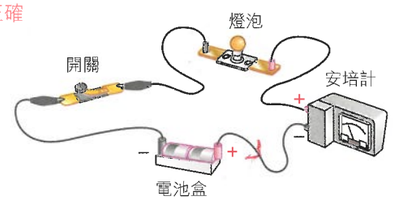
C 只有 (1) 和 (2)　　(D) 以上皆不是

3 3 以下各電路中的安培計都是用來量度流過燈泡的電流的。判斷安培計是否連接正確，並扼要解釋原因。

(a) 不正確



(b) 不正確



3 4 試依照圖 a，在圖 b 中畫線連接各個電路元件。假設關上開關後，有 2 A 的電流流過每個燈泡。

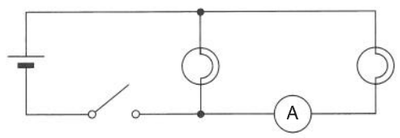


圖 a

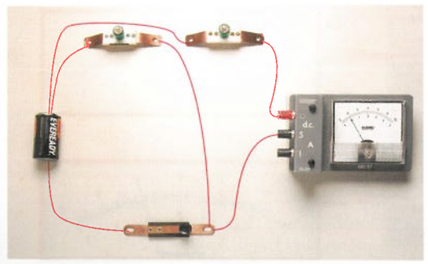


圖 b

2 5 在以下情況，流過電路內某一點的電流會有甚麼變化？

(a) 每秒流經該點的電量變為原來的兩倍。原來的兩倍

(b) 同等的電量流經該點所需的時間變為原來的兩倍。減半

2 6 圖 c 顯示一組簡單電路。

(a) 標出電池盒的正極和負極。

(b) 用箭號在導線旁標出電子的流動方向。

(c) 用電路符號重畫電路。

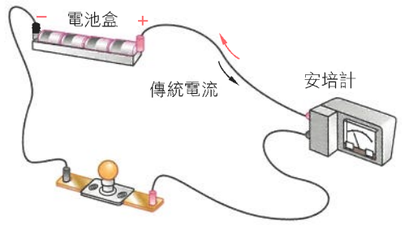


圖 c

2 7 假設在一小時內有 720 C 的電荷經過一個燈泡。如果電荷以勻速流動，電流是多少？ 0.2 A

*** 2 8** 一頭牛碰到電圍欄（圖 d），在 0.1 s 內，平均有 20 mA 的電流脈衝通過牠的身體，即共有多少粒電子通過牠的身體？ 1.25×10^{16}

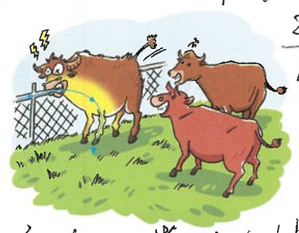


圖 d

*** 4 9** 圖 e 顯示三個並聯連接的燈泡。流過燈泡 *X* 和 *Y* 的電流分別是 0.7 A 和 0.3 A，安培計 *P* 的讀數是 1.6 A。

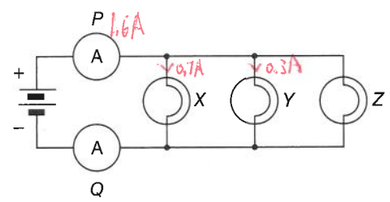


圖 e

(a) 安培計 *Q* 的讀數是多少？ 1.6 A

(b) 流過燈泡 *Z* 的電流是多少？ 0.6 A

2.2 電壓、電動勢和電勢差

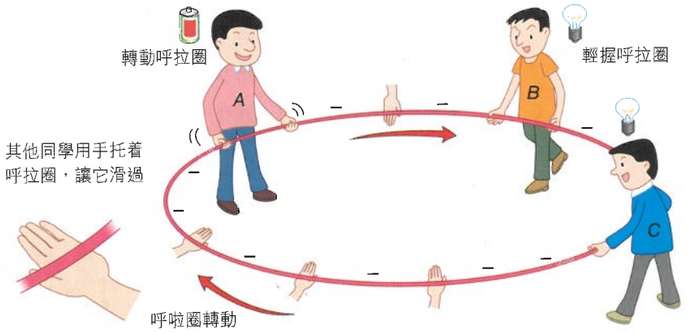
✔ 本節重點

1 電路中的能量轉換
2 電壓、電動勢和電勢差
3 量度電壓
4 串聯和並聯電路的電壓
5 串聯和並聯的電池

這個角色扮演活動可清楚演示電能怎樣同時轉換成其他形式的能量。然而，這活動卻不能顯示各個負荷可轉換多少電能。第 62 頁的工場一甌包一貨車類比則可有效表達這個概念。

起點　電路的能量轉換

試試看：同學 *A*（「電池組」）轉動呼拉圈；同學 *B* 和 *C*（「燈泡」）輕輕握着呼拉圈；其他同學（「導線」）只用手掌托着呼拉圈，組成一條阻力很小的軌道讓呼拉圈轉動。



同學之間的能量轉換是怎樣的？ 參看第 62 頁。

模擬程式 2.2, 2.3

→ **模擬程式 2.2** 示範在簡單電路中，能量怎樣透過流動的電子從電源轉移到負荷。

→ **模擬程式 2.3** 顯示簡單電路中的能量變化。

1 電路中的能量轉換

電路是個轉移能量的系統，把能量從電源（例如電池組、發電機）轉移到負荷（例如燈泡、電暖爐、電冰箱、揚聲器或電動機）。

要理解能量怎樣在電路中轉移，可先考慮一個連接着兩個燈泡的電路（圖 2.2a）。

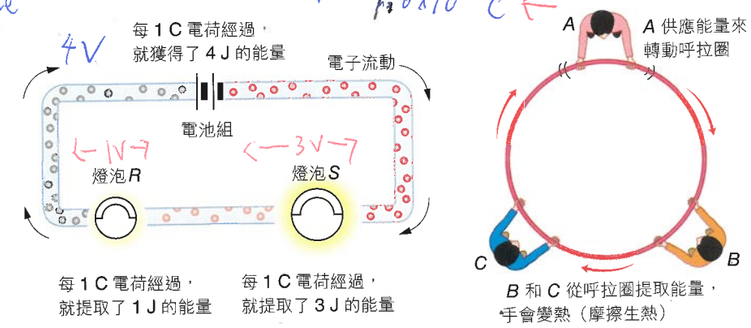


圖 2.2a 電路中的能量轉移

要清楚說明電池組和燈泡兩端電壓的分別。

強調燈泡 *R* 和燈泡 *S* 的額定值（或亮度）不同。

表 2.2a 比較**起點**提及的呼拉圈類比和真實電路。

	呼拉圈類比	電路
能量輸入	同學 A	電池組
能量輸出	同學 B 和 C	燈泡 R 和 S
環形線路	托着呼拉圈的手	導線
所驅動的物質	呼拉圈	導線中的電子

表 2.2a 呼拉圈類比與電路的對照

電路中的能量轉換過程如下：當電子在電池組內從正極移至負極，電池中儲存的化學能會轉換成電子的電勢能（電能）。電子通過燈泡時，它的電勢能再轉換成燈泡的內能和光能。

以下為貨車運送麵包的類比，有助說明有多少能量傳遞到各個燈泡（圖 2.2b 和表 2.2b）。

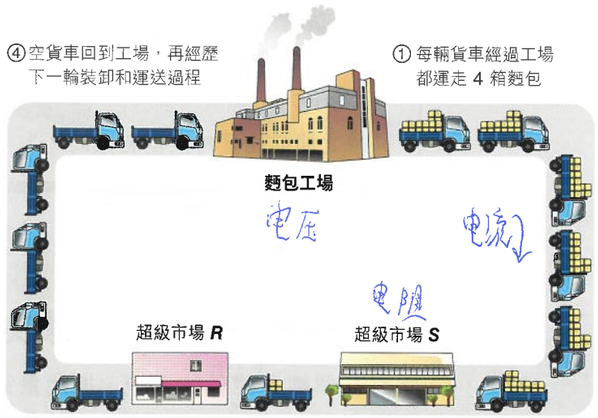


圖 2.2b 用貨車類比說明電路中的能量轉移

貨車類比	電路
麵包工場	電池組
麵包	能量
貨車	電子
超級市場	負荷（例如電器）

表 2.2b 貨車類比與電路的對照

由此可見，能量守恆定律適用於閉合電路。 ▶

電路內每庫倫電子的電勢能變化可以用「**山形圖**」來表示（圖 2.2c，見 p.63）。留意每庫倫電子從電池組獲得的能量相等於電路消耗的總能量。

山形圖 hill diagram

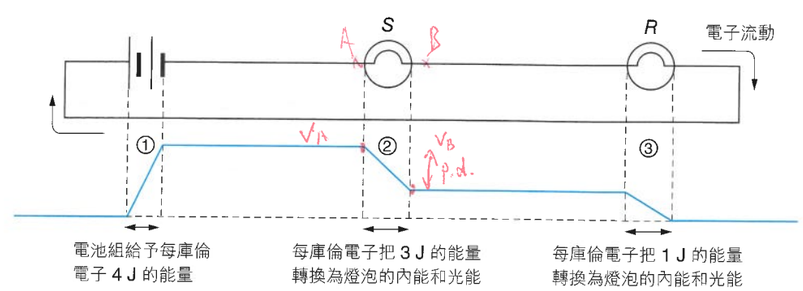


圖 2.2c 山形圖顯示電子通過電路時，電子的電勢能怎樣轉變

學生須懂得清楚區分電池兩端的電動勢和橫跨負荷的電壓。

2 電壓、電動勢和電勢差

a 定義

兩點之間的**電壓**是指每單位電荷從一點到達另一點時，電勢能的轉變，它的單位是**伏特**，簡寫為 V。

E 在這裏代表能量。 ▶

$$\text{電壓} = \frac{\text{電勢能的轉變}}{\text{電荷}} \quad \left(V = \frac{E}{Q}\right)$$

$$1\ \text{V} = 1\ \text{J C}^{-1}$$

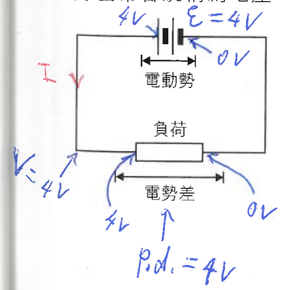
以圖 2.2a（見 p.61）的電路為例，每庫倫電荷經過電池組時會獲得 4 J 的電勢能，所以電池組的電壓是 4 V。在沒有電流的情況下，**電源**（即電池組或發電機）兩端的電壓稱為**電動勢**，通常以 ε 來表示。

電源的電動勢是電源給予每單位電荷的電勢能。

$$\text{電動勢} = \frac{\text{電源給予的電勢能}}{\text{電荷}} \quad \left(\varepsilon = \frac{E}{Q}\right)$$

為方便起見，電動勢和電勢差常會統稱為電壓。 ▶

此外，電路中在**電源以外任意兩點間**的電壓稱為**電勢差**。



電勢差是每單位電荷通過電源以外某兩點時，轉換成其他能量形式的電勢能。

$$\text{電勢差} = \frac{\text{轉換成其他形式能量的電勢能}}{\text{電荷}} \quad \left(\text{電勢差} = \frac{E}{Q}\right)$$

電壓 voltage　伏特 (V) volt　電動勢 electromotive force (e.m.f.)
電勢差 potential difference (p.d.)

例題 3 MP3播放器的能量轉換

MP3 播放器以 6 V 的電池組為電源（圖 a）。播放器啟動後，流過它的電流為 0.35 A。播放器運作了 10 分鐘，過程中有多少電勢能轉換成內能和聲能？

圖 a

題解

轉換的電勢能 = $QV = ItV = 0.35 \times (10 \times 60) \times 6 = 1260$ J

習題與思考 2.2 Q7 (p.69)

→ **模擬程式 2.4** 測試學生讀多量程伏特計的技巧。

模擬程式 2.4

b 量度電壓

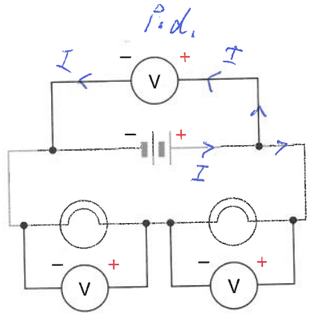
▶ 要量度兩點間的電壓，可以用**伏特計**，也可用與數據記錄器相連的**電壓感應器**（圖 2.2d）。伏特計（或電壓感應器）應連接到其他電路元件的兩端（圖 2.2e），其紅色及黑色端鈕應正確接駁，以免損壞伏特計。

伏特計的電路符號

(i)

(ii)

圖 2.2d (i) 常見的伏特計，(ii) 電壓感應器



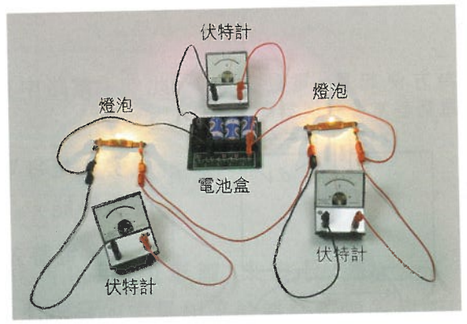


圖 2.2e 用伏特計量度電壓

伏特計 voltmeter　　電壓感應器 voltage sensor

可指出理想伏特計的電阻應為無限大，這樣的伏特計不會從電路支取電流。單元 2.5 會有詳細討論。

技巧分析

使用伏特計

1 伏特計的紅色端鈕應連至電源的正輸出端，黑色端鈕則應連至電源的負輸出端（圖 2.2e）。

2 使用有多個量程的伏特計時，應先使用最大量程，按需要才轉用較小量程。從端鈕對應的標度讀取電壓。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

進度評估 3 ✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.61）。

21 是非題：在燈泡中轉換成另一種能量形式的電勢能，稱為燈泡的電動勢。

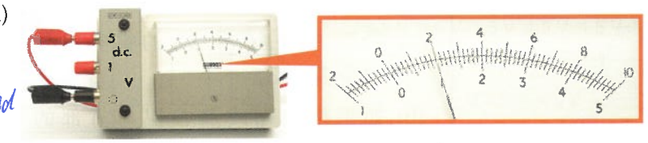
（對 / 錯）

22 燈泡接駁到 3 V 的電池組後，獲得由電池組輸送的 12 J 能量。共有多少庫倫的電荷經過燈泡？

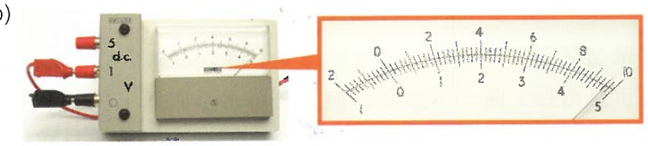
A 1 C
B 4 C
C 6 C
D 12 C

23 讀出以下伏特計顯示的電壓。(a) 1.0 V (b) 0.96 V

(a)



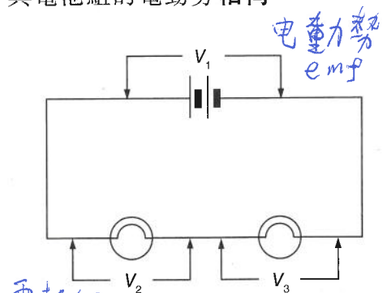
(b)



c 串聯和並聯電路的電壓

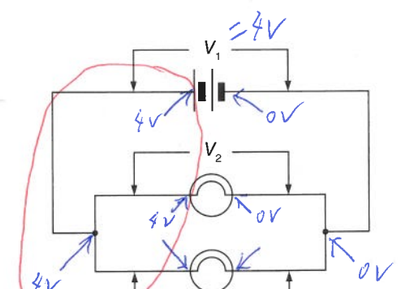
以下部分將會探討不同電路中，電源的電動勢與負荷的電勢差之間的關係。

考慮圖 2.2f 的串聯電路。橫跨兩個燈泡兩端的電勢差**總和**，相等於電池組的電動勢。在圖 2.2g 的並聯電路中，橫跨每個燈泡的電勢差，都與電池組的電動勢**相同**。



$V_1 = V_2 + V_3$

圖 2.2f 串聯電路的電壓



$V_1 = V_2 = V_3$

圖 2.2g 並聯電路的電壓

如果在電源和電線上都沒有能量損耗，則電源所供應的所有能量（電源的電動勢）都會給負荷耗用掉（負荷兩端的電勢差）。這結果與能量守恆定律相符。

1 串聯電路中，橫跨所有負荷的電勢差總和相等於電源的電動勢。

2 並聯電路中，橫跨每個負荷的電勢差都相同，也相等於電源的電動勢。

電路中任何一點也可定為參考點（與重力勢能的情況相似），但習慣上接地點（電池組的負極）通常設定為 0 V。我們必須注意，兩點間的電勢差不會受參考點的設定影響。

電路中的接地點是以符號 ⏚ 來表示。

例題 4　不同位置之間的電勢差

考慮圖 a 的電路，*B* 點為接地點。

(a) 橫跨 *AB*、*AC* 和 *BC* 的電勢差分別是多少？

(b) 如果接地點改為 *D* 點，(a) 部的答案會怎樣受影響？試解釋原因。

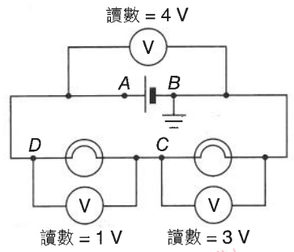


圖 a

題解

(a) 橫跨 *AB* 的電勢差 = 4 V

橫跨 *AC* 的電勢差 = 1 V

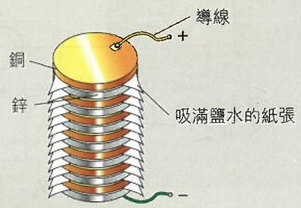
橫跨 *BC* 的電勢差 = 3 V

(b) 答案不會改變，因為兩點間的電勢差與參考點的設定無關。

習題與思考 2.2 Q10 (p.69)

歷史點滴　伏打電池

1800 年，伏打發明了第一個直流電電池（伏打電池）。這電池由多塊鋅片和銅片組成，相鄰金屬片之間加入一塊吸滿鹽水的布或紙張。為了增大電壓，伏打把多個這樣的金屬片組合疊起。電壓的單位「伏特」就是以他的名字命名。



d　串聯及並聯的電池

電池組可以是單一顆電池，也可以由多顆電池連接組成。以圖 2.2h 的 9 V 電池組為例，電池組由六顆電池串聯連接，每個單位電荷經過電池組時，會從中獲得 9 J (6 × 1.5 J) 的能量。在此情況下，電池組的總電動勢是各電池電動勢的總和（圖 2.2i）。

警告：電池組含有腐蝕性物質，切勿自行拆開電池組。

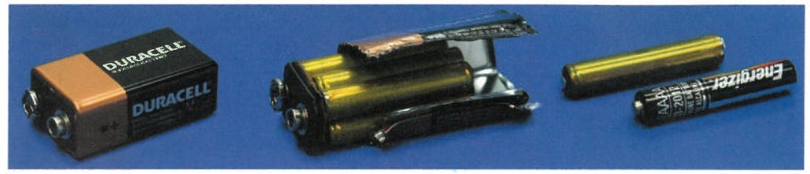


圖 2.2h　9 V 電池組由 6 顆 1.5 V 的圓柱形電池組成，每顆大小與 AAAA 電池差不多

電池的極向會影響電池的總電動勢。要是圖 2.2i 內的一顆電池反向接駁，總電動勢便變成：

1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5 + 1.5 − 1.5 = 6 V

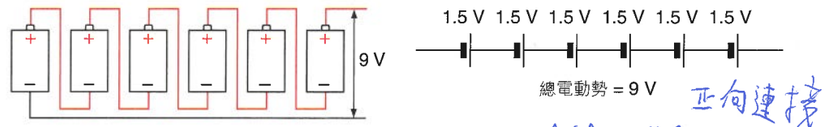
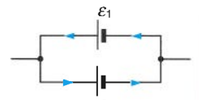


圖 2.2i　串聯的電池

如果以並聯的方式連接六顆 1.5 V 電池，總電動勢就會等於單一顆電池的電壓（圖 2.2j），原因是每單位電荷沿電路走一圈，每次只可經過一顆電池，也就只能獲得 1.5 J 的能量。不過，並聯的電池壽命較長。

警告：不要把不同電動勢的電池並聯連接，因為電流可能會在由這些電池形成的閉合電路中不停流動，直至電池的能量耗盡為止。



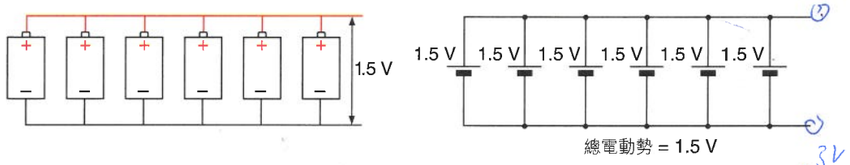


圖 2.2j　並聯的電池

串聯連接時，總電動勢是橫跨各電池的電動勢總和。

並聯連接時，總電流是流經各電池的電流總和。

生活中的物理　電池組

電池是電池組的基本單位。大多數手提電器都用電池組作能源。不同類型的電池組有不同用途，各有不同大小，提供不同的電壓。

生活中的物理

會發電的動物

有些動物可以產生電力，其中以電鰻最廣為人知。牠像一顆乾電池般，頭部是正極，尾部是負極，所產生的電壓可高達 600 V！

陸上動物的例子有東方胡蜂，牠腹部上的黃帶就如太陽能電池般，可把光能轉換為電能。

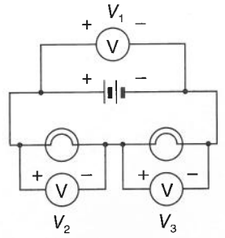
牛津物理網

進度評估 4

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.61）。

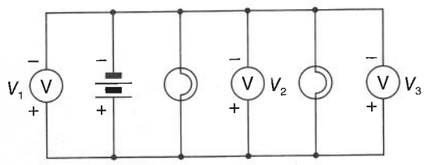
4 **1** 寫出方程，以顯示下列電路中伏特計讀數 V_1、V_2 和 V_3 的關係。

(a)



$V_1 = V_2 + V_3$

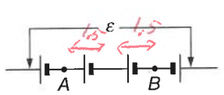
(b)



$V_1 = V_2 = V_3$

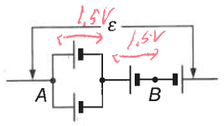
5 **2** 以下所有電池組都由 1.5 V 的電池所組成。求各電池組中 *A* 點和 *B* 點之間的電勢差，以及電池組的總電動勢 ε。

(a)



3 V，3 V

(b)



3 V，1.5 V

習題與思考 2.2

2 **1** 燈泡 *A* 和 *B* 連接 6 V 的電池組（圖 a）。如果燈泡 *A* 兩端的電勢差是 2 V，下列哪一項敘述是**不正確**的？

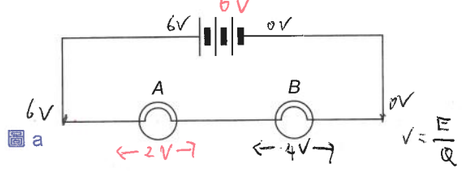


圖 a

A 當 2 C 電荷經過燈泡 *A* 時，會把 4 J 的能量轉移至燈泡。

B 當 1 C 電荷經過燈泡 *B* 時，會把 2 J 的能量轉移至燈泡。

C 每秒經過燈泡 *A* 和燈泡 *B* 的電量相等。

D 燈泡 *B* 兩端的電勢差是 4 V。

2 **2** 下列哪些可用作電勢能的單位？

(1) J

(2) V C

(3) V s

A 只有 (1)

B 只有 (3)

C 只有 (1) 和 (2)

D 只有 (2) 和 (3)

★ 2 **3**

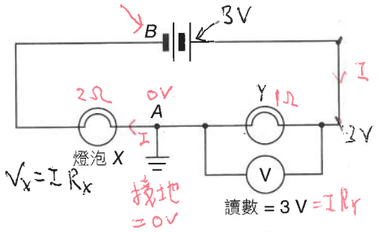


圖 b

下列各敘述有關圖 b 所示電路，哪些是正確的？

(1) 沒有電流經過燈泡 *X*，所以燈泡 *X* 不會發亮。

(2) 電池組的電動勢大於 3 V。

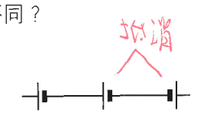
(3) 橫跨 *A* 點和 *B* 點的電勢差為零。

A 只有 (2)　　B 只有 (3)

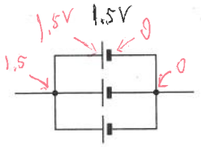
C 只有 (1) 和 (3)　　D 只有 (2) 和 (3)

★ 5 **4** 假設下面顯示的所有電池都有相同的電動勢。以下哪一個電池排列方法得出的總電動勢與其他的不同？

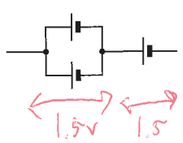
A



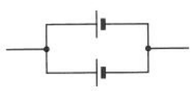
B



C



D



★ 5 **4**

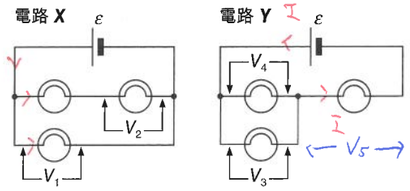


圖 c

假設電路 *X* 和 *Y* 中所有燈泡都是相同的（圖 c）。以下哪一個關係是正確的？

A $V_1 = V_2$

B $V_3 = V_4$

C $V_1 < \varepsilon$

D $V_1 = V_3$

2 **6** 如果一小時內有 907 C 的電荷經過一個燈泡，而這段時間內燈泡從電路獲得 2270 J 能量，燈泡兩端的電勢差是多少？ 2.50 V

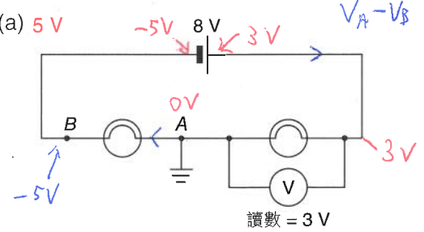
2 **7** 如果每分鐘提供給電路的能量是 30 J，在 5 分鐘內共有多少庫倫的電荷經過電路中的 3 V 電池組？ 50 C

2 **8** 一次閃電一般會持續 0.1 s，其間會轉移 10^9 J 的能量。如果雷雨雲和地面之間的電勢差是 10^8 V，閃電中的電流是多少？ 100 A

2 **9** 以 0.5 A 的電流替充電池連續充電 4 小時。假設充電過程中電池兩端的電壓保持在 5 V，轉移到電池的能量是多少？ 36 000 J

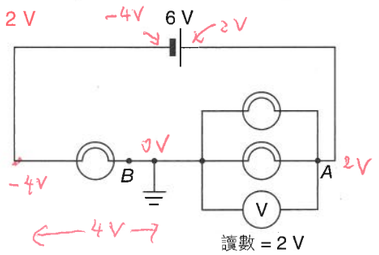
4 **10** 求在以下電路中，*A* 點和 *B* 點之間的電勢差。

(a) 5 V



讀數 = 3 V

(b) 2 V



讀數 = 2 V

★ 11 **2** 圖 d 顯示額定值為 3000 mA h 的 1.2 V 充電池，它可以在一小時內持續產生 3000 mA 的電流，或在 3000小時內持續產生1 mA 的電流，依此類推。

圖 d

(a) 總共有多少庫倫的電荷經過電池？ 10 800 C

(b) 每庫倫電荷經過電池時會得到多少能量？ 1.2 J

(c) 計算電池所儲存的能量。 13 000J

★ 12 **3** 學生接駁了以下電路（圖 e），把燈泡 *X* 和 *Y* 並聯連接。他想量度電池盒的電動勢，以及流過燈泡 *Y* 的電流。

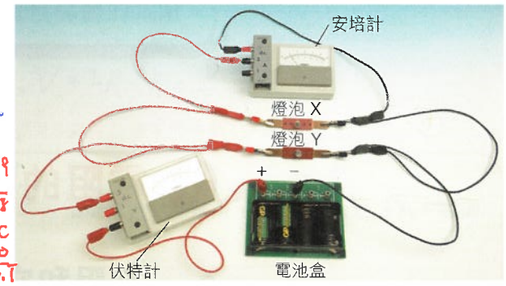


圖 e

(a) 繪畫對應圖 e 電路的電路圖。

(b) 指出電路的所有錯處。

(c) 繪畫電路圖以顯示正確的電路。

★ 13 **2, 3, 4** 在圖 f 中，燈泡 *A* 和 *B* 與 6 V 電池組連接。愛倫想用伏特計來量度燈泡 *A* 兩端的電勢差。

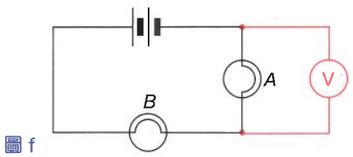


圖 f

(a) 重新繪畫電路圖顯示應怎樣連接伏特計。

(b) 如果伏特計的讀數為 2.5 V，燈泡 *B* 兩端的電勢差是多少？ 3.5 V

(c) 愛倫認為一個 6 V 的電池組在一秒內會向電路提供 6 C 的電荷。試評論她的說法。 不正確

2.3 電阻

✔ 本節重點
1 電阻和它的量度單位
2 歐姆定律
3 影響電阻的因素
4 電阻率
5 定值電阻器與可變電阻

起點 量度鹽度

水族館魚缸內的水必須鹹淡適中，居住其中的海洋魚類才可健康生長。要測試水的鹹淡度，當然不是靠人的味覺。原來，一種稱為鹽度計的儀器靠量度水的電阻率便能檢測水的鹹度。

電阻率是甚麼？它和水的鹹度有甚麼關係？

參看第77頁。

1 電阻的定義

a 電阻和它的量度單位

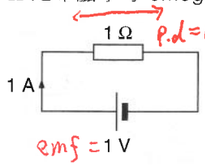
電阻表示物體阻礙電荷通過的程度。導體的電阻定義為：

$$\text{電阻} = \frac{\text{導體兩端的電勢差}}{\text{流過導體的電流}} \quad \left(R = \frac{V}{I}\right)$$

$V=IR$

Ω 是希臘字母 omega。

- 電阻以**歐姆**為單位，簡寫為 Ω。導體兩端的電壓為 1 V，而電流正好為 1 A 時，導體的電阻就等於 1 Ω　($1\ \Omega = 1\ \text{V A}^{-1}$)。



P.d. = 1V

例題 5 求燈泡的電阻

(a) 燈泡兩端的電勢差是 6 V，流過燈泡的電流是 3 A，求燈泡的電阻。

(b) 如果改用電阻較高的燈泡，通過燈泡的電流會怎樣？

題解

(a) 電阻 $= \frac{V}{I} = \frac{6}{3} = 2\ \Omega$

(b) 根據 $I = \frac{V}{R}$，電流會變小。

進度評估 5 Q2 (p.71)

電阻 resistance　歐姆 (Ω) ohm

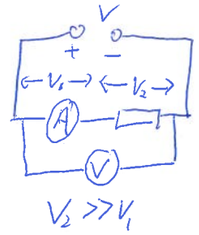
可安排學生以伏安法量度電阻，從而評估他們在不同方面的表現（如接駁電元配件、讀取錶計等）。

b 量度電阻

伏一安法

我們可以運用**伏安法**找出導體的電阻：把已知的電勢差 V 施加在導體兩端，然後量度通過導體的電流 I（圖 2.3a），再利用公式 $R = \frac{V}{I}$，便可得出導體的電阻。

電阻值大



$V_2 >> V_1$

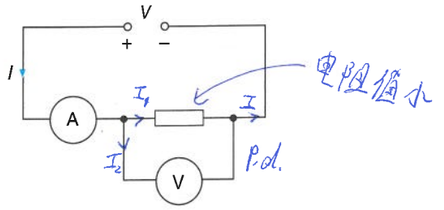


圖 2.3a 量度導體的電阻

此外，**萬用電錶**可用來直接量度導體的電阻。

$V=IR,\ R=\frac{V}{I}$

進度評估 5 ✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.70）。

$R_P = \frac{V}{2}$　$R_Q = \frac{V}{3}$

1 **1** 在相同電壓下，流過燈泡 P 的電流是 2 A，流過燈泡 Q 的電流是 3 A。哪個燈泡的電阻較高？ P

1 **2** 電熨斗接上 220 V 的電源後，有 5 A 的電流流過。電熨斗的電阻是多少？ 44 Ω

$R = \frac{220}{5} = 44\ \Omega$

歷史點滴 歐姆 (1789–1854)

電阻的單位以德國物理學家**歐姆**的姓氏命名。歐姆提出著名的歐姆定律，說明導體的電阻、流過導體的電流，以及施加於導體兩端的電壓三者之間的關係（見 p.72）。

生活中的物理 萬用電錶

電器技師經常利用萬用電錶直接量度電阻。萬用電錶是一個多用途電錶，可量度電流、電壓及電阻。萬用電錶有多個量度範圍，每次量度時，只要把旋鈕轉至所需的量度範圍便可。我們還可用它直接量度人體的電阻。

→ **錄像片段 2.1** 演示萬用電錶怎樣量度流經燈泡的電流、燈泡兩端的電壓、燈泡的電阻。

錄像片段 2.1

伏安法 voltmeter-ammeter method　萬用電錶 multimeter　歐姆 Georg Ohm

2 歐姆定律

如果導體的兩端電勢差改變，流過導體的電流會怎樣變化？我們可在以下實驗使用**變阻器**，以找出這個變化。

在第 79 頁將會詳細介紹變阻器。

模擬程式 2.5
錄像片段 2.2

實驗 2a 歐姆定律

1 如圖 a 所示連接電路。

2 調節變阻器以改變流過電阻線的電流，記錄安培計讀數 I 和伏特計讀數 V。改變電流大小，重複上述步驟數次。找出 I 和 V 的關係。

這種電阻線用銅和鎳的合金製成。

→ **模擬程式 2.5** 為實驗 2a 的虛擬實驗。
→ **錄像片段 2.2** 示範實驗 2a。

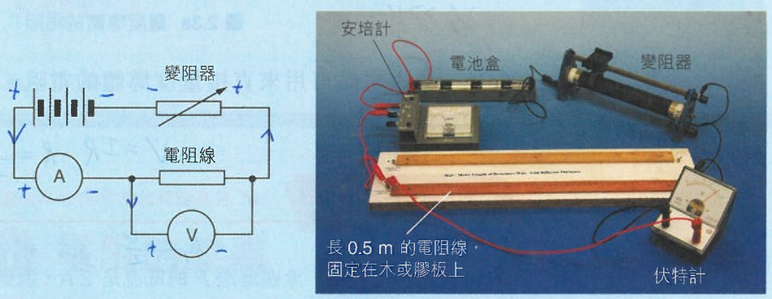


圖 a

討論

流過導體的電流會隨電阻線兩端的電勢差改變而有所變化嗎？ 不會

利用實驗 2a 的結果，繪畫 V 對 I 的關係線圖，會得到一條穿過坐標原點的直線（圖 2.3b）。由此可見，導線兩端的電勢差與流過導線的電流成正比。

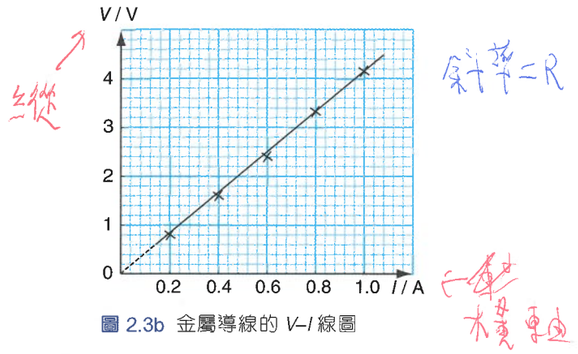


圖 2.3b 金屬導線的 V–I 線圖

這個實驗最先由德國科學家歐姆在 1826 年進行。他研究了不同種類的金屬，並得到相同的結果。這個發現稱為**歐姆定律**。

變阻器 rheostat　歐姆定律 Ohm's law

歐姆定律指出：

> **如果溫度和其他物理條件不變，導體兩端的電勢差與流過導體的電流成正比 ($V \propto I$)。**

遵從歐姆定律 ($V \propto I$) 的導體稱為歐姆導體，在低溫下，金屬和某些電解質（例如硫酸銅溶液）都是歐姆導體（圖 2.3c）。

電解質是一種以正、負離子導電的液體。

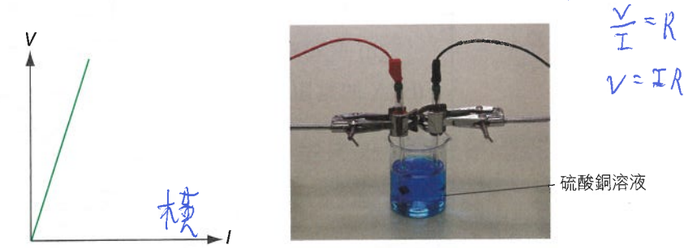


圖 2.3c 硫酸銅溶液是歐姆導體（V–I 線圖顯示在恆定溫度下的情況）

不遵從歐姆定律的導體稱為非歐姆導體。很多常用的電子元件（例如二極管），以及某些電解質（例如稀硫酸）都是非歐姆導體（圖 2.3d）。

二極管只容許電流沿單一方向流動，發光二極管 (LED) 是一種常用於照明的二極管。

可向學生解釋，圖 2.3d(i) 中的負值電流表示電流循另一方向流動。

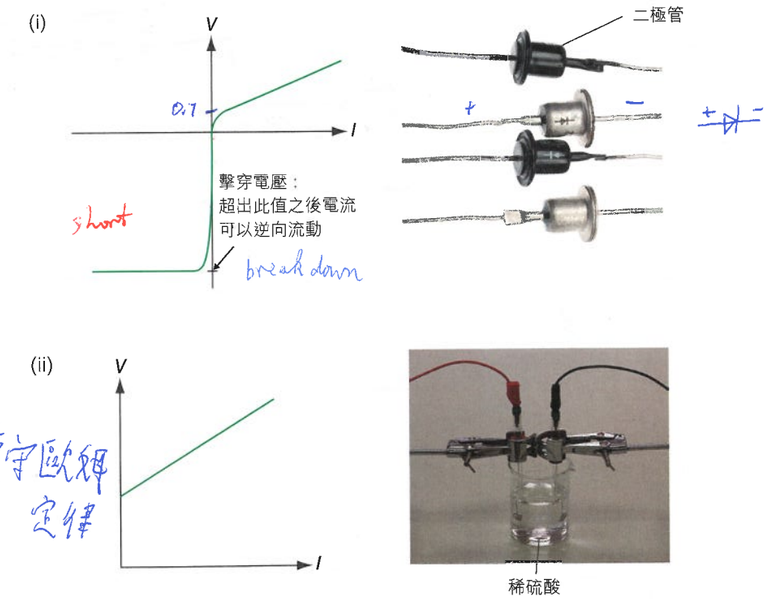


圖 2.3d (i) 二極管及 (ii) 稀硫酸都是非歐姆導體（V–I 線圖顯示在恆定溫度下的情況）

前面提及 $R = \frac{V}{I}$，因此導體的電阻可以從 V–I 線圖求得，下頁例題 6 會展示計算方法。

例題 6 從 *V*–*I* 線圖找出電阻

圖 a 顯示在恆定溫度下，導體 *X* 兩端的電勢差 *V* 與流過 *X* 的電流 *I* 的關係線圖。

(a) 在以下情況，*X* 的電阻是多少？

(i) $V = 2$ V

(ii) $V = 3$ V

(ii) $V = 5$ V

(b) *X* 的電阻怎樣隨 *V* 改變？

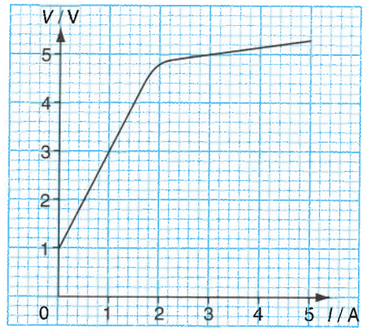


圖 a

題解

(a) 根據圖 b，

(i) 當 $V = 2$ V，$I = 0.5$ A。

$$\text{電阻} = \frac{V}{I} = \frac{2}{0.5} = 4\ \Omega$$

(ii) 當 $V = 3$ V，$I = 1$ A。

$$\text{電阻} = \frac{V}{I} = \frac{3}{1} = 3\ \Omega$$

(iii) 當 $V = 5$ V，$I = 3$ A。

$$\text{電阻} = \frac{V}{I} = \frac{5}{3} = 1.67\ \Omega$$

(c) 當 *V* 增加，*X* 的電阻會降低。

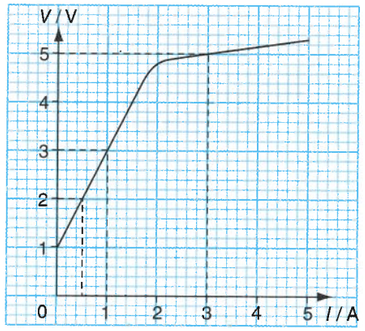


圖 b

進度評估 6 Q2 (p.74)

我們必須注意，電阻並**不等於** *V*–*I* 線圖的斜率。雖然圖線在 $V = 0$ 至 4 V 之間是一條直線，但卻沒有穿過原點。因此，(i) 和 (ii) 部的答案並不相同。

進度評估 6

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.70）。

2 1 如果變阻器兩端的電勢差和電阻同時 (a) 增至原來的兩倍，(b) 減半，通過變阻器的電流會怎樣改變？

(a) 不變 (b) 不變

2 2 圖 a 是導體 *X* 的 *V*–*I* 線圖。

(a) 求導體 *X* 的電阻。1.25 Ω

(b) 導體 *Y* 的電阻是導體 *X* 的兩倍，試在圖 a 中畫出導體 *Y* 的 *V*–*I* 線圖。

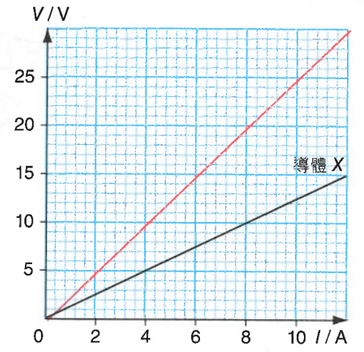


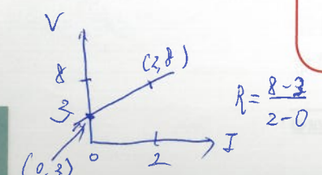
圖 a

1, (a) $V = IR$

$2V = I'(2R)$

(b) $\frac{V}{2} = I''(\frac{R}{2})$

2, (a) $R = \frac{15}{12} = 1.25\ \Omega$



$R = \frac{8-3}{2-0}$

R_Y = 紅線的斜率 = 黑線斜率的兩倍

3 影響電阻的因素

以下部分探討哪些因素會影響導體的電阻。

a 溫度

應用歐姆定律時，須確保溫度（以及其他物理條件）恆定不變。然而，若溫度改變，導體的電阻會怎樣？

→ 錄像片段 2.3 示範實驗 2b。

錄像片段 2.3

可用無玻璃罩的鎢絲燈泡代替電阻線線圈，但要注意玻璃碎片的鋒利邊緣。

流過線圈的電流愈大，線圈便愈熱愈亮。

鎢的熔點達3422 °C，是所有非合金金屬中最高的。鎢絲燈泡內是真空或注入了惰性氣體，能防止鎢絲氧化。

如改用數據記錄器，更可演示溫度對電阻大小的影響（見p.118第39題）。變阻器的電阻快速改變時，數據記錄器可錄得大範圍的數據；過程所用的時間很短，導體（燈泡）的溫度升幅很微，因此電阻只有少許變化。

實驗 2b 溫度對金屬線電阻的影響

1 把電阻線繞成一捆 15 匝的線圈，再將線圈連接到低壓電源及萬用電錶。

2 開啟電源，線圈會發熱並變得通紅（圖 a）。記錄流過線圈的電流大小。

3 用風筒向線圈吹送涼風（圖 b）。觀察線圈的亮度變化，以及通過線圈的電流大小，找出兩者怎樣改變。

引導學生思考溫度對金屬的電阻有甚麼影響。

小心！線圈非常熱，切勿觸摸。

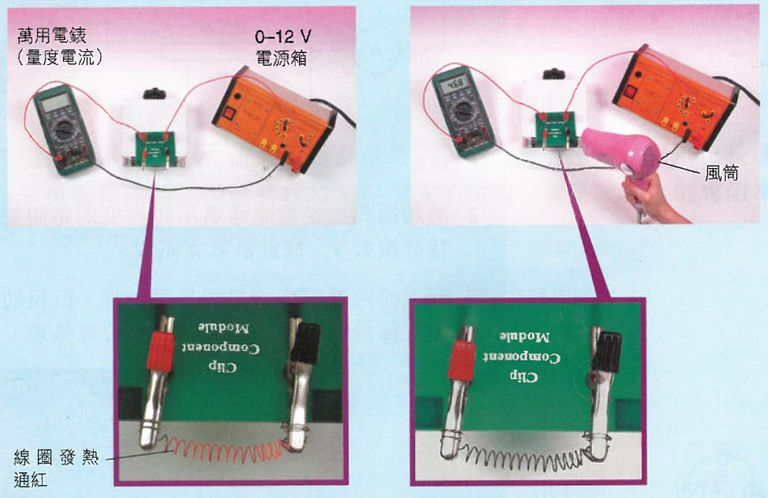


圖 a　圖 b

討論

1 涼風吹向線圈時，對線圈的溫度有甚麼影響？使溫度下降

2 線圈的電阻怎樣隨線圈的溫度改變？隨溫度上升而增加

物料的電阻會隨溫度改變這種特性可用於電阻溫度計。

大多數金屬的電阻會隨溫度上升而增加，例如電燈鎢絲（圖 2.3e）在燈泡熄滅時，電阻只有數歐姆，但在燈泡亮着時，鎢絲的溫度大大升高，電阻可增加逾十倍（圖 2.3f）。

儘管圖 2.3f 所示的線圖是一條曲線，但也不能據此斷定鎢絲是一種非歐姆導體，原因是線圖所展示的情況並不符合歐姆定律的條件（溫度不變）。

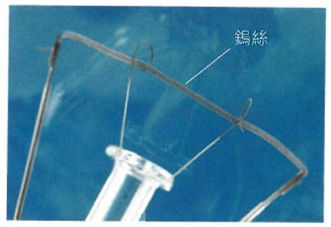


圖 2.3e 燈泡內的鎢絲線圈

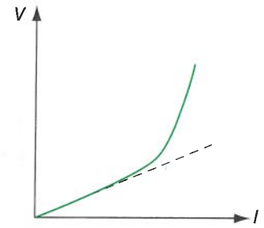


圖 2.3f 鎢絲的 *V*–*I* 線圖

不過，大多數**半導體**受熱時，電阻反而會降低，矽就是一個例子。

b 長度和粗幼度

模擬程式 2.6
錄像片段 2.4

→ 模擬程式 2.6 是實驗 2c 的虛擬實驗。

→ 錄像片段 2.4 示範實驗 2c。

實驗 2c 長度和粗幼度對電阻的影響

1 如圖 a 所示接駁電路。

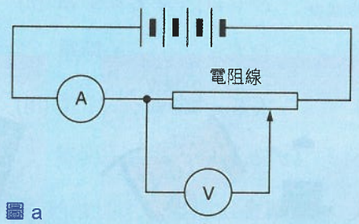
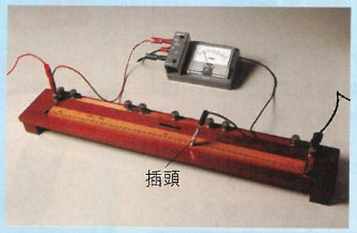


圖 a



2 滑動插頭，令電流通過不同長度的電阻線。記錄安培計讀數 I 及伏特計讀數 V，據此計算電阻 R。

3 讓電流通過兩條物料和長度一樣、但粗幼度不同的金屬線（圖 b）。量度每條金屬線的電流和兩端的電勢差，計算兩條金屬線的電阻。

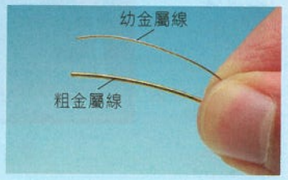


圖 b

討論

1 長金屬線還是短金屬線是較好的導體？短金屬線

2 粗金屬線還是幼金屬線是較好的導體？粗金屬線

從實驗 2c 中得知，金屬線的電阻也取決於線的長度和粗幼度（即截面積）（圖 2.3g）。

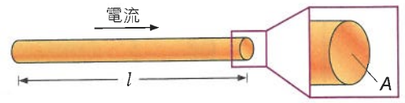


圖 2.3g 金屬線的長度 l 和截面積 A

若金屬線的物料和粗幼度固定不變，電阻 R 就會與金屬線長度 l 成正比，即 $R \propto l$。若金屬線的物料和長度固定不變，電阻 R 就會與截面積 A 成反比，即 $R \propto \frac{1}{A}$。因此，R、l 和 A 這三個物理量的關係是：

$$R \propto \frac{l}{A} \quad \text{或} \quad R = \rho \frac{l}{A}$$

其中 ρ 是比例常數。

c 電阻率

如果銅線和鎳銅線的長度、粗幼度和溫度都相同，銅線的電阻會低於鎳銅線，原因是導體的電阻亦取決於製造物料。

把方程 $R = \rho \frac{l}{A}$ 重寫，得出：

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

電阻率的單位
$= \frac{(R \times A) \text{ 的單位}}{l \text{ 的單位}}$
$= \frac{\Omega \times m^2}{m} = \Omega\ m$

ρ 是一個取決於製造物料的常數，稱為**電阻率**，單位是 **Ω m**。

電阻取決於導體的尺寸（長度和粗幼度），而電阻率只取決於導體的製造物料。

電阻率顯示物料對電流的阻力有多大。對歐姆導體來說，每單位長度及每單位截面積的均勻物料在特定溫度下的電阻，就是該物料的電阻率。表 2.3a 列出了一些物料的電阻率。

起點中，溶解於水中的鹽，提供了導電所需的帶電粒子（載荷子）。換句話說，水愈「鹹」，就愈能導電（即有較低的電阻率）。溫度為 20 °C 時，海水和純水的電阻率分別是 0.2 Ω m 和 2.5×10^5 Ω m。

	物料	電阻率 / Ω m
純金屬	銅	1.7×10^{-8}
	金	2.4×10^{-8}
	鋁	2.7×10^{-8}
	鎢	5.5×10^{-8}
合金	鎳銅	49×10^{-8}
	鎳鉻	110×10^{-8}
半導體	碳（石墨）	3000×10^{-8}
	矽	2300
絕緣體	玻璃	$10^{10} - 10^{14}$
	聚苯乙烯	10^{15}

表 2.3a 不同物料在 20 °C 時的電阻率

生活中的物理

超導現象

超導現象指某些物料的溫度低於某特定值時，電阻會變為零。直至現時，科學家只觀察到在極低溫下出現的超導現象，最高溫的情況也只有 −140 °C（在一種銅氧化物中產生）。如能發明室溫超導體，將會是科技的一大突破，應用層面將可擴展至不同的商業範疇。

磁力共振掃描儀應用超導現象，檢視病人體內的狀況

牛津物理網

例題 7　求電阻率

某鎳銅線的電阻為 0.75 Ω，線的長度和直徑分別是 30 cm 和 0.5 mm。

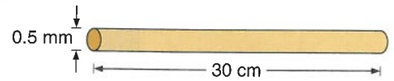


圖 a

(a) 求鎳銅線的電阻率。

(b) 如果線的物料改為銅，線的電阻又是多少？取銅的電阻率為 $1.7 \times 10^{-8}\ \Omega\ m$。

題解

(a) 長度 $l = 0.3$ m

面積 $A = \pi r^2 = \pi \times \left(\frac{0.5}{2} \times 10^{-3}\right)^2 = 1.963 \times 10^{-7}\ m^2$

電阻率 $\rho = \frac{RA}{l} = \frac{0.75 \times (1.963 \times 10^{-7})}{0.3} = 4.91 \times 10^{-7}\ \Omega\ m$

(b) 根據 $\rho = \frac{RA}{l}$，

$\Rightarrow R = \frac{\rho l}{A} = \frac{(1.7 \times 10^{-8}) \times 0.3}{1.963 \times 10^{-7}} = 0.0260\ \Omega$

進度評估 7 Q2 (p.78)

進度評估 7

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.70）。

1 在下列情況下，金屬線的電阻和電阻率會怎樣改變？

3, 4

(a) 長度增加為原來的兩倍　原來的兩倍；不變

(b) 直徑增加為原來的兩倍　原來的四分之一；不變

(c) 溫度大幅增加　增加；增加

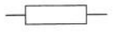
4**2** 一條金屬線長 15 cm，直徑是 1.6 mm。如果金屬線的電阻為 3 Ω，它的電阻率是多少？

[提示：$\rho = \frac{RA}{l} = ?$] $4.02 \times 10^{-5}\ \Omega\ m$

4 定值電阻器與可變電阻

電阻器是具有已知電阻的電路元件，常用於調節流過電路的電流大小。常用於電路板中的碳電阻器，由一層很薄的碳膜或金屬氧化物製成。另一種常用的電阻器稱為繞線電阻器，主要組件是一段長合金線，一般會繞成線圈狀，以縮小所佔的空間（圖 2.3h，見 p.79）。

電阻器 resistor



定值電阻器的電路符號

電阻器上的色環是用來標示電阻值的。利用以下的智能手機應用程式能找出電阻器的電阻值。

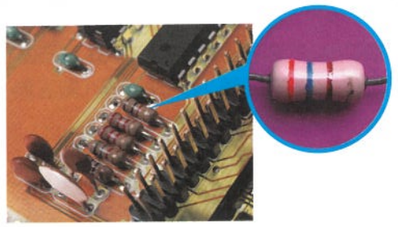
iOS　Android

可變電阻的電路符號

碳電阻器的電阻值以不同色環的組合表示。以下網站提供找出電阻值的方法：
http://www.csgnetwork.com/resistcolcalc.html

上述電阻器的電阻值全都固定不變，因此又稱為**定值電阻器**。

(i)



(ii)

圖 2.3h (i) 碳電阻器及 (ii) 繞線電阻器

電阻可以調節變動的電阻器，稱為**可變電阻**。圖 2.3i 所示的可變電阻常用作控制音量或亮度的旋鈕。它有一條圓形的電阻軌道，滑動器可在軌道上移動（圖 2.3j）。只要旋轉滑動器，便可改變電流所流經的軌道長度，從而調節電阻的高低。

圖 2.3i 可變電阻

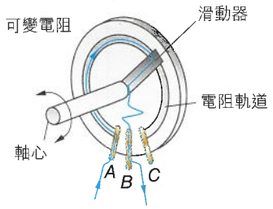


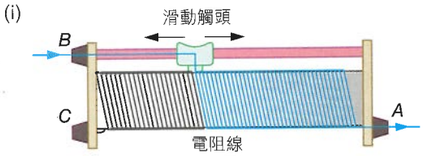
圖 2.3j 改變可變電阻的電阻值

學校實驗室常用的大電流可變電阻稱為變阻器（圖 2.3k），由繞在絕緣管上的電阻線及滑動觸頭組成。只要移動滑動觸頭，改變連接電路中的電阻線長度（圖 2.3l），就可調節電阻的高低。

圖 2.3k 變阻器

若導線連接的是端鈕 A 和 C，變阻器就成定值電阻器（圖 2.3m）。

(i)



(ii)

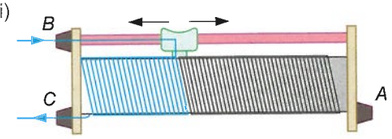


圖 2.3l 變阻器用作可變電阻時的接駁方式

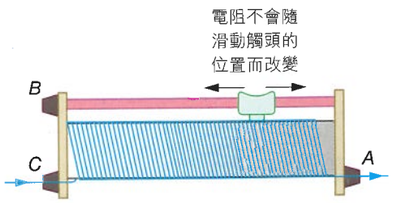


圖 2.3m 變阻器用作定值電阻器時的接駁方式

定值電阻器 fixed resistor　可變電阻 variable resistor

例題 8 找出可變電阻的最高電阻值

某可變電阻中，勻電阻導線 PQ 以 O 為圓心扭成圓弧，滑動觸頭 S 可以繞 O 旋轉，改變接觸 PQ 的位置（圖 a）。

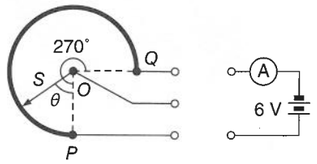


圖 a

可變電阻以圖 b 所示的三種方法接駁到 6 V 電源，安培計量得的最小讀數是 0.25 A。

(a) 試解釋這個可變電阻怎樣運作。

(b) 描述在每個電路中 S 移向 Q 端時，安培計的讀數怎樣改變。

(c) 求這個可變電阻的最大電阻值。

(d) 電路 3 的安培計在 θ 達致 216° 時燒毀。求當時的電流大小。

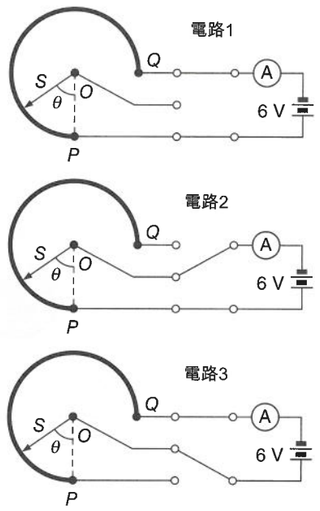


圖 b

題解

(a) 滑動觸頭旋轉時，會改變電阻線通電的長度，從而改變電阻。

(b) 電路 1 中，不論 S 在甚麼位置，安培計的讀數也保持恆定。

電路 2 中，隨着 S 移向 Q 端，安培計的讀數下降。

電路 3 中，隨着 S 移向 Q 端，安培計的讀數上升。

(c) 使用電路 1 的接駁方法，可變電阻的電阻值最大。這時，流經可變電阻的電流最小，即 0.25 A。

$$\therefore \quad \text{最大電阻值} = \frac{V}{I} = \frac{6}{0.25} = 24\ \Omega$$

(d) 由於 $R \propto l \propto \theta$，當 θ 是 216°，

$$R = 24 \times \frac{(270-216)}{270} = 4.8\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6}{4.8} = 1.25\ \text{A}$$

習題與思考 2.3 Q6 (p.82)

實驗技巧應用

例題 9 探究電阻

志豪想探究鎳銅線的電阻率在高溫時怎樣變化。圖 a 顯示他所使用的儀器。

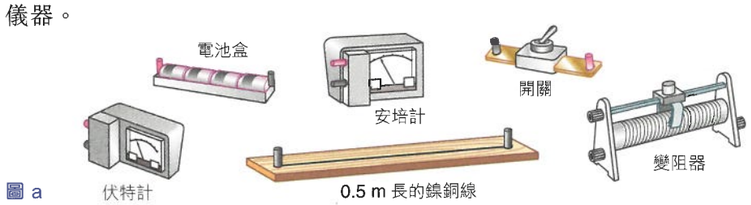


圖 a

(a) 繪畫電路圖以顯示連接儀器的方法。

(b) 志豪得出表 a 的數據。

(i) 繪出 I 對 V 的線圖。

(ii) 鎳銅線的電阻率怎樣隨溫度變化？

(d) 從 (b)(i) 部所得的 I–V 線圖，能否總結出鎳銅線並非歐姆導體？試扼要解釋原因。

電壓 V / V	電流 I / A
0.6	0.2
1.2	0.4
1.8	0.6
2.4	0.8
3.0	0.96
3.6	1.08

表 a

題解

(a)

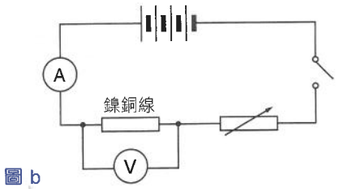


圖 b

(b) (i)

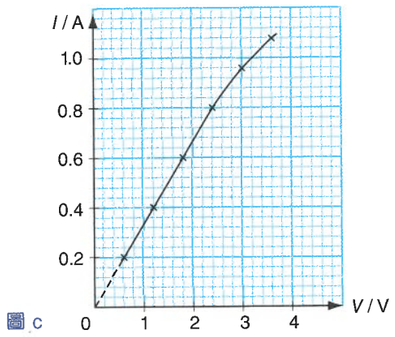


圖 c

注意這幅是 I–V 線圖（而非 V–I 線圖）。

(ii) 隨着流過的電流增大，鎳銅線的溫度升高。從線圖可見，隨着電壓（電流）較大時，鎳銅線的電阻增加，電阻率也因而增加。因此，電阻率會隨溫度上升而增加。

要斷定鎳銅線是否歐姆導體，實驗必須在極短時間內做完，這樣，鎳銅線的溫度才會保持恆定。要符合這個要求，可使用與數據記錄器連接的電流感應器和電壓感應器，取代安培計和伏特計。

(c) 不能。因為鎳銅線的溫度在實驗中沒有保持恆定，這不符合歐姆定律的條件。

複習 Q39 (p.118)

習題與思考 2.3

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.70）。

3 **1**

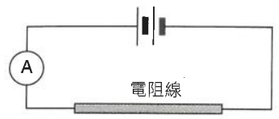


圖 a

以下哪些改變會使圖 a 中的安培計顯示較大的讀數？

(1) 使用較長的電阻線。

(2) 使用較大電動勢的電池組。

(3) 把安培計的端鈕對調連接。

A 只有 (1)　　B 只有 (2)

C 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (2) 和 (3)

★ **2**
3, 4

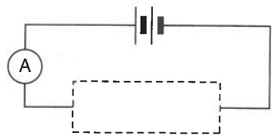
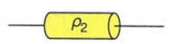
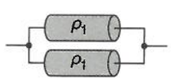


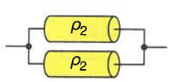
圖 b

以下所有電阻線的長度和粗幼度都相同，但製造物料分為兩種，各種的電阻率分別為 ρ_1 和 ρ_2。假設 $\rho_1 > \rho_2$，哪個組合置入圖 b 的空框位置後，安培計所顯示的讀數最大？

A

B 

C 

D 

★ **3**
2

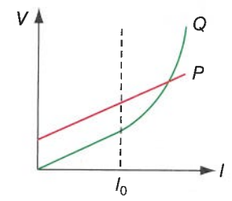


圖 c

P 和 *Q* 是兩種導體，圖 c 顯示它們的 *V*–*I* 線圖。下列哪些敘述是正確的？

(1) *P* 遵從歐姆定律。

(2) $I < I_0$ 時，*Q* 遵從歐姆定律。

(3) $I < I_0$ 時，*P* 的電阻高於 *Q*。

A 只有 (2)　　B 只有 (1) 和 (2)

C 只有 (1) 和 (3)　　D 只有 (2) 和 (3)

1 **4** MP3 播放器的電阻為 17 Ω。如果操作電流為 0.35 A，播放器最少需要多少顆 AA 乾電池（每顆 1.5 V）來操作？ 4

4 **5** (a) 電阻率是甚麼？

(b) 銅線的半徑是 0.2 mm，長度是 15 cm，銅的電阻率是 1.7×10^{-8} Ω m。求銅線的電阻。

0.0203 Ω

5 **6** 圖 d 中，變阻器的端鈕 *A* 和 *C* 連接到電路。

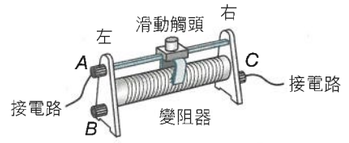


圖 d

(a) 滑動觸頭從左移到右時，變阻器的電阻會怎樣變化？ 下降

(b) 如果接入電路的是端鈕 *B* 而不是端鈕 *A*，滑動觸頭從左移到右時，變阻器的電阻又會怎樣變化？ 不變

★ **7**
2

表 a 顯示經過金屬線的電流 *I* 怎樣隨線兩端的電壓 *V* 變化。

V / V	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
I / A	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0

表 a

(a) 繪畫 *V* 對 *I* 的線圖。

(b) 在線圖上畫出「•」點，以表示在這點以後歐姆定律不再適用。你怎樣知道歐姆定律已不適用？

(c) 找出電流是 (i) 0.2 A 及 (ii) 1.0 A 時金屬線的電阻。 (i) 5 Ω　(ii) 6 Ω

★ **8**
2

圖 e 是一個二極管在恆定溫度下的 *V*–*I* 線圖。

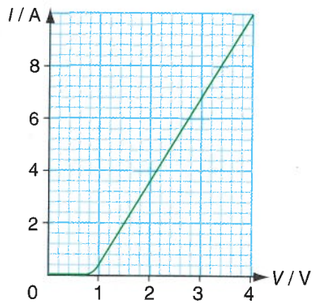


圖 e

(a) 要讓電流通過二極管，所需的最低電壓是多少？ 0.8 V

(b) 這個二極管是否遵從歐姆定律？ 不遵從

(c) 電壓是 3 V 時，二極管的電阻是多少？ 0.441 Ω

2.4 串聯與並聯的電阻器

起 點　電阻器網路

我們不可能每次都找得到一個電阻器，它的電阻剛好是所需的數值。如果只有幾個 10 Ω 電阻器，應怎樣把它們連接才可組成一個電阻為 (a) 20 Ω、(b) 5 Ω 、(c) 15 Ω 的組合？ 參看第 89 頁補充資料。

串聯和並聯是連接電阻器的兩種基本方式。這兩種方式可以改變整個電路的電阻大小，從而影響電路的表現。本節將深入討論串聯和並聯電路的電阻。

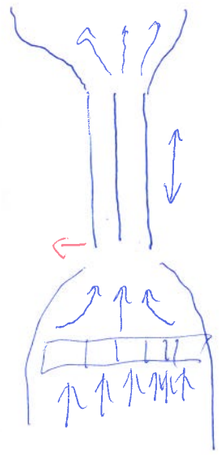
✔ **本節重點**

1 串聯的電阻器
2 並聯的電阻器
3 分壓器
4 短路

1 串聯的電阻器

錄像片段 2.5

→ 錄像片段 2.5 示範實驗 2d。



實驗 2d　串聯電阻器的等效電阻

1 如圖 a 所示，把兩個電阻器串聯連接。

2 量度通過電路的電流 *I* 和橫跨兩個電阻器的電勢差 *V*，並由關係式 $\frac{V}{I}$ 計算等效電阻 R_{eq} 的值。

3 以其他數值的 *V*、R_1 和 R_2 重複實驗。

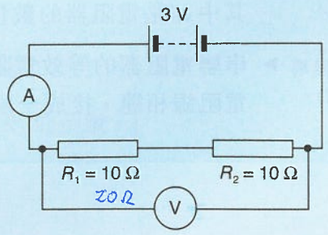


圖 a

討 論

R_{eq} 與 R_1 和 R_2 有甚麼關係？ $R_{eq} = R_1 + R_2$

模擬程式 2.7

→ **模擬程式 2.7** 展示一組有兩個燈泡的串聯電路，學生可隨意改變每個燈泡的電阻值，並觀察這改變對燈泡的亮度和電路的電流有甚麼影響。

從實驗 2d 的結果，我們得知 $\boldsymbol{R_{eq} = R_1 + R_2}$。$R_{eq}$ 稱為**等效電阻**，代表電阻器 R_1 和 R_2 的電阻總和。電阻器串聯時，等效電阻就等於各個電阻器電阻的總和。

我們也可根據各電阻器兩端的電勢差，推導出這個關係式。

在圖 2.4a(i) 中，橫跨兩個電阻器的總電勢差等於橫跨各個電阻器的電勢差之和：

$$V = V_1 + V_2 \quad \text{.....(1)}$$

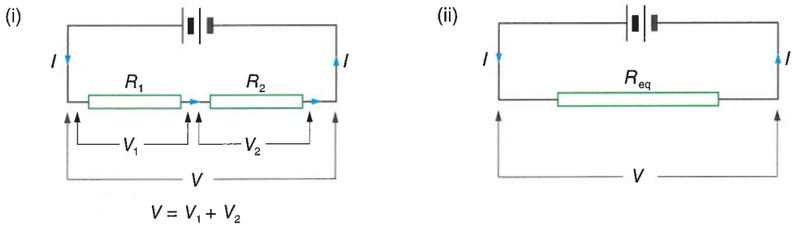


圖 2.4a (i) 串聯的電阻器，以及 (ii) 對應的等效電路

現在，以單一電阻器 R_{eq} 取代 R_1 和 R_2，取代後，I 和 V 須保持不變（圖 2.4a(ii)）。由於兩個電路中，流過每個電阻器的電流都是 I，(1) 可寫成：

$$IR_{eq} = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

$$\Rightarrow \quad \boldsymbol{R_{eq} = R_1 + R_2}$$

推而廣之，計算 R_{eq} 的公式適用於任何數量的串聯電阻器。

$$\boldsymbol{R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n}$$

其中 n 是電阻器的數量。

單元 2.3 已指出電阻與導線的長度成正比 ($R \propto l$)。

▶ 串聯電阻器的等效電阻一定大於個別電阻器的電阻，情形就如把較短的電阻線相連，接成一段較長的電阻線（圖 2.4b）。

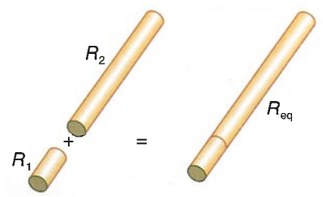


圖 2.4b 把電阻線相連，得出較大的電阻

等效電阻 equivalent resistance

例題 10 串聯組合

圖 a 中，兩個電阻器串聯，再接到電池組。

(a) 求兩個電阻器串聯後的等效電阻。

(b) 6 Ω 電阻器兩端的電勢差是多少？

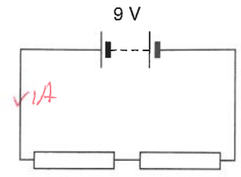


圖 a

題解

(a) 串聯後的等效電阻 $= R_1 + R_2 = 3 + 6 = 9\ \Omega$

(b) 流過每個電阻器的電流 $= \dfrac{V}{R_{eq}} = \dfrac{9}{9} = 1\ \text{A}$

6 Ω 電阻器兩端的電勢差 $= IR = 1 \times 6 = 6\ \text{V}$

習題與思考 2.4 Q10(a) (p.95)

2 並聯的電阻器

錄像片段 2.6

→ **錄像片段 2.6** 示範實驗 2e。

實驗 2e 並聯電阻器的等效電阻

1 如圖 a 所示，把兩個電阻器並聯連接。

2 量度通過電路的電流 I 和橫跨兩個電阻器的電勢差 V，並由關係式 $\dfrac{V}{I}$ 計算等效電阻 R_{eq} 的值。

3 以其他數值的 V、R_1 和 R_2 重複實驗。

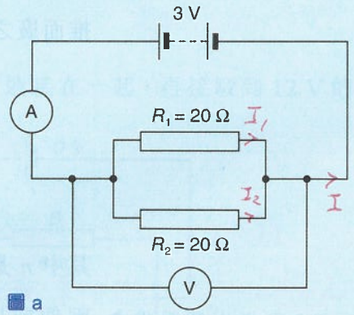
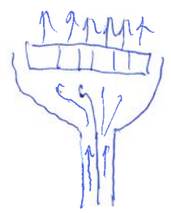


圖 a

討論

R_{eq} 與 R_1 和 R_2 有甚麼關係？ $\dfrac{1}{R_{eq}} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$

[提示：考慮 R_{eq}、R_1 和 R_2 的倒數。]



模擬程式 2.8

→ **模擬程式 2.8** 展示一組有兩個燈泡的並聯電路，學生可隨意改變每個燈泡的電阻值，並觀察這改變對燈泡的亮度和電路的電流有甚麼影響。

從實驗 2e 的結果，我們得知

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

我們也可根據流過各電阻器的電流，推導出這個關係式。

在圖 2.4c(i) 中，流經各個電阻器的電流之和等於流經主電路的電流：

$$I = I_1 + I_2 \quad \text{.....(2)}$$

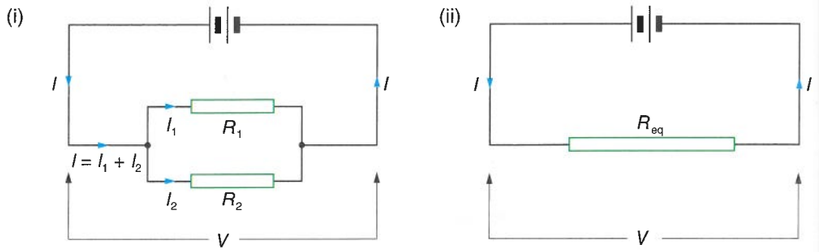


圖 2.4c (i) 並聯的電阻器，以及 (ii) 對應的等效電路

假設以單一電阻器 R_{eq} 取代 R_1 和 R_2，取代後，I 和 V 須保持不變（圖 2.4c(ii)）。由於兩個電路中，每個電阻器兩端的電勢差都是 V，因此 (2) 可寫成：

$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = V\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

推而廣之，R_{eq} 的這個關係式亦適用於任何數量的並聯電阻器。

$$\boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}}$$

其中 n 是電阻器的數量。

單元 2.3 已指出電阻與導線的截面積成反比 $\left(R \propto \frac{1}{A}\right)$。

兩個或以上的電阻器並聯時，所得的等效電阻必定小於個別電阻器的電阻。情形就像電阻線並排，組合成一段截面積較大的電阻線一般（圖 2.4d）。

這是個很貼切的比喻，能解釋為甚麼電阻器並聯後，等效電阻比個別電阻器的總電阻低。

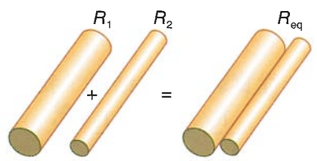


圖 2.4d 兩條電阻線並排，得出較小的電阻

模擬程式 2.9, 2.10

→ **模擬程式 2.9** 展示一組有三個燈泡的複合電路，學生可隨意改變每個燈泡的電阻值，並觀察這改變對燈泡的亮度和電路的電流有甚麼影響。

→ **模擬程式 2.10** 展示六組電路。學生可隨意改變各電路元件的種類及電阻，並觀察這改變對通過元件的電流和元件兩端的電壓有甚麼影響。

例題 11 並聯組合

圖 a 中，兩個電阻器並聯，再接到電池組。

(a) 求兩個電阻器並聯後的等效電阻。

(b) 流過 6 Ω 電阻器的電流是多少？

(c) 主電路的總電流是多少？

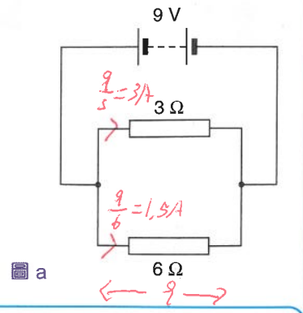


圖 a

題解

(a) 設 R_{eq} 為並聯後的等效電阻。

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2} \quad \Rightarrow \quad R_{eq} = 2\ \Omega$$

(b) 每個電阻器兩端的電勢差 = 9 V

流過 6 Ω 電阻器的電流 $= \frac{V}{R} = \frac{9}{6} = 1.5$ A

(c) 主電路的總電流 $= \frac{V}{R_{eq}} = \frac{9}{2} = 4.5$ A

習題與思考 2.4 Q10(b) (p.95)

以下網站附電阻計算機，可用來找出簡單串聯和並聯電路的等效電阻，節省我們運算的時間。

http://www.calculator.net/resistor-calculator.html

例題 12 複合組合 (I)

如圖 a 所示，三個電阻器 A，B 和 C 連接在一起，再接駁到 12 V 的電池組。

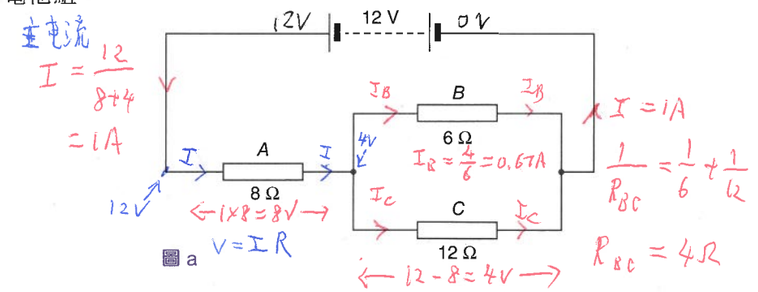


圖 a

(a) 求整個電阻器組合的總電阻。

(b) 流過電阻器 A 的電流是多少？

(c) 電阻器 A 兩端的電勢差是多少？

(d) 橫跨電阻器 B 和 C 這個並聯組合的電勢差是多少？

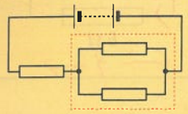
(e) 流過 (i) 電阻器 B 及 (ii) 電阻器 C 的電流各是多少？

技巧分析

複合組合 (I)

計算等效電阻：

① 從最內層的串聯或並聯組合入手，計算這個組合的等效電阻。



② 用等效的單一電阻器取代這部分。

③ 重複以上步驟，找出餘下部分的等效電阻。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

題解

(a) 設 R 為電阻器 B 和 C 的等效電阻。

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{6}+\frac{1}{12}=\frac{1}{4} \quad \Rightarrow \quad R=4\ \Omega$$

這個並聯組合與電阻器 A 串聯。

整個電阻器組合的總電阻 $= 4 + 8 = 12\ \Omega$

(b) 流過電阻器 A 的電流 = 電池組輸出的電流 $=\frac{V}{R}=\frac{12}{12}=1$ A

(c) 電阻器 A 兩端的電勢差 $= IR = 1 \times 8 = 8$ V

(d) 橫跨電阻器 B 和 C 這個並聯組合的電勢差
$= 12 - 8 = 4$ V

(e) 電阻器 B 兩端的電勢差 = 電阻器 C 兩端的電勢差 $= 4$ V

(i) 流過電阻器 B 的電流 $=\frac{V}{R}=\frac{4}{6}=0.667$ A

(ii) 流過電阻器 C 的電流 $=\frac{V}{R}=\frac{4}{12}=0.333$ A

習題與思考 2.4 Q11 (p.95)

例題 13 複合組合 (II)

求 A 點和 B 點之間的等效電阻。

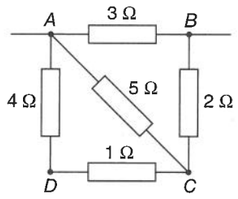
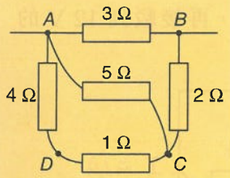


圖 a

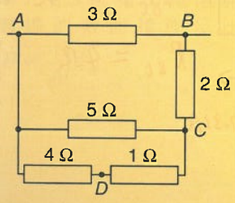
技巧分析

複合組合 (II)

① 把電阻器水平或垂直放置。



② 整理線路（有助於分辨並聯與串聯分支）。



③ 確定所有連結點（A、B、C 和 D）所連接的電阻器與圖 a 中的相同。

題解

這個電阻器組合等同於圖 b 所示的組合。

考慮 5 Ω、4 Ω 及 1 Ω 電阻器。

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{5}+\frac{1}{4+1}$$

$$R = 2.5\ \Omega$$

A 點和 B 點之間的等效電阻（圖 c）：

$$\frac{1}{R_{AB}}=\frac{1}{3}+\frac{1}{2.5+2}$$

$$R_{AB} = 1.8\ \Omega$$

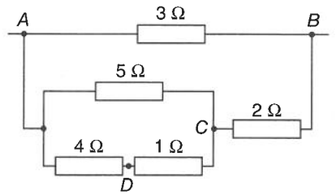


圖 b

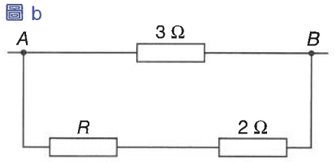


圖 c

進度評估 8 Q1 (p.90)

預試訓練 1 找出電阻器組合的等效電阻

☆ 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部Q26

圖 a 的可變電阻 r (0–30 Ω) 與五個相同的定值電阻器連接。如果 r 的電阻設定為 15 Ω，則 X 端和 Y 端之間的等效電阻 R_{XY} 是 40 Ω。下列哪些敘述必定是正確的？

(1) 如果 r 為 5 Ω，R_{XY} 就是 30 Ω。

(2) R_{XY} 不會低於 25 Ω。

(3) R_{XY} 的最大值是 70 Ω。

A 只有 (1)　　B 只有 (3)

C 只有 (1) 和 (2)　　D (1)、(2) 和 (3)

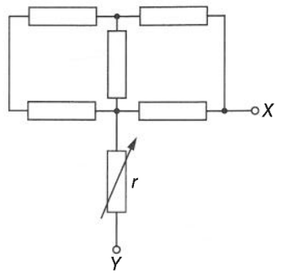


圖 a

題解

可變電阻 r 與五個電阻器串聯。

學生可能忽略了 r 與五個電阻器的組合串聯，因而嘗試找出電阻器組合內的個別電阻。事實上，電路圖可以簡化為：

以單一電阻器取代五個電阻器的組合

當 $r = 15\ \Omega$，$R_{XY} = 40\ \Omega$。

∴ 五個電阻器的等效電阻 $= 40 - 15 = 25\ \Omega$

當 $r = 5\ \Omega$，

$R_{XY} = 5 + 25 = 30\ \Omega$

∴ (1) 是正確的。

當 r 設定為 0，

R_{XY} = 五個電阻器的等效電阻 $= 25\ \Omega$

這是 R_{XY} 的最小值。

∴ (2) 是正確的。

當 r 設定為 30 Ω，R_{XY} 的值最大。在這情況下，

$R_{XY} = 30 + 25 = 55\ \Omega$

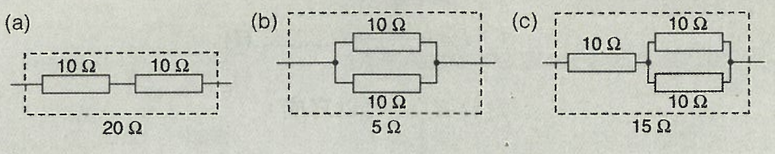
∴ (3) 不正確。

∴ 答案是 C。

複習 Q19 (p.113)

補充資料 組成指定電阻的電阻器網路

在**起點**中，10 Ω 電阻器可以串聯、並聯，或混合串聯和並聯的方式連接，組合成所需的電阻。



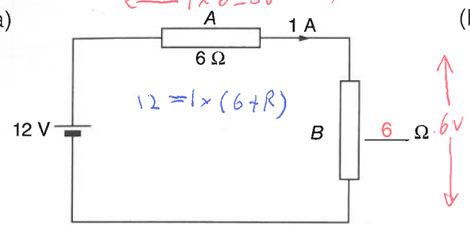
事實上，不論電阻器網路有多複雜，也是由串聯和並聯分支建立出來的。

進度評估 8

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.83）。

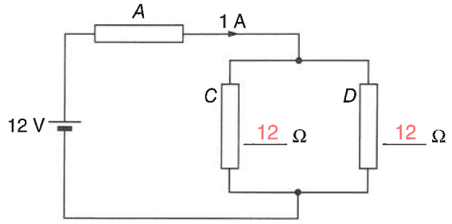
1 在下列橫線上填上電阻值。 1, 2

(a)



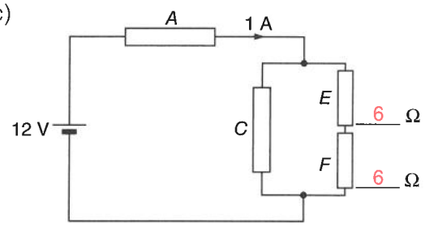
電路 1：電阻器 *A* 和 *B* 串聯

(b)



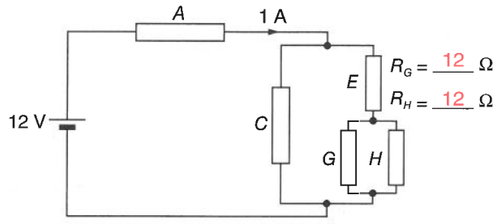
電路 2：以相同的電阻器 *C* 和 *D* 取代 *B*

(c)



電路 3：以相同的電阻器 *E* 和 *F* 取代 *D*

(d)



電路 4：以相同的電阻器 *G* 和 *H* 取代 *F*

2 在題 1 中，哪個電路的等效電阻最高？全部相同 1, 2

3 分壓器

圖 2.4e 的電阻器 R_1 和 R_2 與電池組串聯，電路的總電阻，也就是兩個電阻器的等效電阻可寫成 $R_1 + R_2$。橫跨 R_1 和 R_2 兩端的總電勢差是 V，流過電路的電流是 I。

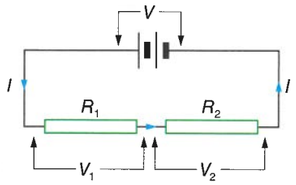


圖 2.4e 電阻器 R_1 和 R_2 與電池組串聯

我們得出以下關係：

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} \quad \text{.....(1)}$$

對於 R_1，I 可以寫成：

$$I = \frac{V_1}{R_1} \quad \text{.....(2)}$$

從 (1) 和 (2) 得出：

$$\frac{V}{R_1 + R_2} = \frac{V_1}{R_1}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{V_1}{V} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

或

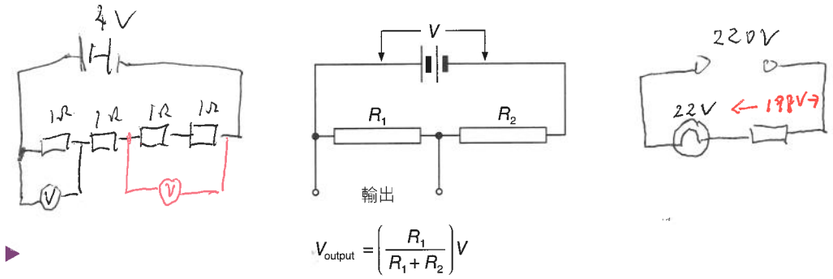
$$V_1 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V$$

同樣地，

$$V_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)V$$

R_1 兩端的電勢差與總電勢差的比是 $R_1 : (R_1 + R_2)$。同樣，R_2 兩端的電勢差與總電勢差的比是 $R_2 : (R_1 + R_2)$。換言之，R_1 和 R_2 把總電勢差 V 按兩者的電阻比 $R_1 : R_2$ 分成兩份。

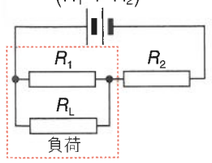
因此，選用有適當電阻比的電阻器，便可獲得特定的輸出電壓 V_{output}（圖 2.4f）。電阻器 R_1 和 R_2 相連接後，組成了一個**分壓器**。



$$V_{output} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V$$

圖 2.4f 輸出電壓取決於電阻器的電阻比

然而，若把負荷接駁到輸出端，輸出電壓 V_{output} 會受負荷的電阻 R_L 影響。當 R_L 的電阻遠高於 R_1 的電阻，V_{output} 的值才會接近 $\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V$。



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_L}$$

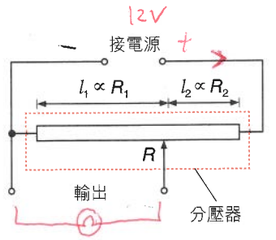
如果 $R_L \gg R_1$，

$R_{eq} \approx R_1$

$$\Rightarrow V_{output} \approx \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)V$$

勻電阻線也可以當作分壓器使用（圖 2.4g）。改變觸頭 R 的位置，可以改變電阻比（因為 $l_1 : l_2 = R_1 : R_2$），從而改變輸出電壓。

$$R = \frac{\rho l}{A}$$



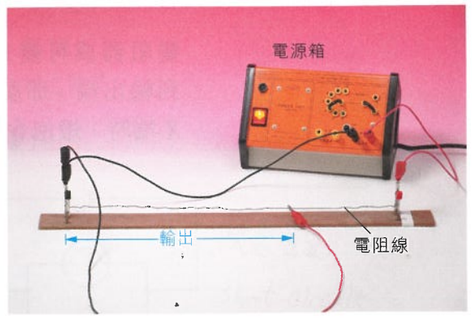


圖 2.4g 用勻電阻線作分壓器

分壓器 potential divider

例題 14 作為分壓器的可變電阻

PQ 是一條長 30 cm 的勻電阻線，總電阻值為 120 Ω，連接到 1.5 V 電池組（圖 a）。滑動觸頭 *S* 可沿 *PQ* 移動。

(a) *P* 和 *S* 現相距 20 cm。

(i) 求 *SQ* 段的電阻與整條電阻線總電阻的比。

(ii) 求輸出電壓。

(b) 如果 *S* 移向 *Q* 端，對輸出電壓會有甚麼影響？

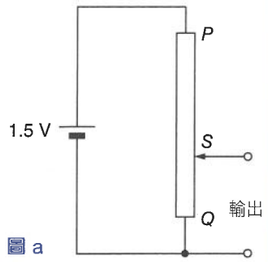


圖 a

題解

(a) (i) 由於 $R \propto l$，

$$\frac{SQ \text{ 段的電阻}}{\text{整條電阻線的總電阻}} = \frac{SQ \text{ 段的長度}}{\text{電阻線的總長度}} = \frac{30 - 20}{30} = \frac{1}{3}$$

SQ 段的電阻與整條電阻線總電阻的比是 1 : 3。

(ii) 輸出電壓 $= \frac{SQ \text{ 段的電阻}}{\text{整條電阻線的總電阻}} \times 1.5 = \frac{1}{3} \times 1.5 = 0.5 \text{ V}$

(b) 隨着 *S* 移向 *Q* 端，*SQ* 段的電阻會減小，輸出電壓（即 *SQ* 兩端的電勢差）也會減小。

習題與思考 2.4 Q13 (p.95)

變阻器或可變電阻的運作與例題 14 的分壓器相似。如果把燈泡連接到輸出端，那麼分壓器就會變成為光暗調節器（圖 2.4h）。觸頭 *R* 移向 *X* 端時，燈泡會變亮。

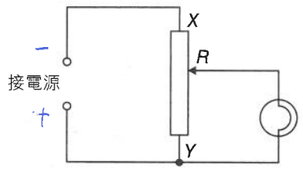


圖 2.4h 用分壓器作光暗調節器

4 短路

在圖 2.4i 的電路中，開關斷開時，燈泡會發亮。如果把開關合上，因為導線的電阻幾乎為零，所以差不多所有電流都流經有開關的支路而不流經燈泡，結果燈泡熄滅，而導線卻變得非常熱。這種情況稱為**短路**。

切記不要用導線直接連接電池的正負極（圖 2.4j），令電池短路。這樣的話電池會很快耗盡，更可能令電線過熱而起火。

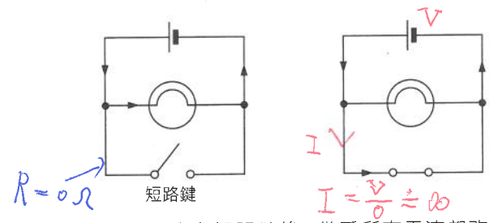


圖 2.4i 合上短路鍵後，幾乎所有電流都改為流經短路

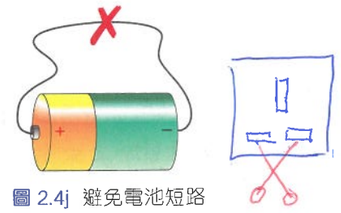


圖 2.4j 避免電池短路

$I = \frac{V}{R}$
若 $R = 0 \Rightarrow I = \infty$

進度評估 9

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.83）。

（第 1 至 3 題）圖 a 的變阻器 R_1 及定值電阻器 R_2 串聯至電動勢為 ε 的電池組。R_1 與 R_2 兩端的電勢差分別是 V_1 和 V_2。

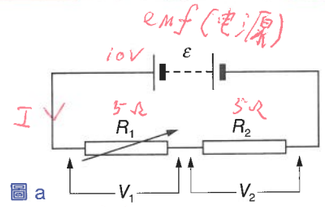


圖 a

3 1 下列哪一項關係式是正確的？

A $V_1 > \varepsilon$　　B $V_1 = \varepsilon$

C $V_1 < \varepsilon$　　D $V_1 \leqslant \varepsilon$

3 2 如果 R_1 的電阻大於 R_2，下列哪一項關係式是正確的？

A $V_1 > V_2$　　B $V_1 = \frac{V_2}{2}$

C $V_1 = V_2$　　D $V_1 < V_2$

3 3 以下哪一個改變會令 V_1 增大？

A R_1 增加　　B R_2 減少

C ε 增加　　D 以上皆是

4 4 開關合上後（圖 b），燈泡會怎樣？ 熄滅

$V = IR$
$I = \frac{V}{R}$

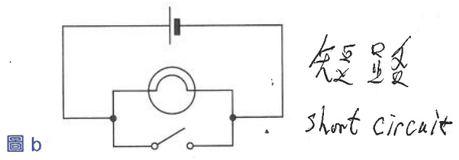


圖 b

短路 short circuit

習題與思考 2.4

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.83）。

2 1 三個電阻器並聯（圖 a），流過每個電阻器的電流都相同。下列哪些關係式是正確的？

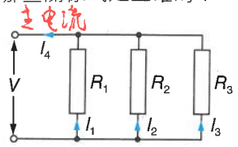


圖 a

(1) $R_1 = R_2 = R_3$

(2) $I_4 = I_1 + I_2 + I_3$

(3) $V = I_4R_3$

A 只有 (1)

B 只有 (2)

C 只有 (1) 和 (2)

D (1)、(2) 和 (3)

1 2 三個電阻器串聯（圖 b），每個電阻器兩端的電勢差都相同。下列哪些關係式是正確的？

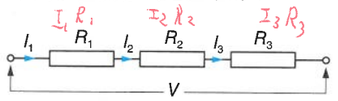


圖 b

(1) $I_1 > I_2 > I_3$

(2) $R_1 = R_2 = R_3$

(3) $V = I_1(R_1 + R_2 + R_3)$

A 只有 (2)

B 只有 (3)

C 只有 (1) 和 (2)

D 只有 (2) 和 (3)

★3 4 兩個燈泡 X 和 Y 接駁至電池組（圖 c），初時開關是閉合的。開關斷開後，下列哪一項敘述並**不正確**？

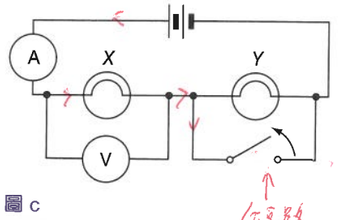


圖 c

A 安培計的讀數上升。

B 伏特計的讀數下降。

C 每單位電荷有較少電能轉移至燈泡 X。

D 燈泡 Y 發亮。

★4 1

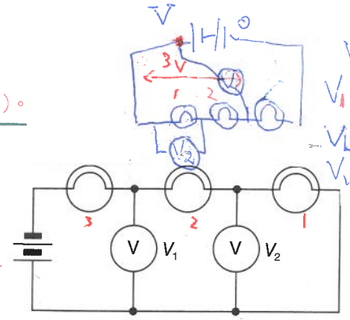


圖 d

圖 d 中所有燈泡都是相同的。伏特計 V_1 的讀數是 3 V，伏特計 V_2 的讀數是多少？

A 1 V

B 1.5 V

C 2 V

D 3 V

★5 2 如果開關 S 閉合（圖 e），下列哪些敘述是正確的？

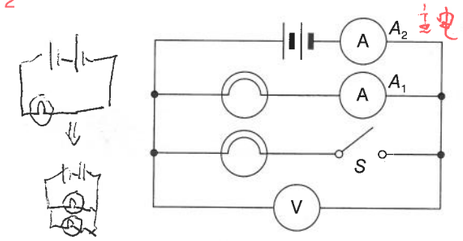


圖 e

(1) 安培計 A_1 的讀數不變。

(2) 安培計 A_2 的讀數下降。

(3) 伏特計的讀數不變。

A 只有 (1)

B 只有 (2)

C 只有 (1) 和 (3)

D 只有 (2) 和 (3)

★6 3

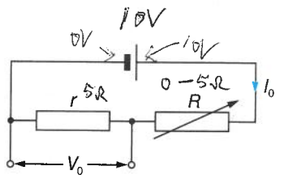


圖 f

定值電阻器 r 及變阻器 R 如圖 f 所示連接。當 R 的電阻由最大值下降至零，V_0 和 I_0 會怎樣變化？

	V_0	I_0
A	減少	減少
B	減少	增加
C	增加	減少
D	增加	增加

2 7 計算電流 I_1 至 I_{10} 的值（圖 g）。

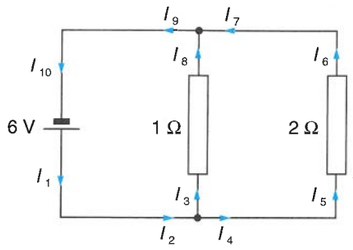


圖 g

4 8 參看圖 h 的電路，計算開關 (a) 斷開、(b) 閉合時，流過 2 Ω 燈泡的電流。

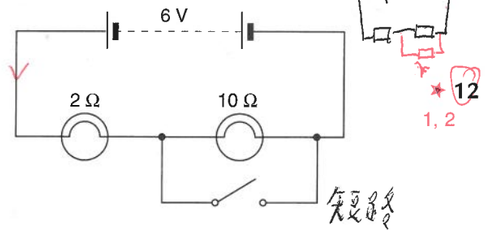


圖 h

★9 1, 2 求以下電阻器網路的等效電阻（圖 i）。

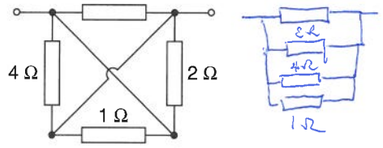


圖 i

[提示：試縮短對角連接點之間的導線。]

★10 1, 2 (a) 三個燈泡串聯（圖 j）。

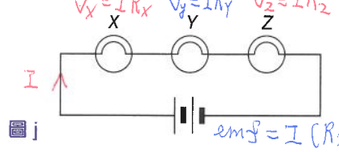


圖 j

如果 X、Y 及 Z 的電阻分別為

(1) 1 Ω、2 Ω 及 3 Ω

(2) 3 Ω、4 Ω 及 12 Ω

(3) R_X、R_Y 及 R_Z

求 (i) 流過 X、Y 及 Z 的電流比，(ii) 橫跨各個燈泡的電壓比。

(b) 假設燈泡改為並聯（圖 k），再計算 (a) 的答案。

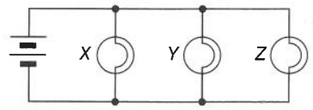


圖 k

(1) 6 : 3 : 2，1 : 1 : 1

(2) 4 : 3 : 1，1 : 1 : 1

(3) $\frac{1}{R_X} : \frac{1}{R_Y} : \frac{1}{R_Z}$，1 : 1 : 1

★11 1, 2 三個電阻器的電阻為 3 Ω、4 Ω 及 12 Ω，它們如圖 l 所示接駁至 6 V 電池組。

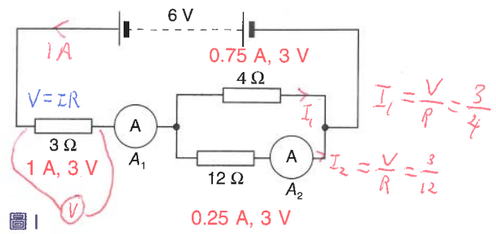


圖 l

(a) 求流過每個電阻器的電流。

(b) 求每個電阻器兩端的電勢差。

(c) 現以未知電動勢的電池組替代 6 V 電池組。如果 A_1 的讀數是 0.4 A，求 A_2 的讀數。

★12 1, 2 考慮圖 m 所示的電路。

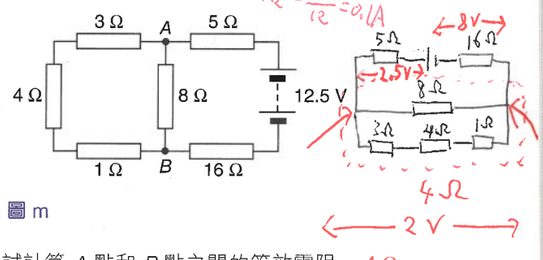


圖 m

(a) 試計算 A 點和 B 點之間的等效電阻。

(b) 試計算整個電阻器網路的等效電阻。

(c) 求 8 Ω 電阻器兩端的電勢差。

(d) 求流經 8 Ω 電阻器的電流。

★13 3 圖 n 所示的電路中，XY 是粗幼均勻的電阻線，電阻為 30 Ω。電池組的電動勢是 6 V。

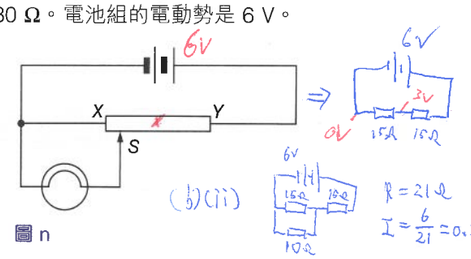


圖 n

(a) 隨着滑動觸頭 S 移向 Y 端，燈泡的亮度有甚麼變化？

(b) 假設 S 移至 Y 端時，電池組輸出的電流是 0.8 A。

(i) 求燈泡的電阻。

(ii) S 移至 X 和 Y 的中間點時，從電池組輸出的電流是多少？

2.5 安培計、伏特計和電源的電阻

✔ 本節重點
1 安培計的電阻
2 伏特計的電阻
3 電源的內電阻

起 點 低温下的電池

你能解答這個問題嗎？ 參看第 102 頁。

在前面部分，我們並沒有考慮在電路中接駁安培計或伏特計的影響。事實上，它們的**內電阻**對電路會有或多或少的影響，以下部分會詳細說明。

1 安培計的電阻

錄像片段 2.7
→ 錄像片段 2.7 示範實驗 2f。

實驗 2f 用安培計量度電流

1 如圖 a 所示接駁電路。
2 記錄安培計的讀 I'。
3 計算電路中電流 I 的理論值，並比較理論性與實驗值 I' 的大小。

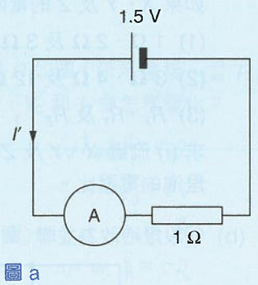


圖 a

討 論

1 理想的安培計，電阻應該怎樣？ 零
2 I 和 I' 的值是否相同？兩者的比較結果是怎樣？ $I' < I$
不同

內電阻 internal resistance

實際上，安培計具有電阻，它串聯到電路時（圖 2.5a），會增加電路的等效電阻（$R_{eq} = R + R_A$），令讀數 I' 比理論值 I 小。但如果安培計的內電阻很低，讀數的下降幅度就不顯著。

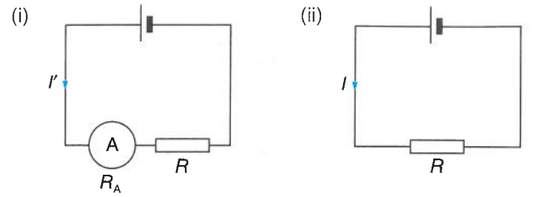


圖 2.5a (i) 連接安培計和 (ii) 沒有連接安培計時流過電路的電流

良好的安培計，內電阻必須非常低。

表 2.5a 列出一般安培計的內電阻。

安培計的量度範圍	一般的內電阻 / Ω（或有 10 倍出入）
0–1 A	0.1
0–1 mA（毫安培計）	100
0–100 μA（微安培計）	1000

表 2.5a 一般安培計的內電阻

有些安培計的內電阻其實並不低。所謂「非常低」，是相對電路的電阻而言。

例 題 15 比較安培計的準確度

美琪把一個 21 Ω 的電阻器連接到 3 V 的電池組，然後把表 a 中的兩個安培計 A 和 B 輪流接駁到電路。

(a) 流過電阻器的電流 I，理論值是多少？
(b) 使用 (i) 安培計 A 和 (ii) 安培計 B 時所量度到的電流分別是多少？
(c) 哪個安培計的量度結果較準確？

	A	B
量度範圍	0–1 A	0–200 mA
內電阻值	0.1 Ω	2 Ω

表 a

題 解

(a) $I = \frac{V}{R} = \frac{3}{21} = 0.143$ A

(b) 設安培計的內電阻為 R'。

(i) $I = \frac{V}{R + R'} = \frac{3}{21 + 0.1} = 0.142$ A

(ii) $I = \frac{V}{R + R'} = \frac{3}{21 + 2} = 0.130$ A

(c) 安培計 A

進度評估 10 Q5 (p.100)

從例題 15 可見，使用內電阻較低的安培計，量度結果會較準確。一般來說，安培計的內電阻遠低於電路的電阻時，量度結果才會貼近理論值。

之前提及，安培計一定不能直接接駁至電池兩極，因為安培計的電阻非常低。若把安培計直接接駁至電池兩極，通過電路的電流會很大，很可能損壞安培計。

2 伏特計的電阻

錄像片段 2.8

→ 錄像片段 2.8 示範實驗 2g。

實驗 2g 用伏特計量度電阻器兩端的電壓

1 如圖 a 所示接駁電路。

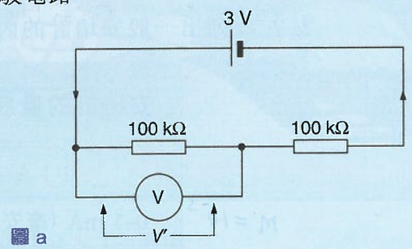


圖 a

2 記錄伏特計的讀數 V'。

3 計算電阻器兩端電壓 V 的理論值，並比較理論值與實驗值 V' 的大小。

討論

1 理想的伏特計，電阻應該怎樣？ 無限大

2 V 與 V' 的值是否相同？兩者的比較結果是怎樣？ $V' < V$，不同

$R_{eq} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_v}\right)^{-1}$

實際上，伏特計的內電阻雖然很大，但並不至於無限大，它並聯到電路時（圖 2.5b），R_1 兩端的等效電阻會降低，因此 R_1 兩端所量得的電勢差 V' 會比理論值 V 小。如果伏特計的內電阻很高，讀數的下降幅度就不顯著。

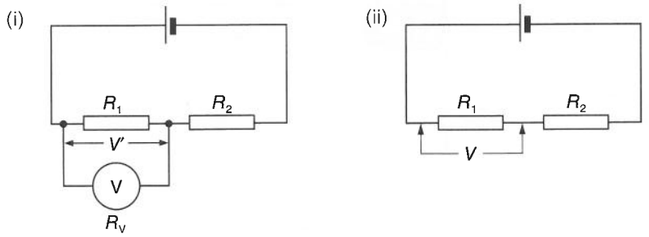


圖 2.5b (i) 連接伏特計和 (ii) 沒有連接伏特計時 R_1 兩端的電勢差

良好的伏特計，內電阻必須非常高。

表 2.5b 列出一般伏特計的內電阻。

伏特計的量度範圍 / V	一般的內電阻 / Ω
0–0.1	10^3
0–1	10^4
0–10	10^5

表 2.5b 一般伏特計的內電阻

例題 16 伏特計的影響

兆斌把兩個電阻器 R_X (240 Ω) 和 R_Y (360 Ω) 串聯到 200 mV 的發電機（圖 a），然後用表 a 中的兩個伏特計 A 和 B 輪流量度 R_X 兩端的電勢差 V_X。

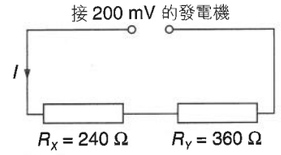


圖 a

	A	B
量度範圍	0–0.1 V	0–1 V
內電阻值	1 kΩ	10 kΩ

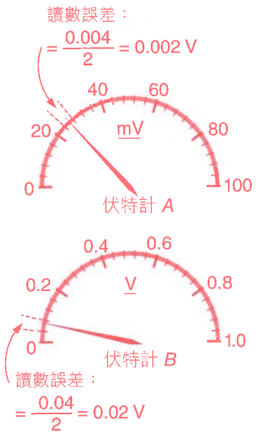
表 a

(a) V_X 的理論值是多少？

(b) 使用 (i) 伏特計 A 和 (ii) 伏特計 B 時所量度到的 V_X 分別是多少？

(c) 哪個伏特計的量度結果較準確？

然而，在量度低電壓時，伏特計 A 的讀數誤差或較伏特計 B 小。



可見伏特計的內電阻較高，量度到的結果較準確。

題解

(a) $V_X = \left(\frac{R_X}{R_X + R_Y}\right)V = \left(\frac{240}{240 + 360}\right) \times 200 = 80 \text{ mV}$

(b) (i) 設 R_X 和伏特計 A 的等效電阻為 R_{eq}。

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_A} \Rightarrow R_{eq} = \left(\frac{1}{240} + \frac{1}{1000}\right)^{-1} = 193.5\ \Omega$$

$$V_X = \left(\frac{R_{eq}}{R_{eq} + R_Y}\right)V = \left(\frac{193.5}{193.5 + 360}\right) \times 200 = 69.9 \text{ mV}$$

(ii) 設 R_X 和伏特計 B 的等效電阻為 R_{eq}'。

$$\frac{1}{R_{eq}'} = \frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_B} \Rightarrow R_{eq}' = \left(\frac{1}{240} + \frac{1}{10\,000}\right)^{-1} = 234.4\ \Omega$$

$$V_X = \left(\frac{R_{eq}'}{R_{eq}' + R_Y}\right)V = \left(\frac{234.4}{234.4 + 360}\right) \times 200 = 78.9 \text{ mV}$$

(c) 伏特計 B

進度評估 10 Q6 (p.100)

從例題 16 可見，伏特計的內電阻遠高於要量度的電阻時，電勢差的量度結果才會接近理論值。

進度評估 10

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.96）。

1 圖 a 所示的電路先後接駁了不同電阻的安培計和電阻器。以下哪個組合所得出的安培計讀數最**不可靠**？

	R_A	R
(A)	1 Ω	5 Ω
B	0.1 Ω	5 Ω
C	1 Ω	100 Ω
D	0.1 Ω	100 Ω

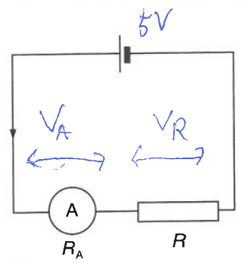


圖 a

2 圖 b 所示的電路先後接駁了不同電阻的伏特計和電阻器。以下哪個組合所得出的伏特計讀數最**不可靠**？

	R_V	R
(A)	1 kΩ	5 kΩ
B	1 kΩ	50 Ω
C	100 kΩ	5 kΩ
D	100 kΩ	50 Ω

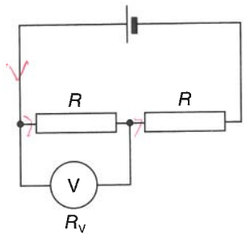


圖 b

3 是非題：理想安培計的電阻為無限大。（對 / (錯)）

4 是非題：理想伏特計的電阻為無限大。（(對) / 錯）

（第 5 至 6 題）考慮圖 c 所示的電路。

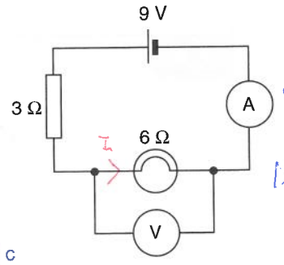


圖 c

5 1, 2 設電路所用的是理想伏特計。試比較理想情況以及安培計有不同內電阻 R_A 的情況，並完成表 a。

	理想情況	R_A = 0.1 Ω	R_A = 1 kΩ
安培計讀數	1 A	0.989 A	8.92 mA
伏特計讀數	6 V	5.93 V	53.5 mV

表 a

6 1, 2 設電路所用的是理想安培計。試比較理想情況以及伏特計有不同內電阻 R_V 的情況，並完成表 b。

	理想情況	R_V = 1 Ω	R_V = 100 kΩ
安培計讀數	1 A	2.33 A	1.00 A
伏特計讀數	6 V	2.00 V	6.00 V

表 b

3 電源的內電阻

實際情況下，電源都有內電阻，會對電路造成影響。

錄像片段 2.9

→ 錄像片段 **2.9** 示範實驗 2h。

實驗 2h 電池組的電動勢

1 如圖 a 所示接駁電路，並記錄伏特計的讀數。

2 把一個「12 V，24 W」的燈泡連接到 6 V 電池組（圖 b），並記錄伏特計的讀數。

3 找出伏特計讀數的下降幅度，並以此推算電池組的內電阻。

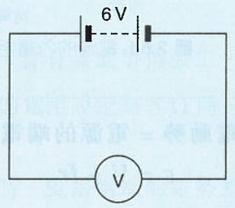


圖 a

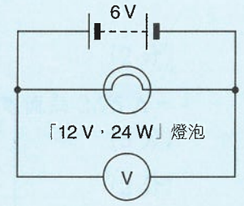


圖 b

討論

為甚麼伏特計的讀數會下降？ 電源有內電阻

在實驗 2h 中，燈泡接入電路後，伏特計的讀數會下降，這個變化是由電池組的內電阻所引起的。所有電源，包括電池組和低壓電源箱，都有內電阻。

圖 2.5c 顯示伏特計接駁到 6 V 電池組的兩端時，讀數約為 6 V；但燈泡接入電路後，伏特計的讀數便稍微下降。這個新的讀數稱為電源的**端電壓**。

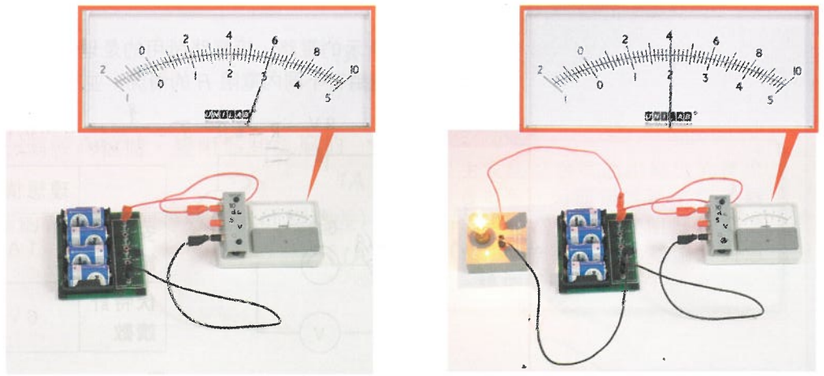


圖 2.5c 接上燈泡後會有電流通過電路，伏特計的讀數會下降

端電壓 terminal voltage

這表示電源的端電壓 V 比它的電動勢 ε 小，出現這個差距的原因是電源的內電阻扣減了部分電壓。在圖 2.5d 中，電源的內電阻 r 扣減了 2.0 V 的電壓，所以燈泡兩端僅有 4.0 V 的端電壓。

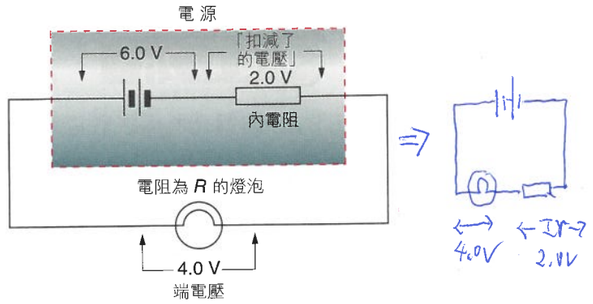


圖 2.5d 電源的內電阻使電壓下降

電源的電動勢 = 電源的端電壓 + 內電阻兩端的電勢差

$$\varepsilon = V + Ir$$

其中 I 是流過電路的電流。

由於橫跨電源的端電壓 V 相等於橫跨電源外部負荷兩端的電勢差，如果負荷的電阻為 R，以上關係式可以寫成

$$\varepsilon = IR + Ir$$

鹼性電池的內電阻在低溫之下較高。參看**起點**的問題，照相機等電器要從電池組支取較大的電流，在寒冷環境中，性能會大受影響。由於 r 和 I 的值都較大，r 兩端的電勢差便變得顯著，端電壓因而大大減小，所以照相機出現低電量的標誌。

乾電池的電阻通常約為 0.5 Ω，0–12 V 電源箱的電阻約為 2–3 Ω。在一般情況下，除非特別指明，否則計算時都不用理會內電阻所造成的影響。

進度評估 11

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.96）。

31 是非題：當電源接駁的負荷電阻很高，因內電阻而扣減的電壓可減至最小。 （對 / 錯）

32 考慮圖 a 所示的電路，設電路所用的是理想安培計和伏特計。試比較理想情況以及電池組有不同內電阻 R 的情況，並完成表 a。

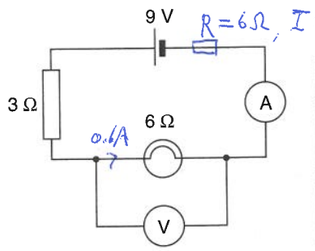


圖 a

	理想情況	R = 6 Ω	R = 6 MΩ
安培計讀數	1 A	0.6 A	1.50 μA
伏特計讀數	6 V	3.6 V	9.00 μV

表 a

預試訓練 2 使用內電阻很高的電池組 ☆ 香港中學會考 2006 年卷一 Q11

手提暖風機內有一個變阻器（作為發熱元件）和一把風扇，兩者並聯連接到電池組（圖 a）。風扇可以視為電路內的定值電阻器。電池組的電動勢為 18 V，內電阻 r **不能**略去不計且大小恆定不變。

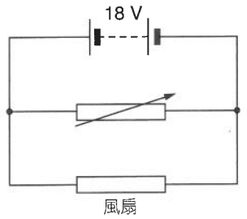


圖 a

(a) 試解釋若變阻器的電阻設定為零，會有甚麼事情發生。 （2 分）

(b) 已知風扇的電阻為 50 Ω。變阻器的電阻設定為 5 Ω 時，電池組輸出的電流為 2.75 A。求電池組的內電阻。 （3 分）

(c) 變阻器的電阻設定至一個較高值時，風扇兩端的電勢差會怎樣變化？ （2 分）

題解

(a) 如果變阻器的電阻設定為零，電池組便會短路。 *1A*

結果，風扇會停止轉動，而電池組很快會耗盡。 *1A*

注意，短路並不會損壞風扇。

(b) 變阻器和風扇的等效電阻

$$= \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{50}\right)^{-1}$$

$$= \frac{50}{11}\ \Omega \qquad \textit{1M}$$

假設電池組的內電阻為 r。

根據 $V = IR$， *1M*

$$18 = 2.75 \times \left(\frac{50}{11} + r\right)$$

$$r = 2\ \Omega \qquad \textit{1A}$$

電池組的內電阻為 2 Ω。

(c) 變阻器的電阻設定至一個較高值時，變阻器和風扇的等效電阻便會增加。 *1A*

由於 r 不變，風扇兩端的電勢差（即等效電阻的電勢差）也會增加。 *1A*

常見錯誤

學生或誤以為電池組輸出的電流不會改變，因而錯誤斷定變阻器的電阻愈高，流過變阻器的電流便愈小，流過風扇的電流因而愈大。這個解釋是錯誤的。

複習 Q34 (p.116)

例題 17 量度細小的電阻值

電路 1 和 2 都可以用伏安法來找出燈泡的電阻 r（圖 a 和 b）。電源的電動勢 ε 是 4 V，安培計、伏特計和電源的內電阻分別是 r_A (2 Ω)、r_V (1 kΩ) 和 r_P (3 Ω)。假設 r = 10 Ω。

電路 1

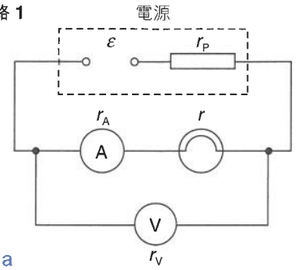


圖 a

電路 2

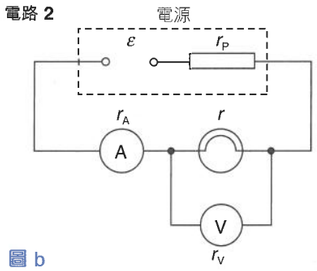


圖 b

(a) 找出在電路 1 中燈泡電阻的量度值 r_1。

(b) 找出在電路 2 中燈泡電阻的量度值 r_2。

(c) 試考慮伏特計和安培計讀數的誤差，從而說明 r 的數值偏低時，適合用哪個電路來量度。

題解

(a) 設 r_A、r 和 r_V 的等效電阻為 R_{eq}。

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{r_A + r} + \frac{1}{r_V} \Rightarrow R_{eq} = \left(\frac{1}{2+10} + \frac{1}{1000}\right)^{-1} = 11.9\ \Omega$$

$$\text{伏特計讀數} = \left(\frac{R_{eq}}{R_{eq} + r_P}\right)\varepsilon = \left(\frac{11.9}{11.9+3}\right) \times 4 = 3.19\ \text{V}$$

$$\text{安培計讀數} = \frac{\text{伏特計讀數}}{r_A + r} = \frac{3.19}{2+10} = 0.266\ \text{A}$$

$$r_1 = \frac{\text{伏特計讀數}}{\text{安培計讀數}} = \frac{3.19}{0.266} = 12.0\ \Omega$$

(b) 設 r 和 r_V 的等效電阻為 R_{eq}'。

$$\frac{1}{R_{eq}'} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r_V}$$

$$\Rightarrow R_{eq}' = \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{1000}\right)^{-1} = 9.90\ \Omega$$

$$\text{安培計讀數} = \frac{\varepsilon}{R_{eq}' + r_A + r_P} = \frac{4}{9.90+2+3} = 0.268\ \text{A}$$

$$\text{伏特計讀數} = IR_{eq}' = 0.268 \times 9.90 = 2.65\ \text{V}$$

$$r_2 = \frac{\text{伏特計讀數}}{\text{安培計讀數}} = \frac{2.65}{0.268} = 9.89\ \Omega$$

(c) 在電路 1，由於 r 和 r_A 的電阻相若，兩者的電勢差也相若。伏特計的讀數大大高於燈泡兩端的電勢差，因此誤差很大。

在電路 2，由於 r 的電阻大大低於 r_V，流過伏特計的電流非常小，甚至可略去不計，因此安培計讀數的誤差很小。

由此可知，當 r 的數值偏低，就較適合用電路 2 來量度。

習題與思考 2.5 Q7 (p.106)

習題與思考 2.5

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.96）。

除特別指明外，假設電路所用的是理想安培計和理想伏特計，電池組的內電阻可略去不計。

1, 2 **1** 在圖 a 中，安培計和伏特計的讀數是多少？

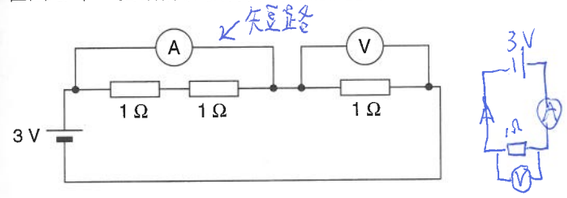


圖 a

	安培計	伏特計
A	零	1 V
B	1 A	1 V
C	3 A	1 V
(D)	3 A	3 V

3 **2** 圖 b 中的電池組有 2 Ω 的內電阻。電池組連接 10 Ω 電阻器時，安培計的讀數是 0.125 A。電池組的端電壓是多少？

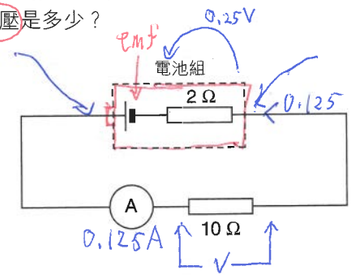
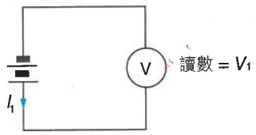


圖 b

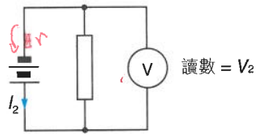
A 75 mV
(B) 1.25 V
C 1.5 V
D 無法確定

★ 3 **3** 圖 c 所示的電路中，各電池組和各電阻器都相同，電池組的內電阻並不是零。

電路 1



電路 2



電路 3

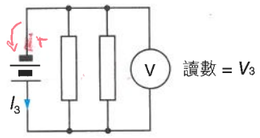


圖 c

以下哪些敘述是正確的？

(1) $V_1 = V_2 = V_3$

(2) $I_2 < I_3$

(3) 在電路 3 中，內電阻扣減的電壓最大。

A 只有 (1)
B 只有 (2)
(C) 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

1, 2 **4** 圖 d 和 e 的電路中，安培計和伏特計以不同方式接駁。安培計的電阻並不是零，伏特計的電阻並不是無限大。

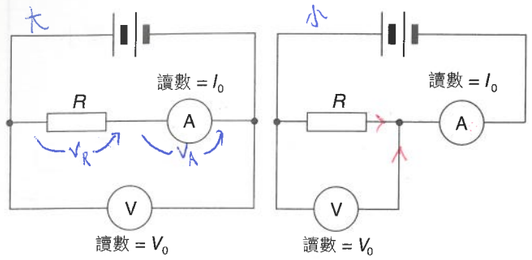


圖 d

圖 e

考慮以上**每一種**接駁安排。

(a) I_0 是否大於流過 R 的電流？ 否；是

(b) V_0 是否大於 R 兩端的電勢差？ 是；否

(c) R 的真正電阻是否等於 $\frac{V_0}{I_0}$？ 否；否

(d) 這個接駁方式較適合量度高還是低的電阻？試解釋原因。 高；低

★ 5
3

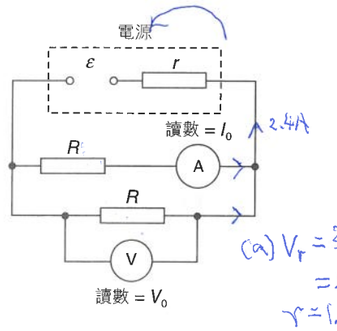


圖 f

考慮圖 f 的電路。求以下情況下電源的內電阻 r。

(a) ε = 9 V，I_0 = 1.2 A，V_0 = 6 V 1.25 Ω

(b) ε = 9 V，I_0 = 0.6 A，R = 10.0 Ω 2.5 Ω

(c) ε = 6 V，V_0 = 4.8 V，R = 16.0 Ω 2 Ω

★ 6
3 某台照相機由一顆 3.6 V 的充電池供電（圖 g）。25 °C 時，照相機每拍一張照片，從電池輸出的電流平均值為 1 A。充電池的內電阻會隨溫度下降而增加（圖 h）。

圖 g

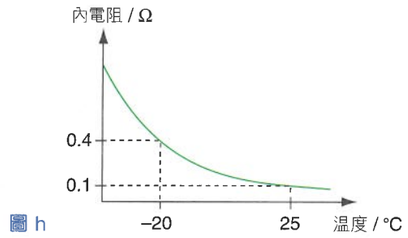


圖 h

(a) 找出照相機的電阻。 3.5 Ω

(b) 計算照相機在 −20 °C 時充電池輸出的電流。 0.923

(c) 據此，計算充電池在 −20 °C 時的端電壓。 3.23 V

(d) 解釋為甚麼照相機在低溫（例如 −20 °C）之下不能正常運作。

★ 7
2, 3 內電阻為5 Ω 的12 V 電源與電阻為 R 的負荷連接。一個伏特計接駁到負荷兩端，以找出負荷兩端的電壓降 V_m（圖 i）。

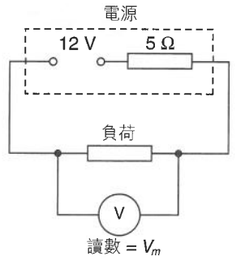


圖 i

(a) 電源輸出電流的理論值是 $\frac{12}{R}$，而量度值是 $\frac{V_m}{R}$。假設量度值的百分誤差不多於 5%，求 R 的最小值。 95 Ω

(b) 解釋以下情況怎樣影響 (a) 部的答案。

(i) 電路所用的不是理想伏特計 增加

(ii) 電源有較低的內電阻 減小

總結 2

詞彙

1	電流 electric current	p.55	13	變阻器 rheostat	p.72
2	安培 (A) ampere	p.55	14	歐姆定律 Ohm's law	p.72
3	安培計 ammeter	p.57	15	電阻率 resistivity	p.77
4	串聯 in series	p.58	16	電阻器 resistor	p.78
5	並聯 in parallel	p.58	17	定值電阻器 fixed resistor	p.79
6	電壓 voltage	p.63	18	可變電阻 variable resistor	p.79
7	伏特 (V) volt	p.63	19	等效電阻 equivalent resistance	p.84
8	電動勢 electromotive force (e.m.f.)	p.63	20	分壓器 potential divider	p.91
9	電勢差 potential difference (p.d.)	p.63	21	短路 short circuit	p.93
10	伏特計 voltmeter	p.64	22	內電阻 internal resistance	p.96
11	電阻 resistance	p.70	23	端電壓 terminal voltage	p.101
12	歐姆 (Ω) ohm	p.70			

課文摘要

2.1 電流

1 電流是電路中電荷的流動率。

$$\text{電流} = \frac{\text{電荷}}{\text{時間}} \quad \left(I = \frac{Q}{t}\right)$$

電流的單位是安培 (A)，大小可用安培計或電流感應器量度。

2 傳統電流從電池組的正極 (+) 經電路流往負極 (–)，與電子的流向相反。

3 串聯電路中，電流處處相等。

並聯電路中，主電路的電流是流經各個分支電流的總和。

2.2 電壓、電動勢和電勢差

4 橫跨兩點的電壓是指每單位電荷從一點到達另一點時的電勢能轉變。

$$\text{電壓} = \frac{\text{電勢能的轉變}}{\text{電荷}} \quad \left(V = \frac{E}{Q}\right)$$

電壓的單位是伏特 (V)，大小可用伏特計或電壓感應器量度。

5 電源兩端的電壓稱為電動勢，是電源給予每單位電荷的電勢能，通常以 ε 來表示。

6 電路中在電源以外任意兩點間的電壓稱為電勢差，是每單位電荷通過這兩點時，轉換成其他形式能量的電勢能。

7 串聯電路中，橫跨所有負荷的電勢差總和相等於電源的電動勢。
並聯電路中，橫跨每個負荷的電勢差都相同，也相等於電源的電動勢。

8 串聯連接時，總電動勢是橫跨各電池的電動勢總和。
並聯連接時，總電流是流經各電池的電流總和。

2.3 電阻

9 電阻表示物體阻礙電荷通過的程度。

$$\text{電阻} = \frac{\text{導體兩端的電勢差}}{\text{流過導體的電流}} \quad \left(R = \frac{V}{I}\right)$$

電阻以歐姆 (Ω) 為單位 ($1\ \Omega = 1\ \text{V A}^{-1}$)。

10 歐姆定律指出，如果溫度和其他物理條件不變，導體兩端的電勢差與流過導體的電流成正比 ($V \propto I$)。

11 歐姆導體的電阻恆定不變且遵從歐姆定律；而非歐姆導體的電阻並不是恆定不變的，且不遵從歐姆定律。

12 大多數金屬的電阻會隨溫度升高而增加，而大多數半導體的電阻則隨溫度升高而減少。

13 金屬線的電阻 R 與下列因素有關：(a) 長度 l、(b) 截面積 A、(c) 所用的物料。

14 電阻率 ρ 顯示物料在某一溫度下對電流的阻力有多大，它的單位是 Ω m。

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

15 電阻器是具有已知電阻的裝置，定值電阻器的電阻是固定的，但可變電阻 (如變阻器) 的電阻則可以改變。

2.4 串聯與並聯的電阻器

16 串聯電阻器的等效電阻：$R_{eq} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$

並聯電阻器的等效電阻：$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$

17 變阻器能當作分壓器來使用，以控制橫跨負荷兩端的電勢差。

18 用導線直接連接電阻器的兩端，會出現短路。由於導線的電阻幾乎為零，所以差不多全部電流都流過導線而不流過電阻器。如果市電電路發生短路，電線可因過熱而起火。

2.5 安培計、伏特計和電源的電阻

19 良好的安培計，內電阻必須非常低。

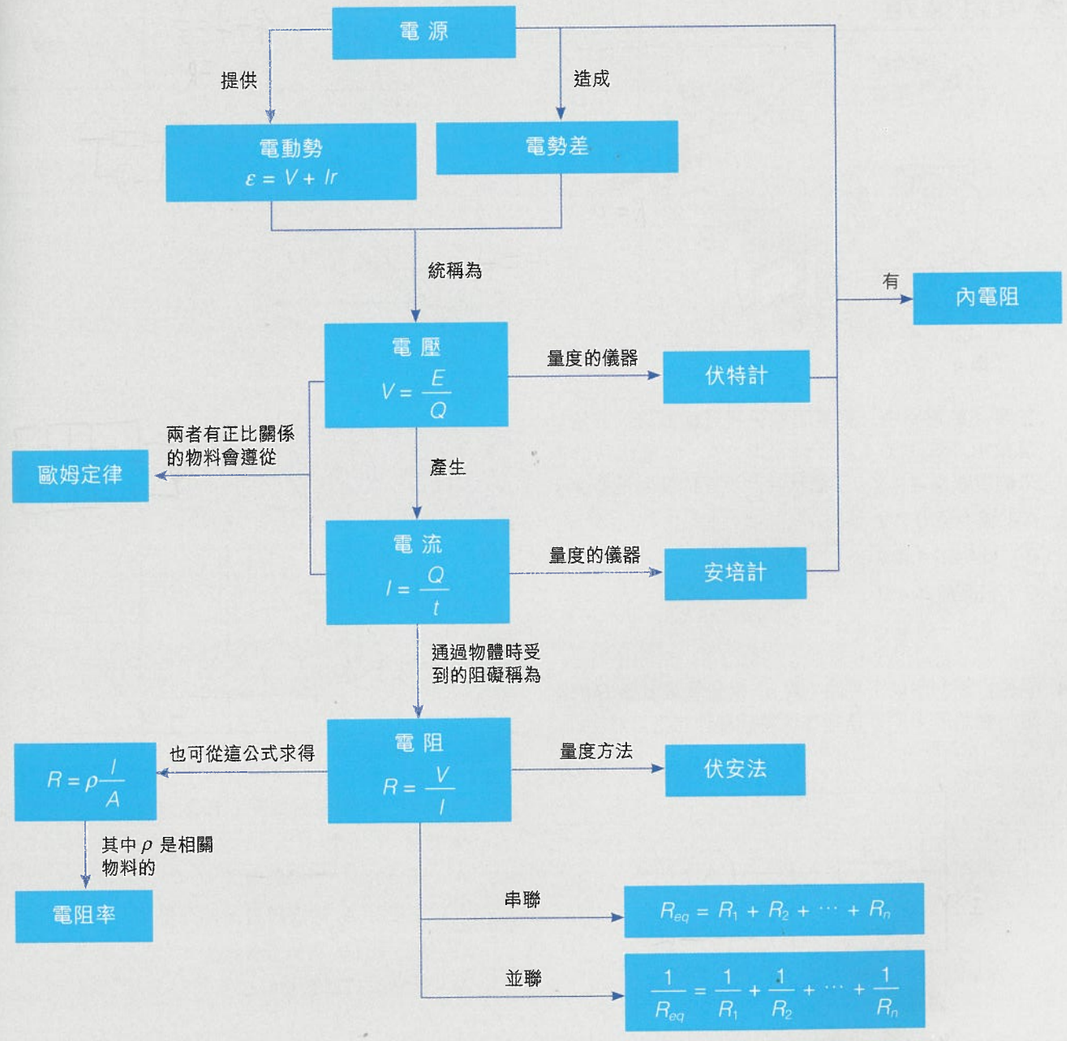
20 良好的伏特計，內電阻必須非常高。

21 電源的內電阻令它的端電壓小於電動勢。

22 電源的電動勢 = 電源的端電壓 + 內電阻兩端的電勢差

$$\varepsilon = V + Ir$$

概念圖



複習 2

Q1 電阻率只取決於構成導體的物料成分，但與導體的形狀大小無關。
Q2 燈泡短路時，通過它的電流很小（或變為零），燈泡不會亮着或燒毀。

除特別指明外，假設電路所用的是理想安培計和理想伏特計，電池組的內電阻可略去不計。

概念重溫

（第 1 至 2 題）判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 2009 年卷一Q5 考試報告

2.3 **1** 電阻率會隨導線的長度而增加。F

☆ 香港中學會考 2006 年卷一Q11 考試報告

2.4 **2** 燈泡短路就會燒毀。F

多項選擇題

2.2 **3**

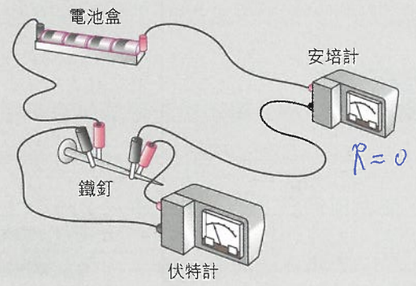


圖 a

在圖 a 的電路中，把電阻線更換成鐵釘後，安培計讀數由原來的 0.4 A 下降至 0.2 A。如果伏特計原來的讀數為 1.4 V，那麼伏特計現在的讀數是多少？

A 減半至 0.7 V
(B) 維持在 1.4 V
C 稍高於 1.4 V
D 增加一倍至 2.8 V

2.5 **4** 學生打算利用以下電路（圖 b）來量度電阻器 *R* 的電阻。電路所用的不是理想伏特計和理想安培計。

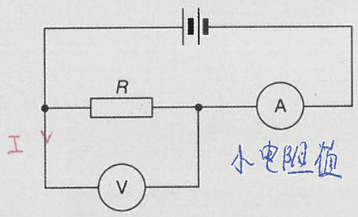
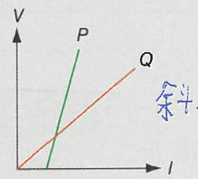


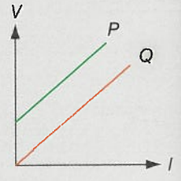
圖 b

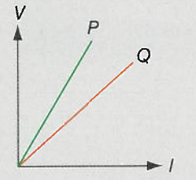
要得出可靠的實驗結果，伏特計和安培計的電阻應該是多少？

A 安培計和電阻器 *R* 的電阻相當。
B 安培計比電阻器 *R* 的電阻低很多。
C 伏特計和電阻器 *R* 的電阻相當。
(D) 伏特計比電阻器 *R* 的電阻高很多。

2.3 **5** 兩個歐姆導體 *P* 和 *Q* 與電池組串聯。*P* 的電阻高於 *Q*。以下哪些可能是兩個元件的 *V*–*I* 線圖？

(1)


(2)


(3)


A 只有 (2)
(B) 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

★6 綜合題

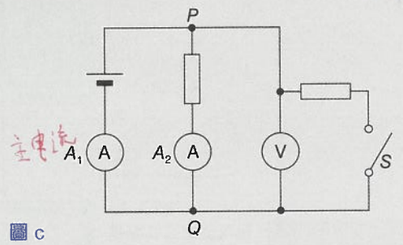


圖 c

兩個相同的電阻器如圖 c 所示連接。開關 *S* 閉合時會怎樣？

A 安培計 A_1 的讀數會減少。
(B) 安培計 A_2 的讀數會保持不變。
C *PQ* 兩端的電勢差會減少。
D 伏特計的讀數會減少。

★7 2.4

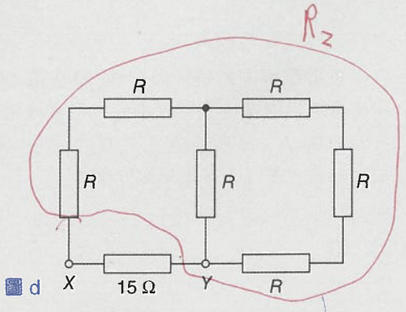


圖 d

圖 d 所示的電阻器網路由一個 15 Ω 電阻器及六個相同的電阻器組成。已知 *XY* 兩端的等效電阻為 10 Ω。如果以 10 Ω 電阻器替代 15 Ω 電阻器，*XY* 兩端的等效電阻會變成

A 5 Ω。
(B) 7.5 Ω。
C 12.5 Ω。
D 20 Ω。

★8 綜合題 電壓 *V* 施加於直徑為 *d*、長度為 *l* 的銅線。以下哪些改變會增加每秒鐘通過銅線的電荷數目？

(1) 增加 *V*。
(2) 增加 *l*。
(3) 減少 *d*。

(A) 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

（第 9 至 10 題）考慮兩個電阻器 *X* 和 *Y* 的 *V*–*I* 線圖（圖 e）。

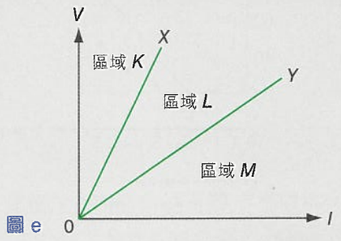


圖 e

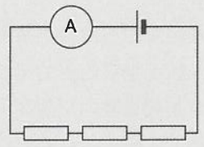
★9 綜合題 若將 *X* 和 *Y* 串聯，該組合的 *V*–*I* 線圖會位於圖中哪一個區域內？

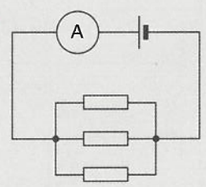
(A) 區域 *K*
B 區域 *L*
C 區域 *M*
D 無法確定

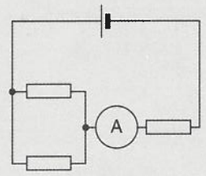
★10 綜合題 若將 *X* 和 *Y* 並聯，該組合的 *V*–*I* 線圖會位於圖中哪一個區域內？

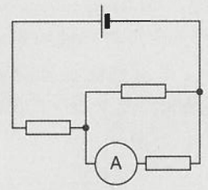
A 區域 *K*
B 區域 *L*
(C) 區域 *M*
D 無法確定

★11 2.4 把 2 V 電池組接駁至安培計及三個 1 Ω 電阻器。以下哪一個電路的安培計讀數最大？

A


B


C


D


★12 綜合題 *J*、*K*、*L* 及 *M* 是四個相同的燈泡（圖 f）。如果移走燈泡 *K*，以下哪一項敘述是正確的？

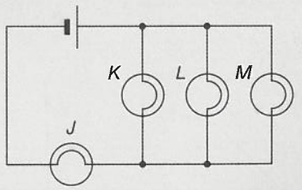


圖 f

A 電路的等效電阻下降。
B 流過 *J* 的電流增加。
(C) *J* 兩端的電勢差減少。
D *L* 及 *M* 的等效電阻比 *J* 大一倍。

★ 13
2.5

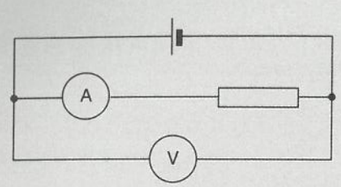


圖 g

圖 g 中的電路用來量度電阻器的電阻。電路所用的不是理想伏特計和理想安培計。以下哪些關於這個電路的敍述是正確的？

(1) 伏特計的讀數總是較電阻器兩端的電勢差大。
(2) 安培計的讀數總是較流過電阻器的電流大。
(3) 量度得出的電阻總是較真實的電阻高。

A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

★★ 14
綜合題

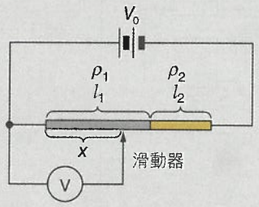
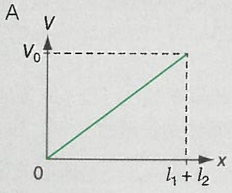
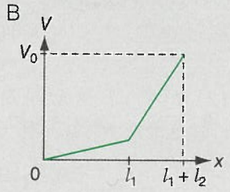
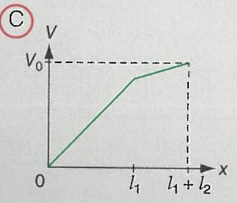


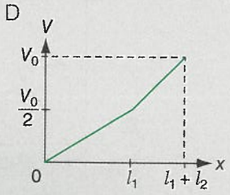
圖 h

電阻線由兩段線組成，它們的長度分別是 l_1 和 l_2，而電阻率則是 ρ_1 和 ρ_2，其中 $\rho_1 > \rho_2$。電阻線如圖 h 所示連接到電路。假設整條線的粗幼均勻，V 是伏特計的讀數，x 是滑動器跟電線一端的距離，以下哪一個線圖最能代表 V 跟 x 的關係？

A


B


C


D


參看 p.77

★★ 15
2.4

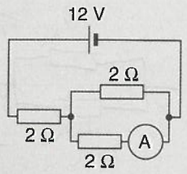
俊傑有數個相同的燈泡及一個 10 V 電池組。他把所有燈泡串聯連接到電池組時，從電池組輸出的電流是 0.01 A；而所有燈泡並聯連接時，從電池組輸出的電流是 1 A。求燈泡的數目。

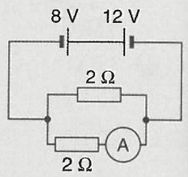
A 4
B 10
C 20
D 1000

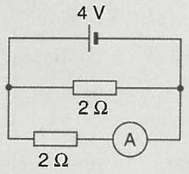
參看例題 10, 11 (p.85, 87)

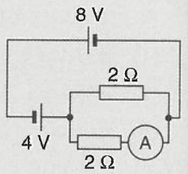
★★ 16
綜合題

以下哪一個電路中的安培計讀數跟其他的不同？

A


B


C


D


參看 p.67，例題 12 (p.87)

2.3 17 香港高級程度會考 2008 年卷二 Q15

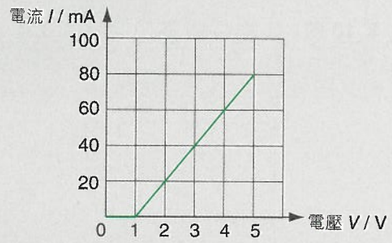


圖 i

以上圖線顯示一個電路元件的 I–V 關係。以下推斷，何者正確？

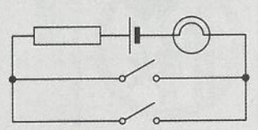
(1) 當所施電壓是 0.5 V 時，該元件的電阻無限大。
(2) 當所施電壓超過 1 V 時，該元件的電阻為恆定。
(3) 當所施電壓超過 1 V 時，電壓跟電流成正比。

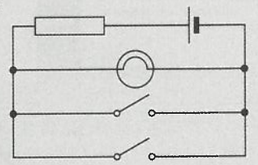
		AL	ASL
A	只有 (1)	(22%)	(15%)
B	只有 (3)	(14%)	(27%)
C	只有 (1) 和 (2)	(36%)	(19%)
D	只有 (2) 和 (3)	(28%)	(39%)

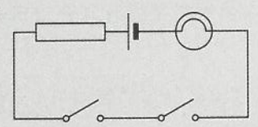
18
綜合題

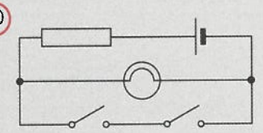
香港中學會考 2010 年卷二 Q17

一輛雙門汽車裝置了一個車門警告訊號的指示燈。當兩扇車門其一或同時打開時，指示燈便會亮着。一名學生為此設計了四款不同電路，在每扇車門上安裝一個開關器，車門打開時開關器便會斷開。以下哪一個電路是正確的？

A

(35%)

B

(23%)

C

(12%)

D

(30%)

2.4 19 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q26

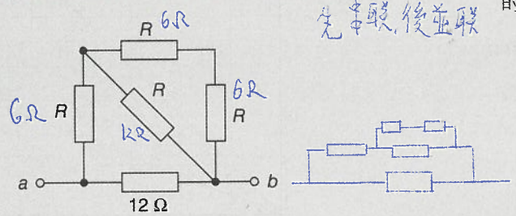


圖 j

在上面網路中，跨端鈕 a 與 b 的電阻為 6 Ω。如圖中的 12 Ω 電阻器以 6 Ω 電阻器替代，則跨端鈕 a 與 b 的電阻會變為

A 2 Ω。
B 4 Ω。(58%)
C 6 Ω。
D 不能求得，因 R 值未知。

2.3 20 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一甲部 Q26

X 和 Y 兩勻截面積金屬棒由相同的物質製成，體積相同。X 的長度和電阻分別是 l 和 R。若 Y 的長度是 $2l$，它的電阻是多少？

A $R/4$ (4%)　　B $R/2$ (13%)
C $2R$ (64%)　　D $4R$ (19%)

2.5 21 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q24

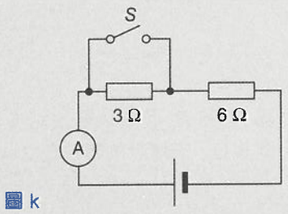


圖 k

在上圖的電路中，電池有恆定電動勢及固定的內阻。當開關 S 閉合，安培計的讀數為 3.0 A。當開關 S 斷開時，安培計的讀數可以是多少？

A 1.6 A (9%)　　B 2.0 A (63%)
C 2.4 A (20%)　　D 3.2 A (8%)

問答題

2.3 22 在研究歐姆定律的實驗中，學生把電阻線連接到電池組，並量度電阻線兩端的電壓 V 和流經電阻線的電流 I。圖 l 顯示電流 I 對電壓 V 的線圖。

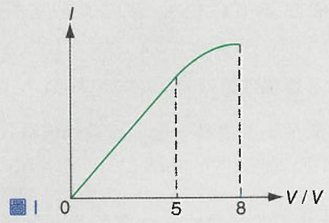


圖 l

(a) 試描述以下情況中，電阻線的電阻會怎樣改變。
(i) 電壓由零增加到 5 V 不變　(1 分)
(ii) 電壓由 5 V 增加到 8 V 上升　(1 分)

(b) 試解釋圖 l 中，電壓由 5 V 增加至 8 V 時線圖的形狀。　(1 分)

2.4 **23** 兩個電阻器 R_1 和 R_2 與電池組串聯（圖 m）。R_2 的電阻為 20 Ω；伏特計和安培計的讀數分別是 1 V 和 0.25 A。求電池組的電動勢。6 V （2 分）

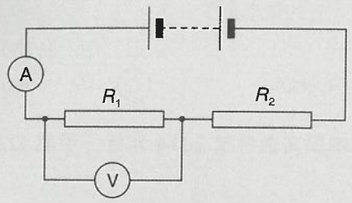


圖 m

2.4 **24** 兩個電阻器 R_1 和 R_2 與 9 V 電池組並聯（圖 n）。R_2 的電阻是 6 Ω，安培計的讀數是 2 A。

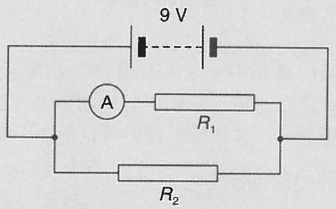


圖 n

(a) 求 R_1 的電阻。4.5 Ω （2 分）

(b) 求 R_1 和 R_2 的等效電阻，據此找出電池組輸出的電流大小。2.57 Ω，3.50A （2 分）

(c) 流過 R_2 的電流是多少？1.50 A （1 分）

★ **25** 2.3 一條電阻為 5 Ω 的金屬線，長度是 10 mm，截面積是 2 mm^2。

(a) 求金屬線的電阻率。0.001 Ω m （2 分）

(b) 如果金屬線增長一倍，而粗幼保持均勻，新的電阻又是多少？10 Ω （2 分）

★ **26** 2.4 假設現有三個相同的 3 Ω 電阻器。試用電路圖顯示怎樣利用一個或以上的電阻器得到以下等效電阻。

(a) 1 Ω （1 分）

(b) 2 Ω （1 分）

(c) 4.5 Ω （1 分）

(d) 9 Ω （1 分）

★ **27** 綜合題 港鐵路軌的上方有架空電纜。如果金屬氣球意外接觸到電纜和其他物件，港鐵的供電系統便可能發生故障。因此，港鐵乘客不能攜帶金屬氣球進入車站（圖 o）。

圖 o

(a) 試解釋金屬氣球導致供電系統發生故障的原因。 （3 分）

(b) 為甚麼技術人員維修電纜時須穿上塑膠鞋？ （2 分）

★ **28** 2.3 一條導線的電阻 R 會隨本身的長度 l 及截面積 A 而改變，圖 p 顯示兩條物料相同，但粗幼不同的導線的 R–l 線圖。

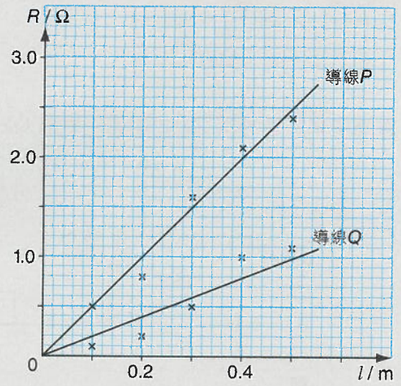


圖 p

(a) 試輔以電路圖，描述一個方法，以找出一條粗幼均勻電阻線的電阻怎樣隨長度而改變。 （3 分）

(b) 根據線圖，勻截面積導線的電阻與長度有甚麼關係？ （1 分）

(c) (i) 如果導線 P 和導線 Q 的長度相同，哪條的電阻較高？ P

(ii) 哪條導線較粗？試解釋你的答案。 （4 分）
Q

★ **29** 2.5 學生獲發一個未知電阻值的電阻器 R、一個電池組、一個電阻為 1000 Ω 的伏特計及一個電阻為 1 Ω 的安培計。他先後用兩個不同的電路接駁以上裝置（圖 q），來量度電阻器 R 的電阻。

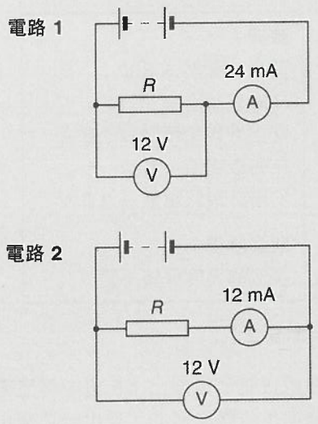


圖 q

(a) 根據各電路中伏特計及安培計的讀數，計算 R 的電阻。500 Ω；1000 Ω （2 分）

(b) 哪個電路能較準確地量度 R 的電阻？為甚麼？ 電路 2 （5 分）

★ **30** 2.4 下圖中，P 和 Q 是兩個相同的燈泡（圖 r）。XY 是電阻為 3 Ω 的金屬線。開始時，滑動觸頭 S 位於 XY 中間。

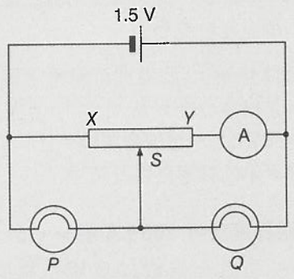


圖 r

(a) 試描述以下情況中燈泡 P 和 Q 的亮度。

(i) S 移向 X 端 減少；增加

(ii) S 位於 X 端 熄滅；最亮

(iii) S 位於 Y 端 最亮；熄滅

（3 分）

(b) 當 S 移至 Y 端，安培計的讀數是 2 A。求 P 的電阻。1 Ω （3 分）

★ **31** 綜合題 輸電纜以非常高的電壓傳送電力。

(a) 站在輸電纜上的小鳥（圖 s）會不會觸電？為甚麼？ 不會 （3 分）

圖 s

(b) 在架空高壓電纜附近放風箏（圖 t）很危險。為甚麼？ （3 分）

圖 t

★ **32** 綜合題 圖 u 顯示街燈怎樣與 220 V 電源連接，每盞街燈有兩個燈泡。電路基本上是一個並聯電路，而每個分支都有兩個燈泡串聯在一起。每個燈泡的電阻為 180 Ω。

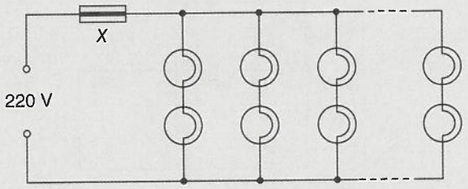


圖 u

(a) 當一盞街燈內的一個燈泡燒毀，這盞街燈會熄滅但其他街燈仍會發亮。為甚麼會這樣？ （2 分）

(b) 如果有更多街燈並聯，街燈的亮度會改變嗎？試簡略解釋。 不會 （2 分）

(c) 當電源輸出的電流大於 20 A，裝置 X 就會斷開電路。電路最多可連接多少盞街燈？ （3 分）
32

(d) 一個安培計接駁到電路以監察電流的流動。

(i) 安培計應安置在哪裏？在圖 u 繪畫安培計的電路符號來顯示答案。 （1 分）

(ii) 解釋良好安培計要有低電阻的原因。 （3 分）

(e) 在一小時內，每一個燈泡有多少電能轉換成其他形式的能量？ 242 kJ （3 分）

★★ 33 2.4 圖 v 的電路 1 用於控制燈 Q 的亮度。P 是可變電阻，滑動器 S 能夠沿長 15 cm 的均勻電阻線 AB 移動，令可變電阻有 0 至 20 Ω 的電阻變化。流過 Q 的電流達 3 A 時，Q 就會燒毀。

電路 1

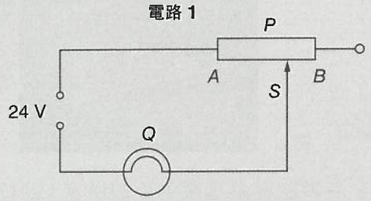


圖 v

(a) S 應移向 A 端還是 B 端才能令 Q 更光亮？ A （1 分）

(b) 電源供應的電壓為 24 V。當 SA 長 4.5 cm，Q 即燒毀。

(i) 求 Q 的電阻。 2 Ω （3 分）

(ii) 找出電源的電壓限制，使 Q 在這個電路中不會因電流過大而燒毀。 6 V （1 分）

(c) 圖 w 顯示的電路2也能用於控制燈 Q 的亮度。

電路 2

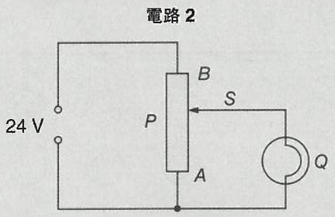


圖 w

(i) S 應移向 A 端還是 B 端才能令 Q 更光亮？ B （1 分）

(ii) 對控制 Q 的亮度來說，電路 2 與電路 1 相比，有甚麼優點和缺點？試各舉一項。 （2 分）

參看例題 14 (p.92)

考試報告見第 119 頁。

34 香港中學會考 2006 年卷一 Q11

綜合題

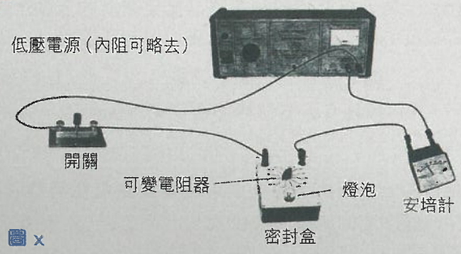


圖 x

老師給婉明一個密封盒，內中的燈泡連接可變電阻器。老師要求婉明推斷在密封盒裏的燈泡和可變電阻器是如何連接的。婉明於是連接一個如圖 x 所示的電路。她將可變電阻器的電阻 R 減少，並將變化記錄如表 a 中所示。

數據：
電源的電壓 = 3 V
R 的起始值 = 15 Ω
安培計起始讀數 = 2.6 A
R 的最終值 = 5 Ω
安培計最終讀數 = 3.0 A
觀察所得：
燈泡的亮度保持不變

表 a

(a) (i) 婉明正確地推斷出，在盒中可變電阻器和燈泡是並聯連接的。舉出一項理由以支持婉明的結論。 （1 分）

(ii) 繪出電路圖以說明如何連接圖 x 中的儀器，包括盒子內的元件。用符號 ⊣⊢ 表示低壓電源。 （2 分）

(iii) 利用表 a 的數據，求出燈泡的電阻值。 1.25 Ω （3 分）

(b) 婉明的同學卓琳把兩個 1.5 V 乾電池串聯來代替低壓電源，進行同樣的實驗。若乾電池的內阻不能忽略不計，解釋為甚麼當 R 減少時，燈泡的亮度會減弱。 （4 分）

(c) 老師問卓琳：「如果把可變電阻器調到零值，會有甚麼事發生？」

卓琳回答說：「燈泡會燒毀。」

解釋卓琳的答案是否正確。 （2 分）

考試報告見第 119 頁。 ☆ 略去原題 (a) 部。

35 香港高級程度會考 2009 年卷一 Q5

2.3

一個學生利用一條鍍於玻璃纖維底板上的銅條（圖 y）進行實驗以測量銅的電阻率。銅條濶 2.0 mm，而其厚度為 35 μm。

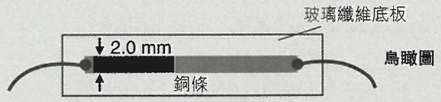


圖 y

將這銅條連接至圖 z 所示電路。調校變阻器直至通過銅條的電流為 3.0 A。

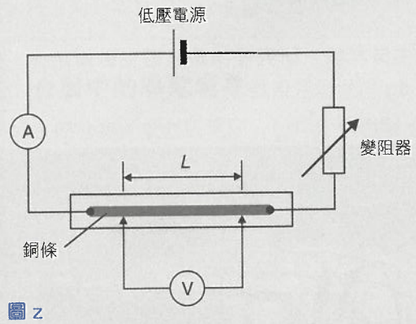


圖 z

(a) 用伏特計跨接不同長度 L 的一段銅線，量度相應的電壓降 V，而實驗期間電流保持在 3.0 A。V 對 L 的圖線標繪如下。（設通過伏特計的電流可略。）

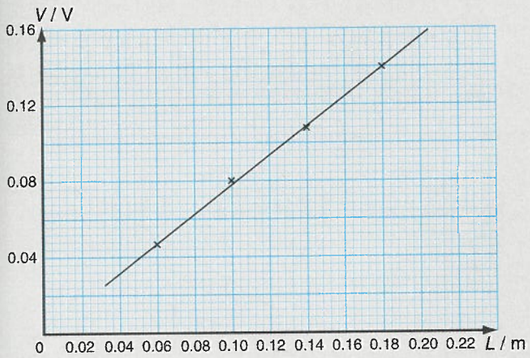


圖 aa

(i) 指出進行該實驗時有關安全的一個注意事項。 （1 分）

(ii) 以長度 L 和銅的電阻率 ρ 寫出 V 的表達式，並利用圖線求 ρ。 （5 分）

$V = 4.29 \times 10^{7} \rho L$；$1.80 \times 10^{-8}$ Ω m

(b) (i) 該學生想求銅在室溫下的電阻率。簡略說明銅條上的電流會怎樣影響所得結果。 （2 分）

(ii) 指出以較長的銅條進行實驗的**兩個**好處。 （2 分）

36 香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q10

綜合題

(a) 在圖 ab 所示的電路中，內阻可略的 12 V 電池組連接着熱敏電阻器 R 和電阻為 120 Ω 的電阻器。所示線圖為熱敏電阻器的電阻跟溫度的變化。

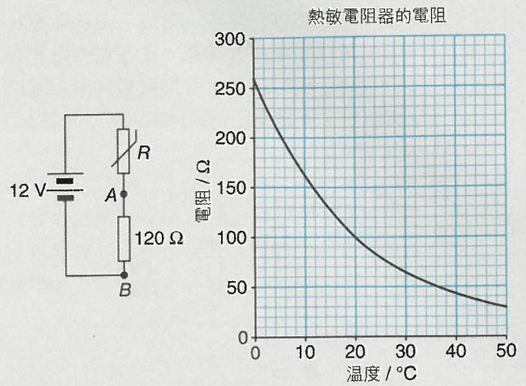


圖 ab

(i) 求熱敏電阻器 R 於 25 °C 時的電阻。 80 Ω （1 分）

(ii) 於 25 °C 時，A 和 B 之間的電勢差 V_{AB} 是多少？ 7.2 V （2 分）

(b) 凱莉用電阻約為 1 kΩ 的伏特計量度 V_{AB} 以確定以上計算。她發覺縱使十分小心進行量度，所得讀數跟 (a) 部求得的數值有些微不同。解釋為何如此。建議可怎樣改善量度的準確度。 （3 分）

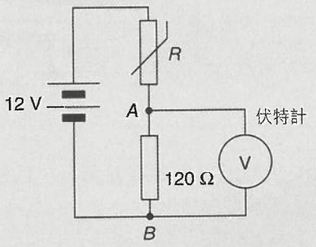


圖 ac

(c) (i) 跨 AB 接一電子開關，倘若溫度升至高於某定值而使 V_{AB} 為 6.0 V 或以上，則電勢差 V_{AB} 可驅動開關來啟動一風扇。利用線圖所提供的資料，求使風扇保持開動的最低溫度。顯示你的步驟。 16 °C （2 分）

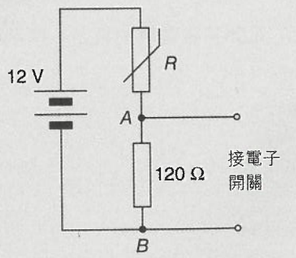


圖 ad

(ii) 在不增加額外元件下，完成下面的新電路圖以闡釋怎樣修改電路，使在溫度降至低於某額定值時啟動一發熱裝置。解釋電路的運作。不需作任何計算。（3 分）

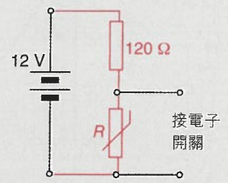


圖 ae

實驗題

★ 37 綜合題 學生打算用安培計和伏特計找出某電阻器 *X* 的電阻，於是設計了以下的電路。

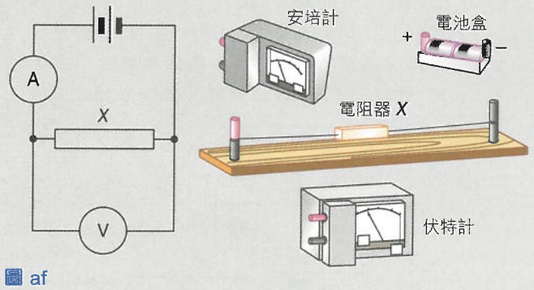


圖 af

(a) 依照所提供的電路圖，在圖 af 畫出 5 條導線來接駁裝置。（3 分）

(b) 寫出一條方程，顯示怎樣用安培計和伏特計的讀數計算電阻。$R = \frac{V}{I}$（1 分）

(c) 老師說：「如果電阻器 *X* 和伏特計的電阻相若，電阻的實驗值就會不準確。」試解釋在這情況下，電阻的實驗值比真實值高還是低。低（4 分）

(d) 設計和繪畫新的電路，顯示電阻偏高時的量度方法。（2 分）

★ 38 2.4 現給予你兩個電阻器 *P* 和 *Q*、一個伏特計、一個電池組和數條導線。描述一個實驗以找出哪一個電阻器的電阻較高。（4 分）

★ 39 2.3 學生做實驗以研究燈絲是否遵從歐姆定律。他如圖 ag 所示接駁儀器。

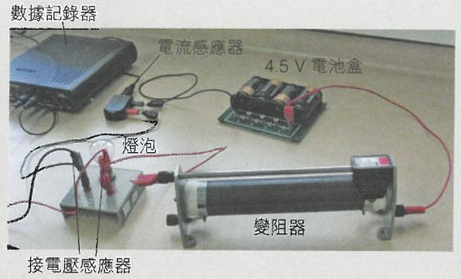


圖 ag

學生先讓燈泡亮着一段時間，使燈絲達到穩定的溫度才啟動數據記錄器。他把變阻器的滑動觸頭快速地從一端拉到另一端。然後，他把 4.5 V 電池盒換成 3 V 電池盒，並重複量度。圖 ah 顯示所得的結果。

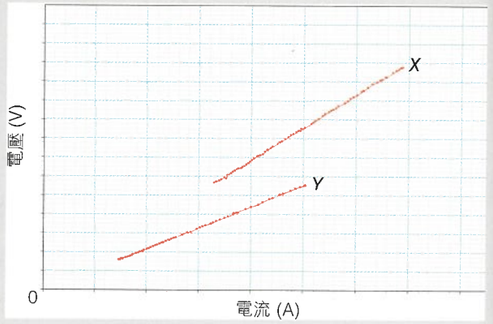


圖 ah

(a) 為甚麼要快速拉動滑動觸頭？（2 分）

(b) 燈絲有沒有遵從歐姆定律？試說明原因。有（2 分）

(c) 試分辨圖 ah 中哪一條圖線對應使用 4.5 V 電池盒，並作解釋。*X*（3 分）

物理文章分析

★ 40 綜合題 閱讀下列一段有關金屬導電的文章，然後回答隨後的問題。

金屬中的導電現象

金屬含有大量自由電子，所以能夠導電。自由電子可以穿越金屬的晶格（「晶格」指原子具規律的排列方式），而且速率很高，約為 10^6 m s^{-1}。由於自由電子移動時會和正離子相撞，它們的運動都是隨機的，而且路徑呈之字形（圖 ai），因此，總位移和總電流都是零。

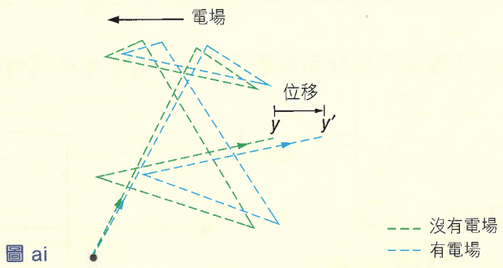


圖 ai

然而，假如金屬兩端與電池連接，情況就變得不一樣。這時，金屬之內建立了一個電場，自由電子受電場作用而加速，因而獲得動能。不過，能量並不會一直增加下去，因為自由電子與正離子碰撞後會減慢，它們的動能會轉移到離子，使離子加劇振動。

(a) 學生提出：「除非金屬與電池連接，否則金屬內的自由電子都靜止不動。」試說明學生的論點是否正確。不正確（2 分）

(b) 根據以上文章的內容，簡單解釋電流通過金屬時產生熱效應的原因。（2 分）

❑ Q34 考試報告：這題有關在線路上連接一個有燈泡及可變電阻的密封盒，考生的答題表現並不理想。

(a) (i) 在提供理據支持可變電阻及燈泡是並聯時，很多考生都不能提到當電阻值 *R* 減少時燈泡的電壓保持不變。他們只是指出如題目所提供「燈泡的亮度保持不變」。

(ii) 雖然有些表現較弱的考生不知道可變電阻的正確符號，但這部分的線路圖一般繪畫得很好。

(iii) 考生在這部分的表現令人滿意，大部分能利用提供的數據得出燈泡的電阻值。

(b) 這部分考生表現差勁，大部分考生不明白當可變電阻的電阻值減少時，密封盒的電壓怎樣受到電池內阻的影響。證明很多考生弱於質化的推理，而有時過分依賴利用公式處理線路的問題。例如：很多考生不正確地辯說「燈泡的亮度會減少因為當 *R* 的數值減少時，流過 *R* 的電流會增加，少些電流經過燈泡，所以較暗」。

(c) 大部分考生知道燈泡短路，但有相當數量的考生混淆當電源與燈泡串聯時短路（燈泡燒毀）及燈炮短路（燈泡不發亮）的意思，給出錯誤及矛盾的答案（例如：「燈泡發生短路，所以燒毀」）。

❑ Q35 考試報告：很少考生能指出 (a)(i) 部的注意事項為將變阻器設於最大值。約三分之一的考生懂得以 *L* 和 ρ 表出 *V*。然而部分考生未能寫出 ρ 的正確數量級或單位。在 (b) 部，大部分考生能指出銅條上的電流會引致溫度上升。有些考生把電阻率和電阻混淆，並誤以為電阻率隨銅條長度而增加。很多生認為使用較長的銅條可減低量度長度的誤差，而不是百分誤差。

自我評核 2

時間：20 分鐘　　總分：12 分

答題須知

1 全部題目均須作答。
2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
3 答案須寫在預留的空位內。
4 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

除特別指明外，假設電路所用的是理想安培計和理想伏特計，電池組的內電阻可略去不計。

甲部

2.4 **1**

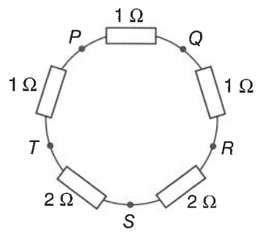


圖 a

在圖 a 中，以下哪兩點之間的電阻最高？

A　R 和 T　　B　R 和 S
C　P 和 Q　　D　Q 和 T

A

2 綜合題

兩個電阻器 R_1 及 R_2 如圖 b 所示的方法接駁在一起。開關 S 斷開時，安培計的讀數是 1 A，伏特計的讀數是 8 V。開關合上後，安培計的讀數是 1.5 A，伏特計的讀數是 6 V。R_1 及 R_2 的電阻是多少？

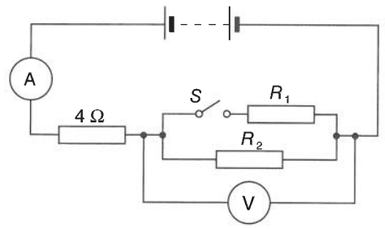


圖 b

	R_1	R_2
A	4 Ω	4 Ω
B	8 Ω	4 Ω
C	8 Ω	8 Ω
D	4 Ω	8 Ω

C

3 綜合題

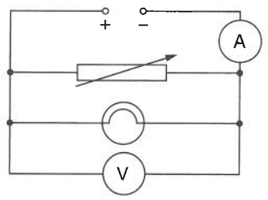


圖 c

考慮以上電路。可變電阻的電阻增加時會發生甚麼事？

(1) 安培計的讀數減少。
(2) 伏特計的讀數增加。
(3) 燈泡的亮度增加。

A　只有 (1)　　B　只有 (2)
C　只有 (1) 和 (3)　　D　只有 (2) 和 (3)

A

2.4 **4**

兩個相同的電阻器（電阻值為 R）分別以串聯及並聯的方式連接（圖 d）。

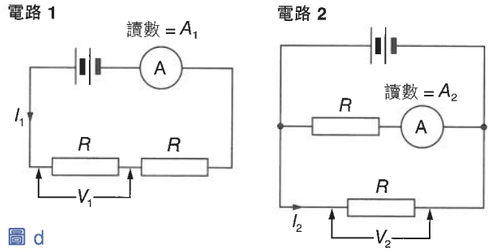


圖 d

取 R_{eq} 為電路中所有元件的等效電阻。下列哪一項敘述是正確的？

A　電路 1 的 R_{eq} > 電路 2 的 R_{eq} > R
B　$A_1 < A_2$
C　$V_1 > V_2$
D　$I_1 > I_2$

B

乙部

5 綜合題

某電路中，兩個電路元件 X 和 Y 與內電阻為 r 的 6 V 電池組串聯。從電池組輸出的電流是 0.27 A。

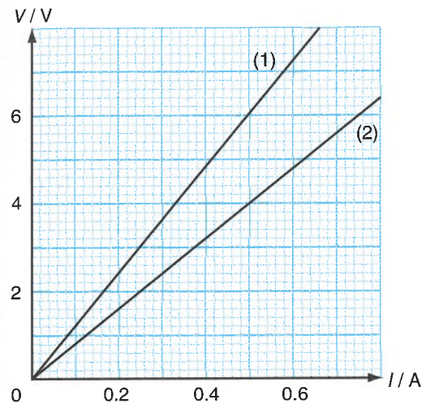


圖 e

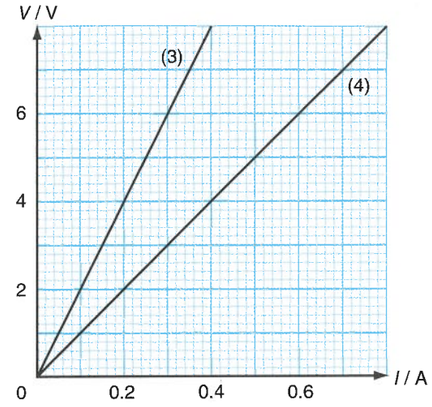


圖 f

(a) 圖 e 還是圖 f 才是 X 和 Y 的 V–I 線圖？試扼要解釋原因。　(3 分)

圖 e

(b) 假設 X 的電阻低於 Y，從 (a) 部的答案，找出橫跨 X 和 Y 的預期電勢差。　(2 分)

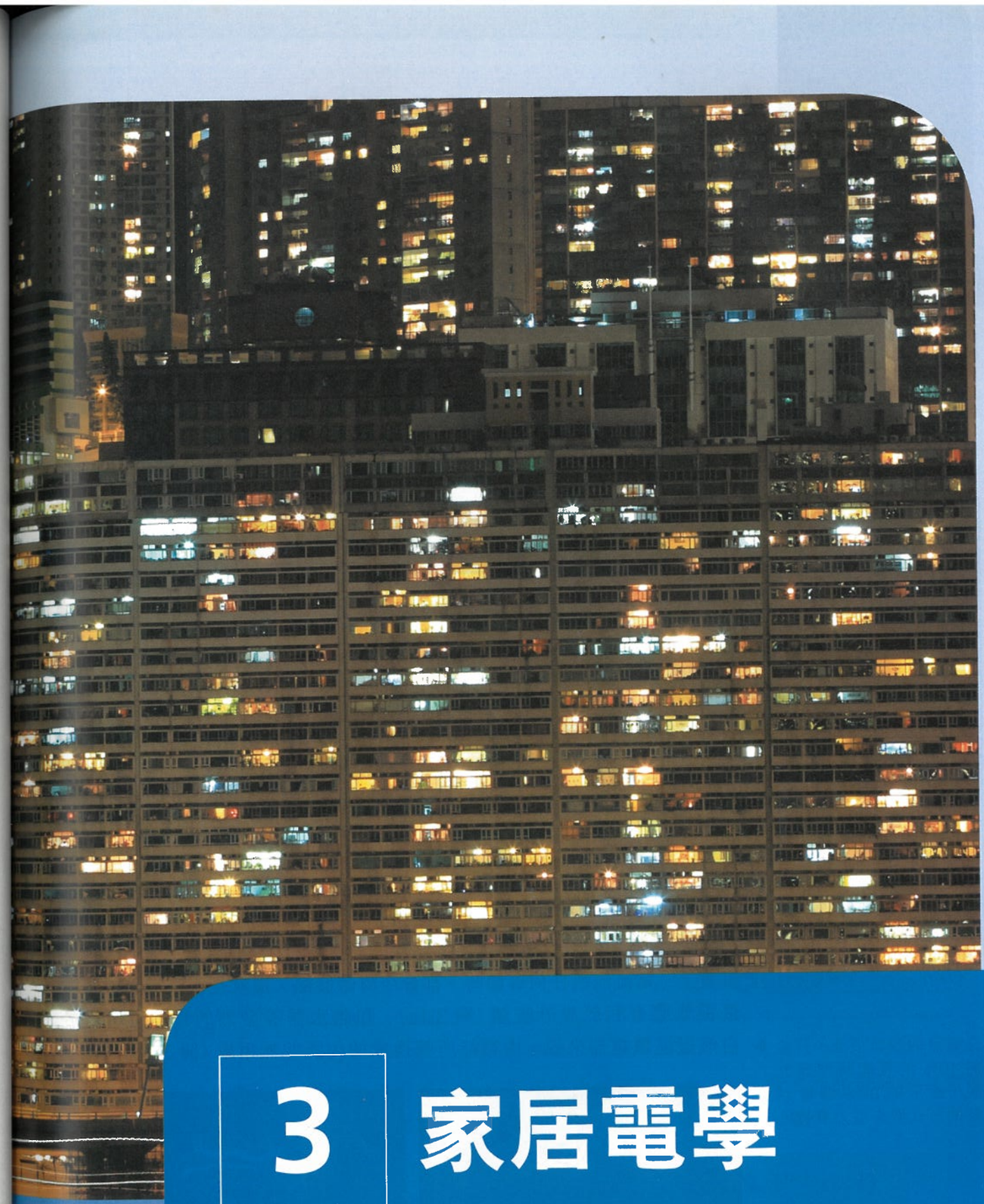
2.2 V；3.3 V

(c) 要量度通過 X 的電流，就要在電路中加入安培計連接 X。假如所用的並非理想安培計，安培計的讀數會怎樣受到影響？　(1 分)

變小

(d) 求 r。　(2 分)

1.85 Ω



3 家居電學

我們在這一課會學到

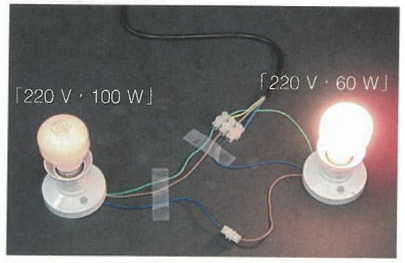
- 電功率與電能
- 量度和計算電能
- 市電
- 家居電線佈置及其安全設計

3.1 電功率與電能

✔ 本節重點
1 電流的熱效應
2 電功率
3 額定功率
4 電能

起 點　哪個較光亮？

仲平把兩個燈泡串聯連接到市電，兩者的額定值分別是「220 V，60 W」及「220 V，100 W」。



為甚麼額定功率較低的燈泡反而較光亮？ 參看第129頁。

在這單元，我們會集中討論電器的額定功率和額定電壓，這些概念有助我們了解家居電學。

1 電流的熱效應

電子經過燈泡時，電勢能會轉換為光能和燈泡的內能。

電器基本上是能量轉換器，可把**電能**轉換為其他形式的能量，例如動能和內能（熱）。實際上，過程中總有或多或少的電能轉換為內能。

事實上，電流流過任何導體時，都會令導體發熱，這就是電流的熱效應。這種效應有利於設計暖爐（圖 3.1a）、和熱水器等發熱的電器。但對於白熾燈這類電器來說，由電能所轉換成的內能並無用處（圖 3.1b）。

白熾燈的效能很低，只能將 10% 的電能轉換成光能，餘下的 90% 都會以熱的形式散失並浪費掉。

圖 3.1a 電暖爐應用電流的熱效應

圖 3.1b 有電流流過時，白熾燈內的鎢絲會變熱

電能 electrical energy

2 電功率

第 1 冊 第 2 課 和 第 2 冊 第 6 課已討論過功率。

我們知道**功率**是能量從一種形式轉換為另一種形式的快慢程度，這個量也可以用來量度電能轉換為其他形式能量的快慢程度。

$$\text{功率} = \frac{\text{能量}}{\text{時間}} \quad \left(P = \frac{E}{t}\right)$$

功率的單位是**瓦特**，簡寫為 **W**。如果功率為 1 W，即表示每秒轉換了 1 J 的能量。

$1\ \text{W} = 1\ \text{J s}^{-1}$

例 題 1　電池組的功率

一個電動勢為 3.6 V 的電池組（圖 a）持續輸出 2 A 的電流，求電池組的功率。

圖 a

題 解

∵ $I = 2$ A　每秒有 2 C 電荷通過電池組。

∵ $\varepsilon = 3.6$ V　此外，電池組給予所通過的每庫倫電荷 3.6 J 能量。

電池組的功率 = 電池組每秒給予電荷的能量 = $3.6 \times 2 = 7.2$ W

習題與思考 3.1 Q9 (p.134)

課文根據電動勢/電勢差和電流的定義來解釋電功率，下頁展示推導電功率方程的過程。

從例題 1 可見，電池組或其他電源的功率（其他形式的能量轉換為電能的快慢程度）與它的電動勢，以及流過它的電流有關。

電源的功率 = 電源的電動勢 × 電流　($P = \varepsilon \times I$)

可用數學的方法推導出這條關係式：

根據 $\varepsilon = \frac{E}{Q}$ 和 $I = \frac{Q}{t}$，

$\therefore P = \frac{E}{t} = \frac{E}{Q} \times \frac{Q}{t} = \varepsilon \times I$

可用數學的方法推導出這條關係式：

根據 $V = \frac{E}{Q}$ 和 $I = \frac{Q}{t}$，

$\therefore P = \frac{E}{t} = \frac{E}{Q} \times \frac{Q}{t} = V \times I$

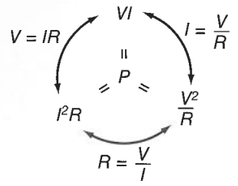
同一道理，負荷或電阻器的功率（即電能轉換為其他形式能量的快慢程度）是：

負荷的功率 = 負荷兩端的電勢差 × 電流　($P = VI$)

考慮電阻為 R 的負荷或電阻器：

$$P = VI = (IR) \times I = I^2R$$

或 $$P = VI = V \times \left(\frac{V}{R}\right) = \frac{V^2}{R}$$



▶ 因此，

$$\boldsymbol{P = \frac{E}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}}$$

有些學生會嘗試用方程 $P = \frac{V^2}{R}$ 來解答有關串聯電路的問題，因而誤以為電阻愈小，所消耗的功率便愈大。

例題 2 串聯電阻器

兩個電阻器串聯連接到電池組（圖 a）。

(a) 流過每個電阻器的電流是多少？

(b) 哪個電阻器的功率較大？

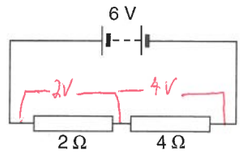


圖 a

題解

(a) $I = \frac{V}{R} = \frac{6}{2+4} = 1$ A

(b) 2 Ω 電阻器的功率 $= I^2R = 1^2 \times 2 = 2$ W

4 Ω 電阻器的功率 $= I^2R = 1^2 \times 4 = 4$ W

∴ 4 Ω 電阻器的功率較大。

習題與思考 3.1 Q2 (p.133)

在沒有能量損耗的情況下，兩個電阻器所消耗的總功率相等於電池組的功率（$P = \varepsilon I = 6$ W）。

例題 3 並聯電阻器

兩個電阻器並聯連接到電池組（圖 a）。

(a) 每個電阻器兩端的電壓是多少？

(b) 哪個電阻器的功率較大？

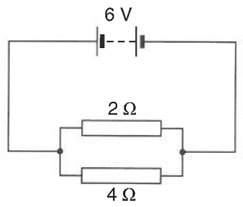


圖 a

同樣，有些學生會嘗試用方程 $P = I^2R$ 來解答有關並聯電路的問題，因而誤以為電阻愈大，所消耗的功率便愈大。

題解

(a) 每個電阻器兩端的電壓 = 電池組的電動勢 = 6 V

(b) 2 Ω 電阻器的功率 $= \frac{V^2}{R} = \frac{6^2}{2} = 18$ W

4 Ω 電阻器的功率 $= \frac{V^2}{R} = \frac{6^2}{4} = 9$ W

∴ 2 Ω 電阻器的功率較大。

習題與思考 3.1 Q3 (p.133)

試驗證兩個電阻器所消耗的總功率是否相等於電池組的功率。

表 3.1a 顯示在電阻器串聯和並聯的情況下，計算功率損耗的方法。

可依據電路圖接駁元件，以定性的方法比較串聯和並聯電路中各燈泡的亮度。

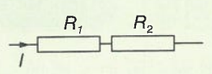
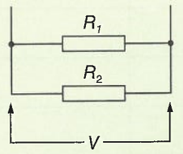
	R_1	R_2	整個電路
串聯 	$P_1 = I^2R_1$	$P_2 = I^2R_2$	$P_{total} = P_1 + P_2 = I^2R_1 + I^2R_2 = I^2(R_1 + R_2) = I^2R_{eq}$
	$P_1 : P_2 = R_1 : R_2$ 即電阻愈大，功率愈大		
並聯 	$P_1 = \frac{V^2}{R_1}$	$P_2 = \frac{V^2}{R_2}$	$P_{total} = P_1 + P_2 = \frac{V^2}{R_1} + \frac{V^2}{R_2} = V^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{V^2}{R_{eq}}$
	$P_1 : P_2 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} = R_2 : R_1$ 即電阻愈大，功率愈小		

表 3.1a 電阻器在串聯和並聯時所損耗的功率（R_{eq} 是電阻器的等效電阻）

3 額定功率

圖 3.1c 的微波爐上寫着兩個數值：「220 V，1100 W」，兩者稱為這個微波爐的**額定值**。第一個數值 (220 V) 是額定電壓，第二個數值 (1100 W) 是額定功率，它們表示微波爐以 220 V 操作時，每秒會把 1100 J 的電能轉換為其他形式的能量。

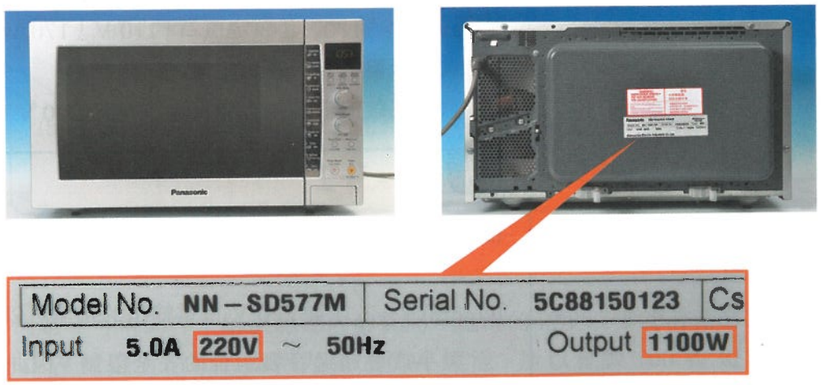


圖 3.1c 微波爐上顯示的額定值

額定值 rated value

可討論與電功率相關的量，例如音量（由揚聲器產生）、亮度（由燈泡產生）、冷熱程度（由電熱器產生）。

表 3.1b 列出了一般家用電器以 220 V 操作時的額定功率（220 V 為本港市電電壓）。這些額定值可用來比較不同電器在每單位時間內轉換能量的能力。

家用電器		一般的額定功率
電暖爐		2000 W
冷氣機		1500 W
吸塵機		1400 W
洗衣機		950 W（每個洗衣程序）
微波爐		800–1200 W
電視	32″ LCD	180 W
	32″ LED	70 W
雪櫃		50 W
緊湊型熒光燈「慳電膽」		11–22 W

表 3.1b 一般家用電器以 220 V 操作時的額定功率

還有許多電器以較低的電壓操作（圖 3.1d）。

藍牙耳機「3.7 V，10 mW」

LED 電筒「4.5 V，1.5 W」

電動鬚刨「12 V，4.5 W」

圖 3.1d 一些以較低電壓操作的電器

例題 4 以非額定電壓操作音響組合

志恆從日本購入一套額定值為「110 V，170 W」的音響組合。

(a) 求該音響組合的額定電流。

(b) 志恆應該把音響組合連接到本港的 220 V 市電嗎？

題解

(a) 額定電流 $= \frac{P}{V} = \frac{170}{110} = 1.55$ A

(c) 由於 $I = \frac{V}{R}$，從 220 V 市電輸出的電流可以是 110 V 市電的兩倍，大小或會超過音響組合的安全限制。因此，志恆不應把音響組合連接到本港的 220 V 市電。

進度評估 1 Q2 (p.130)

音響組合所消耗的功率同樣會是額定值的兩倍。

從例題 4 可見，如果不按額定電壓操作電器，電器的功率和電流就會與額定值不同。

例題 5 燈泡的亮度

如圖 a 所示，兩個燈泡 L_1 和 L_2 串聯，它們的額定值分別為「220 V，100 W」和「220 V，60 W」（圖 a）。

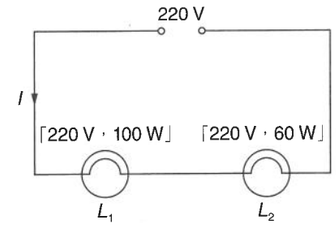


圖 a

(a) 估算 L_1 和 L_2 的功率。

(b) 哪個燈泡較光亮？

取兩個燈泡的電阻為大致不變。

題解

(a) 根據 $P = \frac{V^2}{R}$，

$$R_1 = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{100} = 484\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{60} = 807\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} = \frac{220}{484 + 807} = 0.1704\ \text{A}$$

可着學生留意：額定功率較大的燈泡，電阻較低。

L_1 的功率 $= I^2 R_1 = 0.1704^2 \times 484 = 14.1$ W

L_2 的功率 $= I^2 R_2 = 0.1704^2 \times 807 = 23.4$ W

(b) L_2 的功率較大，所以較為光亮。

進度評估 1 Q3 (p.130)

技巧分析

求燈泡在非額定電壓下操作的功率

例題 5 中，兩個燈泡串聯，兩者都以低於 220 V 的電壓操作，而功率都不是額定值，所以我們不能以兩者的額定值來計算流過的電流，但卻可以利用額定電壓和功率，先計算出燈泡的電阻，從而找出流過燈泡的電流。

「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

例題 5 可幫助仲平解決**起點**內的疑問。燈泡的亮度取決於消耗的**功率**，60 W 燈泡所消耗的功率大過 100 W 燈泡，所以會較 100 W 燈泡亮。我們必須注意，在這個例子中，兩個燈泡都不按額定值操作，因此額定功率較高的燈泡並不一定較光亮。

預試訓練 1 電路消耗的功率 ☆ 香港中學會考 2009 年卷二 Q41

三個相同的燈泡 X、Y 和 Z 與電源 S 連接（圖 a）時，電路消耗的總功率是 w。如果只有 X 與 S 連接（圖 b），電路消耗的總功率就變為 w'。下列哪一條關係式是正確的？

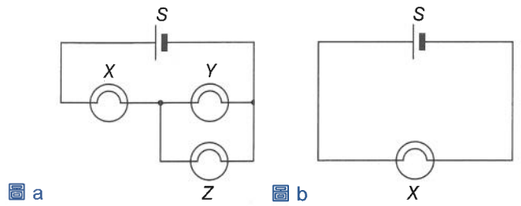


圖 a

圖 b

A $w' = \frac{w}{3}$　　B $w' = \frac{w}{2}$

C $w' = \frac{3w}{2}$　　D $w' = 2w$

題解

設每個燈泡的電阻為 r，S 的電壓為 V。

考慮圖 b。根據 $P = \frac{V^2}{R}$，$w' = \frac{V^2}{r}$ ..... (1)

考慮圖 a。

Y 和 Z 的等效電阻 $= \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)^{-1} = \frac{r}{2}$

電路的總電阻 $= r + \frac{r}{2} = \frac{3r}{2}$

此外，根據 $P = \frac{V^2}{R}$，$w = \frac{V^2}{\frac{3r}{2}}$

即 $\frac{V^2}{r} = \frac{3w}{2}$ ..... (2)

由 (1) 及 (2)，可得出 $w' = \frac{3w}{2}$。

∴ 答案是 C。

另外，亦可假設每個燈泡的電阻為 2 Ω，X 的電壓為 6 V，這樣便可以得出 w = 12 W 及 w' = 18 W，這表示 $w' = \frac{3w}{2}$。

事實上，可以先用排除法來剔除某些選項。圖 a 電路的總電阻較圖 b 電路高。根據 $P = \frac{V^2}{R}$，對於恆定的 V，P 隨着 R 減少而增加。因此，w' 必然比 w 大，選項 A 和 B 一定是錯的。

▶ 複習 Q13 (p.152)

進度評估 1

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.124）。

2 1 在圖 a 的電路中，燈泡和電阻器 X 串聯，燈泡兩端的電勢差是 50 V，流過燈泡的電流是 2 A。

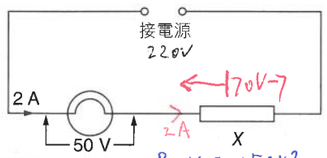


圖 a

(a) 燈泡的功率是多少？100 W

[提示：$P = VI$ = ?]

(b) 已知電源的電動勢是 220 V，求 X 的功率。340 W

3 2 某燈泡的額定值是「220 V，40 W」。

(a) 求燈泡的電阻。1210 Ω

[提示：根據 $P = \frac{V^2}{R}$，R = ?]

(b) 燈泡燈絲能承受的最大電流是 0.26 A。當燈泡兩端的電勢差是 330 V，燈絲會否燒斷？會

2 3 三個鎢絲燈泡 P、Q 和 R 的電阻分別是 1 Ω、3 Ω 和 5 Ω。它們並聯連接到電源時，亮度各有不同。它們當中哪個最亮？哪個最暗？P；R

4 電能

如果知道電器的額定功率，就可推算出這個電器在指定時間內所轉換的電能：

電能 = 功率 × 時間　($E = Pt$)

t 以秒為單位。

從計算功率的公式，可得出在時間 t 內，**供應**給電器或電器所**消耗**的電能 E：

$$E = Pt = VIt = I^2Rt = \frac{V^2t}{R}$$

a 量度電能

我們可以用**千瓦時計**去量度供應給電器的電能（圖 3.1e）。發電站提供的電力會先經過千瓦時計，然後再進入我們的住所（圖 3.1f）。

圖 3.1e 千瓦時計

圖 3.1f 安裝在舊式樓宇梯間的千瓦時計

千瓦時計以**千瓦小時**為單位量度能量的消耗量，該單位的簡寫是 **kW h**。

量度家居每月耗電量的話，「J」這個單位太小，用「kW h」比較適合，情形就像使用「mm」和「km」的分別一樣。

1 千瓦小時相等於功率為 1 千瓦的電器運作 1 小時所轉移的能量。

$$\begin{aligned} 1\text{ kW h} &= 1000 \times (60 \times 60) \\ &= 3.6 \times 10^6\text{ J} \\ &= 3.6\text{ MJ} \end{aligned}$$

1 千瓦小時等於 3.6 MJ 能量。

千瓦時計 kilowatt-hour meter　　千瓦小時（kW h） kilowatt-hour

錄像片段 3.1

→ 錄像片段3.1 示範實驗3a。

實驗 3a 用千瓦時計量度電能

1 把電水壺經千瓦時計連接市電插座（圖 a）。接通電源來燒水，量度燒水的時間，並記下千瓦時計圓盤轉動的圈數。

圖 a

2 查看千瓦時計上的換算說明，然後以焦耳為單位，計算供應給電水壺的能量。

3 計算電水壺的功率。

討論

實驗結果與水壺上標明的額定功率是否相近？ 相近（在實驗誤差範圍之內）

b 電費單

本港每度電的電費隨耗電量而增加，以鼓勵市民節約用電。

電力公司根據每個家庭的千瓦時計（俗稱電錶）讀數來計算電費。我們也可以根據電費單（圖 3.1g）上的資料，算一算應付多少電費。

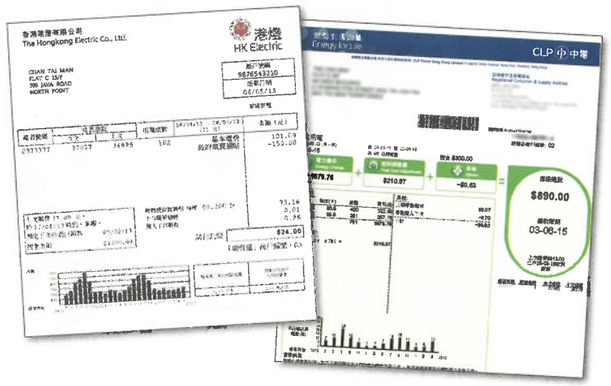


圖 3.1g 電費單

可經以下網址查閱住宅電費：

港燈

http://www.heh.com/hehWeb/DomesticServices/BillingPaymentAndElectricityTariff/TariffTable/Index_zh.htm

中電

https://www.clponline.com.hk/MyHome/CustomerService/TariffOverview/Domestic/Pages/Default.aspx

生活中的物理 LED 燈泡

LED 燈泡愈來愈普及，它相對於其他照明器具，壽命較長，效能亦較高。因此，即使 LED 燈泡的價格較高，但長遠而言，費用也較低。

實驗室 丁

計算電費 kWh

例題 6 亮起五個燈泡的電費

假設消耗每千瓦小時的電能須付電費 $1.1。若把以下燈泡並聯連接到 220 V 市電，讓它們亮着 8 小時，電費是多少？

(a) 5 個額定功率為 100 W 的鎢絲燈

(b) 5 個額定功率為 20 W 的緊湊型熒光燈

圖 a

20 W 緊湊型熒光燈的亮度與 100 W 鎢絲燈差不多。

題解

(a) 所消耗的電能 $= Pt = 5 \times \frac{100}{1000} \times 8 = 4$ kW h

∴ 總電費 $= 4 \times 1.1 = \$4.4$

使用緊湊型熒光燈比鎢絲燈的電費低，因此緊湊型熒光燈又稱為「慳電膽」。

(b) 所消耗的電能 $= Pt = 5 \times \frac{20}{1000} \times 8 = 0.8$ kW h

∴ 總電費 $= 0.8 \times 1.1 = \$0.88$

習題與思考3.1 Q13 (p.134)

進度評估 2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.124）。

41 電阻為 484 Ω 的燈泡接上 220 V 市電亮着 1 小時，所消耗的能量是多少？

[提示：$E = \frac{V^2 t}{R} = ?$]

$P = \frac{V^2}{R} = \frac{220^2}{484} = 100$W

$E = Pxt = 100 \times 1 \times 3600 = 360\,000$J

A 0.1 J

B 100 J

C 48.4 kJ

(D) 360 kJ

42 一個以 60 W 運作的燈泡亮着 2 小時所消耗的能量是多少？ $E = Pxt = 60 \times 2 \times 3600 = 432000$J

A 120 J

B 120 kW h

(C) 432 kJ

D 360 kJ

43 每千瓦小時的電費為 $1.1。一台 150 W 的電視機開着 2 小時，所需的電費是多少？ $0.33

$E = Pt = \frac{150}{1000} \times 2 = 0.3$kWh

Cost $= 0.3 \times \$1.1 = \$0.33$

習題與思考 3.1

41 下列哪一個單位與其他單位不同？ Pt

A J

B kW h

(C) W

D W s Pt

22 三個燈泡 X、Y 和 Z 的電阻分別是 1 Ω、2 Ω 和 3 Ω。當三者串聯，功率比是多少？ $P = I^2R$

(A) 1 : 2 : 3

B 1 : 4 : 9

C 3 : 2 : 1

D 9 : 4 : 1

23 三個燈泡 X、Y 和 Z 的電阻分別是 1 Ω、2 Ω 和 3 Ω。當三者並聯，它們的功率比是多少？ $P = \frac{V^2}{R}$

A 1 : 2 : 3

B 3 : 2 : 1

(C) 6 : 3 : 2

D 2 : 3 : 6

$P_X : P_Y : P_Z = \frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$

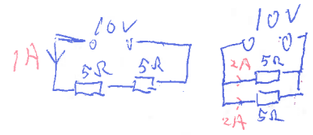
★ 42 兩個相同的燈泡與電池組連接。燈泡串聯時，消耗的總功率是 10 W。燈泡並聯時，總功率是多少？

A 20 W

(B) 40 W

C 60 W

D 80 W



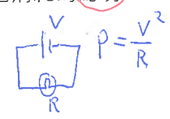
★ 52 一個燈泡與電池組連接時，消耗的功率是 P。如果它與另一個相同的燈泡串聯，兩個燈泡消耗的總功率是多少？

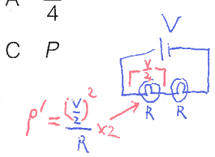
A $\frac{P}{4}$

(B) $\frac{P}{2}$

C P

D 2P





$P' = \frac{V^2}{2R} = \frac{V^2}{R} \times \frac{1}{2} = \frac{P}{2}$

★6
2

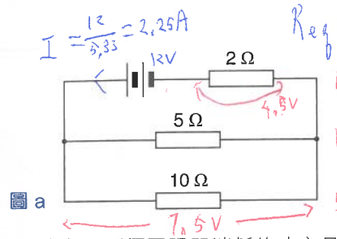


圖 a

在圖 a 的電路中，哪個電阻器消耗的功率最大？

A　2 Ω 電阻器　　(B) 5 Ω 電阻器

C　10 Ω 電阻器　　D　無法確定

2, 3 **7** 某電水煲的額定值是「220 V，2000 W」。

(a) 求電水煲發熱元件的電阻。24.2 Ω

(b) 假設施加的電壓是 200 V，求

(i) 電水煲的功率，1650 W

(ii) 流過電水煲的電流。8.26 A

(c) 試比較 (b)(ii) 部的答案與額定電流。

2 **8** 浸沒式電熱器接上 240 V 的電源後，每秒可把 500 J 的電能轉換為熱。

(a) 電熱器的功率是多少？500 W

(b) 流過電熱器的電流是多少？2.08 A

(c) 電熱器的電阻是多少？115 Ω

2 **9** 計算圖 b 中每個電阻器的功率。

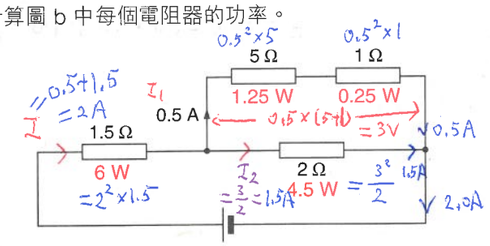


圖 b

4 **10** 思俊在表 a 列出由下午七時至八時，家中各電器的使用情況。

電 器	電功率 / kW	使用時間 / h	消耗能量 / kW h
冷氣機	1.5	1.0	1.5
電視機	0.1	1.0	0.1
電水煲	2.0	0.1	0.2
電熱水器	3.5	0.2	0.7
電燈	0.5	1.0	0.5

表 a

(a) 完成表 a。

(b) 在上述時段內，哪一部電器的電費最貴？冷氣機

(c) 如果千瓦時計在七時的讀數是 14 212 kW h，它在八時的讀數是多少？14 215 kW h

4 **11** 牆燈由兩個燈泡組成（圖 c），每個都以 100 W 運作。設每千瓦小時的電費為 $1.1。牆燈亮着 3.5 小時，電費多少？$0.77

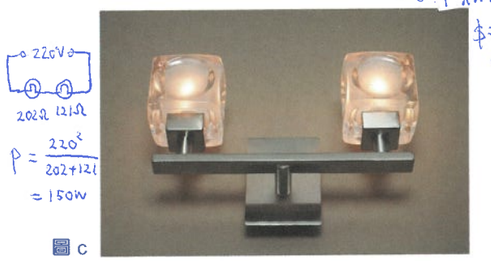


圖 c

★12
2, 3 燈泡 *X* 和 *Y* 的額定值分別是「110 V，60 W」和「110 V，100 W」，兩者串聯到 220 V 市電電源。

(a) 求燈泡消耗的總功率。150 W

(b) 比較燈泡在上述情況與各自以額定值運作時的亮度。

★13
4 表 b 列出三種燈泡的價格，它們的亮度都相同。

種 類	額定功率 / W	價 格
鎢絲燈泡	60 W	$13.5
緊湊型熒光燈	12 W	$49.5
LED 燈泡	8 W	$180

表 b

設每千瓦小時的電費為 $1.1。如果每天亮着燈泡 6 小時，與鎢絲燈泡相比，(a) 緊湊型熒光燈及 (b) LED 燈泡各需多少天才能抵銷價格的差額？

(a) 114 天 (b) 485 天

★14
2 在圖 d 中，電路 1、2 和 3 由一些相同的燈泡組成，所有電路都連接 6 V 電源。

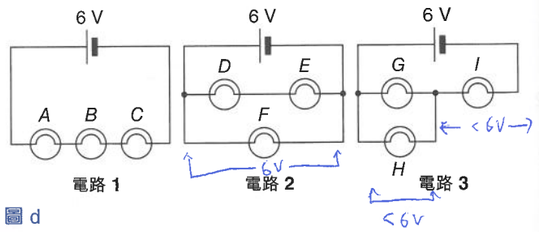


圖 d

(a) 哪個電路消耗的功率最小？電路 1

(b) 哪個/哪些燈泡最亮？*F*

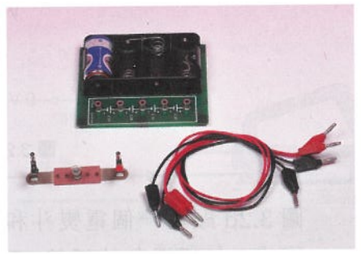
(c) 哪個/哪些燈泡最暗？*A*、*B*、*C*、*G*、*H*

簡單解釋你的答案。

3.2 市電和家居電線佈置

起 點　**齊做電氣技師！**

現有一個 1.5 V 電池組，一個「1.5 V，3 W」燈泡以及數條連接導線，假設每條導線可承受的最大電流是 1 A。



應怎樣接駁這些元件，燈泡才能以額定值運作？參看第 143 頁。

✔ 本節重點
1 交流電與市電電路
2 保險絲
3 地線與雙重絕緣
4 三腳插頭與插座
5 家居電線佈置
6 用電安全

1 交流電 AC (Alternating Current)

在單元 2.2 的呼拉圈類比中，我們可用兩種方法轉動呼拉圈（圖 3.2a）：(i) 連續向一個方向轉動；(ii) 不斷前後晃動。電源也可藉這兩種方法給電荷提供能量，於是電路中的電器也幾乎同時把電能轉換為其他形式的能量。

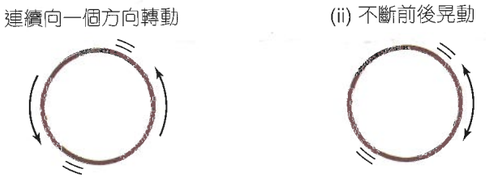


圖 3.2a 直流電和交流電的類比

來自電池組的電流只沿單一方向流動，稱為**直流電**（簡稱 d.c.）；來自市電插座的電流，流動方向卻會出現週期性的變化，這種電流稱為**交流電**（簡稱 a.c.）。香港的市電為 220 V 的交流電，頻率是 50 Hz。

圖 3.2b 展示直流電源和交流電源的電路符號。

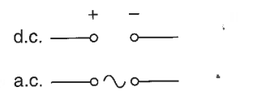


圖 3.2b 直流電源和交流電源的電路符號

✎ 在這部分簡單解釋交流電便已足夠。單元 6.1 會詳細討論交流電。

直流電 direct current (d.c.)　　交流電 alternating current (a.c.)

2 市電電路

圖 3.2c 中，兩條導線的電壓不同，其中一條設定為 0 V，另一條則設定為 V（假設 $V = 6$ V）。燈泡 L 在 A 點和 B 點跨接兩條導線，由於 A、B 兩點之間有電壓差，電流會從 A 點流向 B 點，燈泡於是亮着。如果將 V 設定為 –6 V，流過燈泡 L 的電流方向就會逆轉，L 也同樣會亮着。原來，**市電電路**也是用類似的方法輸出電流。

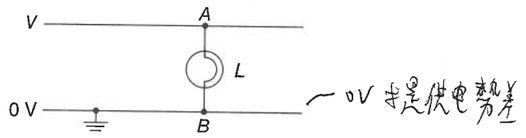


圖 3.2c 跨接兩條不同電壓導線的燈泡

圖 3.2d 顯示一個電熨斗和它的電線。電線由三條不同顏色的絕緣導線組成，包括褐色的**活線**（又稱**火線**）、藍色的**中線**、黃綠相間的**地線**（又稱**水線**）。圖 3.2e 顯示電熨斗經插座連接市電的線路。

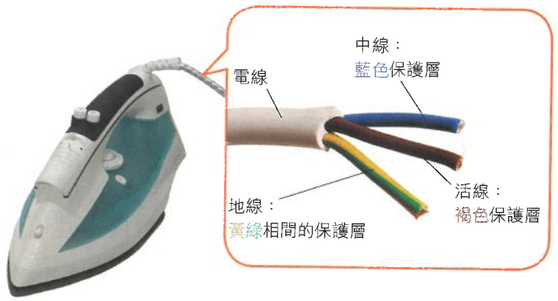


圖 3.2d 電熨斗及電線

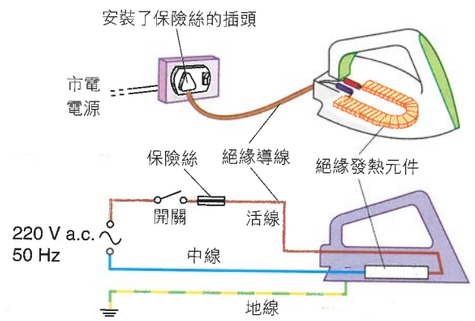


圖 3.2e 電熨斗連接到供應交流電的市電電路

V_p 的值會在單元 6.1 詳細討論。

當 220 V 交流電壓施加於電熨斗的活線和中線之間，活線的電壓會在正峯值 $+V_p$ 與負峯值 $-V_p$ 之間不斷地交替改變（圖 3.2f），而中線則在變電站接地，電壓會維持在 0 V（圖 3.2g）。

由於中線的電壓是 0 V，即使意外觸碰到中線，也不會觸電。

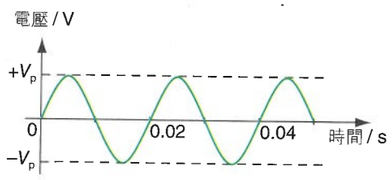


圖 3.2f 活線電壓的變化

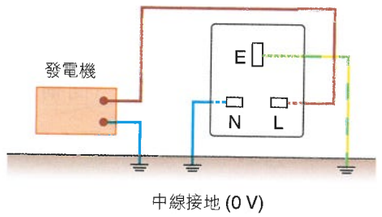


圖 3.2g 透過地球，電路得以閉合（E、N、L 分別接駁地線、中線、活線）

市電電路 mains circuit　活線 / 火線 live wire　中線 neutral wire　地線 / 水線 earth wire

活線的電壓為正時，電流由活線通過熨斗流向中線（圖 3.2h(i)）；活線的電壓為負時，電流會向相反方向流動（圖 3.2h(ii)）。

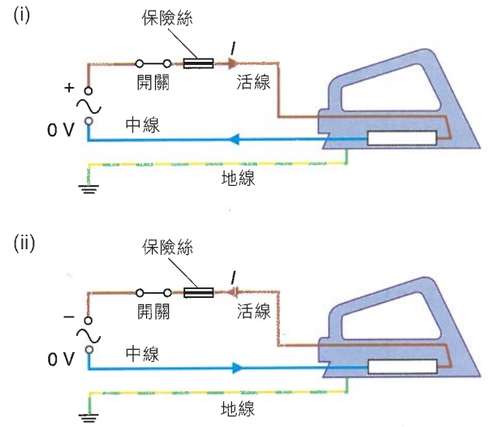


圖 3.2h 活線的電壓由正變負時，電流會向相反方向流動

3 家居電路的安全措施

錄像片段 3.2

→ **錄像片段 3.2** 展示巨大電流通過保險絲的情形。

a 保險絲

在圖 3.2i 中，每個小圓管內都有一段短而細的合金絲，稱為**保險絲**，會安裝在插頭或電器的活線上（圖 3.2j）。

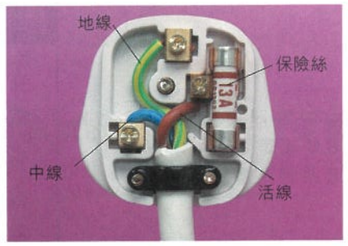


圖 3.2i 不同額定值的保險絲管，以及保險絲的電路符號

圖 3.2j 保險絲安裝在插頭的活線上

有些保險絲會註明只適用於交流電或直流電電路，它們的額定值只對應交流電或直流電。第 6 課會詳細討論這些額定值。

若電路**超負荷**，通過電路的電流會變得很大，保險絲會因過熱而熔斷，令電路斷開（造成斷路），以防止電線因過熱而起火。保險絲的額定值表示使它熔斷的最小電流值。

適當的保險絲額定值應略大於電器的操作電流。至於操作電流的大小，則可根據市電電壓及在電器上標明的額定功率求得。

保險絲 fuse　超負荷 overload

例題 7 最多可設置多少台微波爐？

某款微波爐的額定值是「220 V，800 W」。

(a) 該微波爐應配以額定值為 3 A、5 A 還是 15 A 的保險絲？

(b) 有些便利店會設置數台微波爐供顧客使用。如果各微波爐與 220 V 市電並聯，而整個電路受 13 A 的保險絲保護，則便利店最多可設置多少台微波爐？

題解

(a) 根據 $P = VI$，

$$\text{額定電流} = \frac{P}{V} = \frac{800}{220} = 3.64 \text{ A}$$

∴ 應配以額定值為 5 A 的保險絲。

若配以 15 A 保險絲，流過電路的電流可大大超過微波爐的操作電流。萬一電路出現問題，保險絲也不一定會熔斷，但電路卻可能過熱，甚至引起火警。

(b) $$\frac{13 \text{ A}}{3.64 \text{ A}} = 3.6$$

因此，最多可以設置 3 台微波爐。

進度評估3 Q3 (p.141)

例題 8 保險絲和開關的位置

保險絲和開關為甚麼要安裝在活線而非中線上？

題解

在圖 a，開關和保險絲都安裝在活線上。當開關斷開或保險絲熔斷，電器各部件都不會通電，這時觸碰電器的通電部分不會有危險。

在圖 b，開關和保險絲都安裝在中線上。即使開關斷開或保險絲熔斷，電器仍然帶電。由於電器與人體之間的電勢差不是零，如果不慎觸碰電器的通電部分，就會令人觸電，因此非常危險。

由於電器與地面之間的電勢差是零，所以沒有電流流經人體。

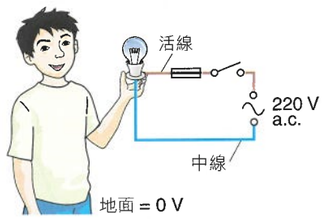


圖 a

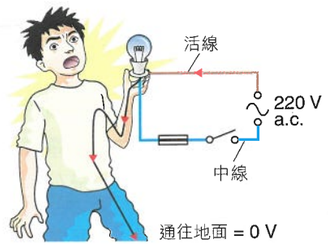


圖 b

複習 Q21 (p.154)

如果電器沒有安裝地線，萬一活線鬆脫，電器的金屬外殼就會通電。若這時接觸金屬外殼，電流就會經人體在電器與地面之間流動，人體便會觸電。

b 地線

地線把電器的金屬外殼接地。萬一活線鬆脫，觸及電器的金屬外殼，地線就會把因短路而產生的巨大電流引到地面，使連接活線的保險絲熔斷，從而切斷電源（圖 3.2k），避免電器的金屬外殼通電。

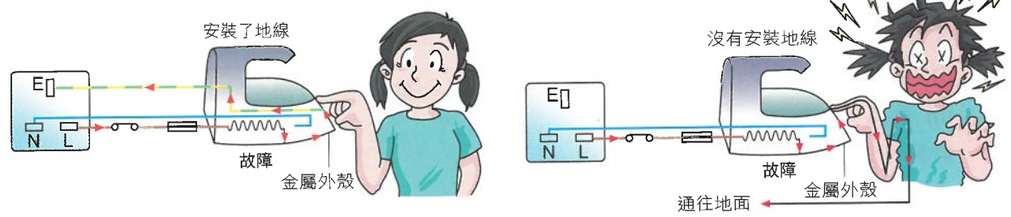


圖 3.2k 如果沒有安裝地線，觸碰故障的電器便可能觸電

c 雙重絕緣

裹以絕緣塑膠外殼的電器或插頭（圖 3.2l），不必安裝地線。這種做法稱為雙重絕緣（圖 3.2m），即通電部分由兩層絕緣物質所包裹，那兩層物質就是導線的外層和塑膠保護層。

圖 3.2l 雙重絕緣的電風筒

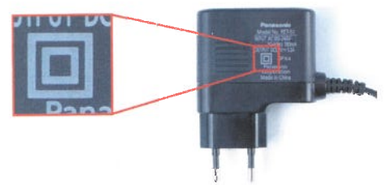


圖 3.2m 雙重絕緣的符號

模擬程式 3.1

→ **模擬程式 3.1** 展示插頭和插座的內部結構。

d 三腳插頭與插座

大多數電器都配有三腳插頭（圖 3.2n）。插頭的三隻插腳分別標有 L（活線）、N（中線）和 E（地線），連接相對應的導線，正好與插座上的三個插孔相配（圖 3.2o）。

地線的插腳較長，用來打開插座上活線和中線插孔的安全活門。安全活門遮檔插孔，以防止導電物體意外插入孔中。這個設計還可確保電器接地後才通電。

可指出插孔呈方形而非圓形，是為了防止小孩把手指放進插孔。

圖 3.2n 三腳插頭

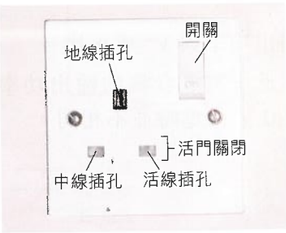


圖 3.2o 牆上的插座

預試訓練 2

☆ 香港中學會考2010年卷一Q9，香港中學文憑考試2014年卷一乙部Q8

不同輸出功率的電路設計

國輝設計了一個有不同輸出功率的電煮食鍋。內裏的發熱元件由 60 Ω 和 30 Ω 的電阻器組成（圖 a）。電煮食鍋連接到 220 V 市電。

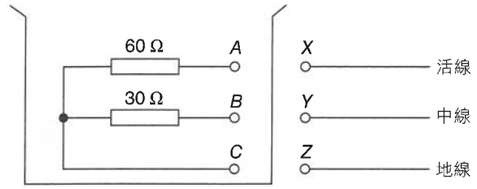


圖 a

(a) 繪畫電路圖，顯示應怎樣連接電路，輸出功率才會

(i) 最低；

(ii) 最高。

計算每個情況的輸出功率。 (5 分)

(b) 如果把電煮食鍋設定為最高輸出功率，並連接到 110 V 市電，它的效能跟連接到 220 V 市電時是否相同？試簡單解釋。 (2 分)

題解

(a) 根據 $P = \frac{V^2}{R}$，輸出功率 P 與等效電阻 R 成反比。

(i)

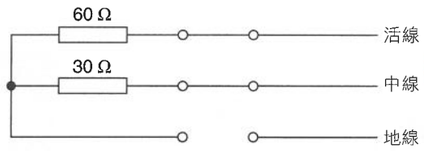


圖 b

電阻器不應與地線連接。

（電路連接正確） *1A*

輸出功率 $= \frac{V^2}{R} = \frac{220^2}{60 + 30} = 538$ W *1M + 1A*

(ii)

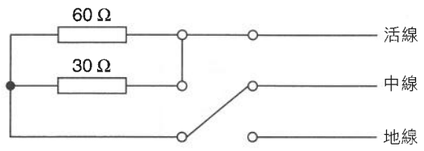


圖 c

（電路連接正確） *1A*

等效電阻 $= \left(\frac{1}{60} + \frac{1}{30}\right)^{-1} = 20\ \Omega$

輸出功率 $= \frac{V^2}{R} = \frac{220^2}{20} = 2420$ W *1A*

發熱元件可以用另外兩個方法連接：

(i) *A* 連接 *X*；*C* 連接 *Y*

功率 $= \frac{220^2}{60} = 807$ W

(ii) *B* 連接 *X*；*C* 連接 *Y*

功率 $= \frac{220^2}{30} = 1610$ W

(b) 輸出功率與 V^2 成正比。 *1A*

因此，電煮食鍋的輸出功率會變得較低，效應跟連接 220 V 市電時並不相同。 *1A*

常見錯誤

學生或錯誤以為電煮食鍋會超負荷，這表示他們仍未完全掌握額定功率的意思。

複習 Q28, 29 (p.155, 156)

進度評估 3

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.135）。

41 是非題：如果開關與中線連接，即使開關斷開，電器仍會繼續運作。（對／錯）

32 是非題：電器有塑膠外殼的話，就**無須**地線。（對／錯）

23 一盞電燈由三個並聯連接的燈泡組成，每個的額定值都是「220 V，100 W」。電燈的插頭應安裝 1 A、3 A、5 A，還是 10 A 的保險絲？ 3 A

44 把下列插腳、插孔和導線的顏色配對起來（圖 a）。

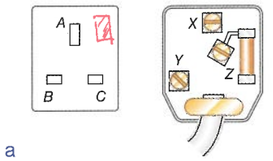


圖 a

	地線	活線	中線
插腳	X	Z	Y
插孔	A	C	B
顏色	黃綠相間	褐色	藍色

模擬程式 3.2

→ **模擬程式 3.2** 展示家居電線佈置的特點。

4 家居電線佈置

我們居所內的電路連接電燈、電熱水器、冷氣機及其他電器，圖 3.2p 是一般的家居電線佈置圖。每一條支路的電纜內都有地線，地線連接到埋在建築物地下的接地極。

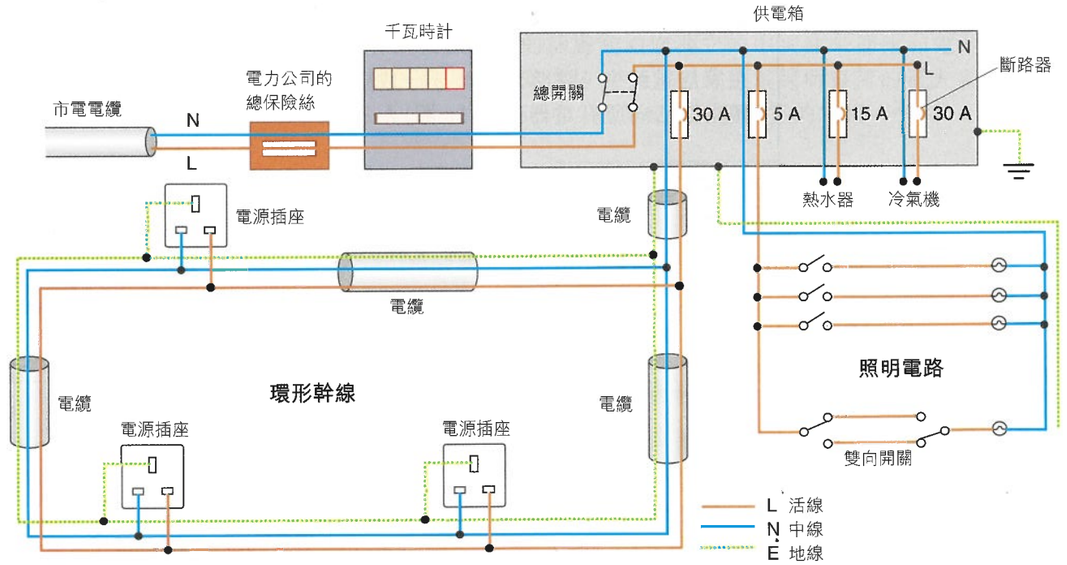


圖 3.2p 家居電線佈置

參看例題 9 來了解這種接駁方法的好處。▶

住宅內的市電電纜由活線和中線組成，這兩條導線經千瓦時計連接到供電箱（圖3.2q），分拆成若干條**並聯**的支路，連接電燈、熱水器、洗衣機、冷氣機等家用電器。

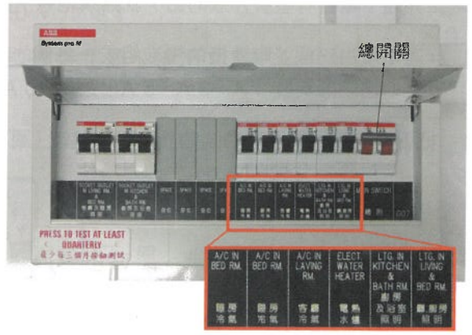


圖 3.2q 供電箱

圖 3.2r 斷路器

在供電箱裏，每條支路都安裝了**斷路器**（圖 3.2r）。斷路器實際上是一個自動開關，作用與保險絲相似，但用法較方便。它在電流超過設定值時會自動切斷電路（俗稱「跳掣」）。要恢復供電，無須更換斷路器，只要待出現故障的電器修理好後，重設斷路器便可。

供電箱內有一個總開關，在發生緊急意外或修理電路時，只要關掉總開關，就能切斷室內所有電源。

例題 9 並聯支路

在家居電路中，電路為甚麼要分成多個並聯支路，而不簡單地只用一個主電路向所有電器供電？

題解

利用多個並聯支路，有三個好處：

1 即使一個支路出現故障，也不會影響其他支路。

2 如果用一個電路接駁所有電器，便要用很粗的電線。這種可讓大電流通過的粗電線比普通電線昂貴得多。

3 如果只有一個主電路，便要安裝一個電流額定值較大（如 30 A）的斷路器。如果一部以較低電流操作的電器（例如以 0.5 A 操作的電燈）發生故障，斷路器或不能切斷電路。

▶ 複習 Q19 (p.153)

斷路器 circuit breaker

a 環形幹線

每個房間的牆上都裝有多個電源插座，以連接各個電器（圖 3.2s）。這些插座都與稱為**環形幹線**的電路相連接。

在環形幹線中，活線、中線和地線各分成兩條支路，繞房間連成一個環。環形幹線的好處將會在例題 10 中討論。

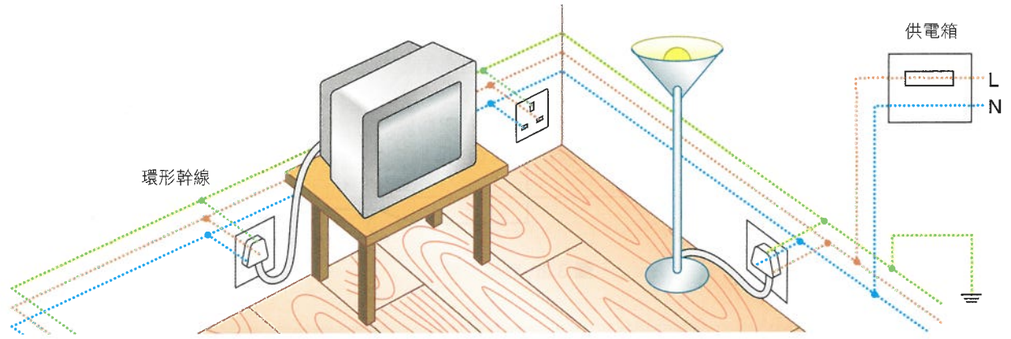


圖 3.2s 牆上的電源插座與環繞房間的環形幹線相連接

例題 10 環形幹線的好處

環形幹線有甚麼好處？

題解

環形幹線有兩個好處：

1 電流會沿兩條獨立的活線和兩條獨立的中線往來插座和電源。環形幹線的最大電流雖然是 30 A，但每條電線所負荷的最大電流僅為 15 A（圖 a），因此可以選用較細和較便宜的電線。

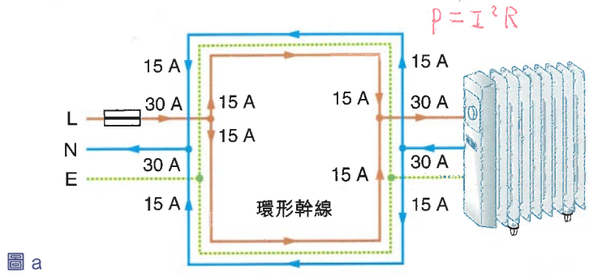
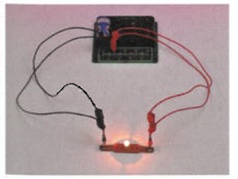


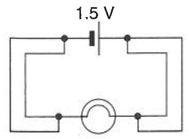
圖 a

2 所有電源插座都是並聯的，彼此獨立運作。即使一個插座出現故障，其他插座也不受影響。此外，連接每個插座的電器都能以額定值（例如是 220 V）操作。

▶ 習題與思考 3.2 Q8 (p.148)

起點中，燈泡的額定電流是 2 A，我們可以用兩條導線將燈泡的每一端連接到電池組。▶





這個電路有如環形幹線。流過每條導線的電流是 1 A，即是燈泡額定電流的一半。

b 照明電路

另一種分支電路是照明電路，用來把天花燈連接市電。每盞電燈都由牆上的開關控制，而且並聯連接。

舉例說，雙向開關可安裝在長走廊的兩端。

有時，電燈會由一對雙向開關控制。安裝了這種開關後，可以在兩個不同地方開關電燈；也可以在一個地方開燈，在另一地方關燈（圖 3.2t）。

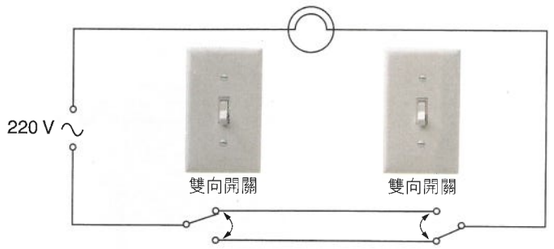


圖 3.2t 雙向開關

例題 11 選擇電線

圖 a 是一幅家居電線佈置電路圖。供電箱分出數條並聯支線，其中一條是照明電路。

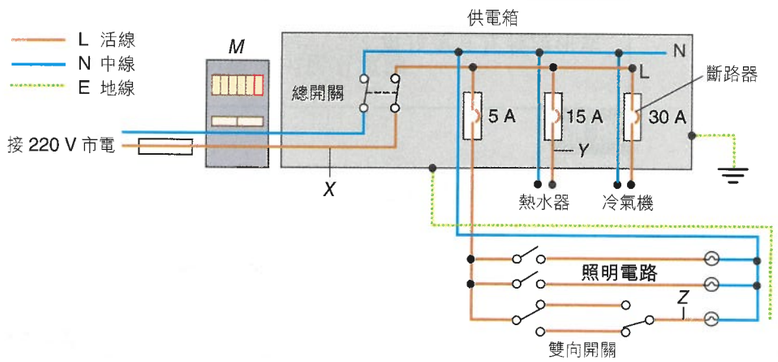


圖 a

(a) 寫出電錶 M 的名稱。

(b) 在 X、Y 和 Z 三處，應使用 2 A、6 A、17 A，還是 63 A 的電線？

題解

(a) 千瓦時計

(b) 因為支線的電流不可大於該支線上斷路器的額定值，所以在 X 應使用 63 A 的電線 $(5 + 15 + 30 = 50)$，在 Y 則應使用 17 A 的電線。因為通過每個並聯照明電路的電流是 $5 \div 3 = 1.67$ A，所以 2 A 的電線已足以應付 Z 的需要。

進度評估 4 Q3 (p.145)

進度評估 4

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.135）。

51 下列哪一項**不是**環形幹線的好處？

A 一部連接到電源插座的電器有故障時，其他插座不受影響。

B 連接到電源插座的所有電器都能夠以 220 V 的電壓操作。

C 可隨意增加插座的數量。

D 可用較細的電線。

52 連接到插座的電器是互相（串聯／並聯）的。

53 供電箱內，斷路器的額定值為 30 A。連接該斷路器的環形幹線應使用額定值為 10 A、15 A 還是 30 A 的電線？ 15 A 和 30 A 電線

生活中的物理 各地的插頭規格

現今，世界各地共有 14 種不同規格的插頭（圖 a 顯示了當中幾種）。到外地旅行時，可使用旅行萬能插蘇（圖 b），以配合各國的不同規格。

圖 a

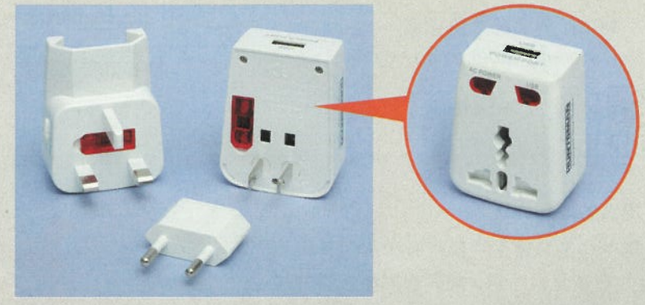


圖 b

到國際電工委員會的網站，了解各款插頭和插座，以及它們的適用地區：
http://www.iec.ch/worldplugs/

STSE 節約用電

我們可以用以下方法節約用電，以保護環境：

1 使用能源效益較高的照明器具

照明佔日常總用電量的比重很大，所以使用能源效益較高的照明器具，例如緊湊型熒光燈和 LED 燈泡，可大大減少用電。鎢絲燈泡的能源效益低，香港政府正提倡逐步把它淘汰，措施之一是推出約章計劃，以減少市場上鎢絲燈泡的供應。

關於約章計劃

- 參與計劃的供應商及零售商停止購入指定款式的鎢絲燈泡，並於 2013 年底停止售賣那些款式。
- 參與計劃的商會推廣更環保的照明技術，節省電力。
- 參與計劃的用家不再購買指定款式的鎢絲燈泡，以及採用能源效益較高的照明器具。

到以下網站了解約章計劃：

http://www.energyland.emsd.gov.hk/no-ilb/tc/charter/about_charter/index.html

圖 a

2 採用能源效益高的電器

機電工程署對各種電器發出能源效益標籤（圖 b），目的包括：

- 表明該產品已符合所訂立的最低能源效益要求；
- 把電器的能源效益分為第 1 級至第 5 級（第 1 級的能源效益最高）。

試檢查家中的電器，看看它們的能源效益標籤級別。

到以下網站了解能源效益標籤：

http://www.energylabel.emsd.gov.hk

(i)

(ii)

圖 b (i) 自願性和 (ii) 強制性計劃的能源效益標籤

3 使用電器的明智方法

以下是一些在日常生活額外減少用電量的小提示。

- 避免不必要的照明，離開房間時記得關燈。
- 電器不用時要關掉，而不是保持在備用狀態。
- 定期清潔電器，例如冷氣機隔塵網和雪櫃的冷凝管，能提高電器的效能。
- 使用冷氣機時要關上門窗，並避免溫度調得過低。
- 使用額定電壓符合本地市電的電器。世界各地採用的電壓規格並不相同（圖 c），如果電器不在額定電壓下運作，效率會降低，壽命也會縮短。

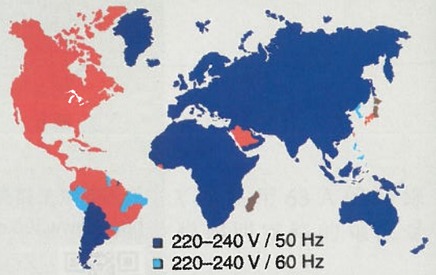


圖 c

STSE 用電安全

使用電力，生活變得很方便；但如果不正確使用電力，就會產生極大的危險。

火警

每年都有多宗火警因用電不當而造成，這些意外的成因可能是：

- 插座超負荷（圖 a）；
- 意外導致電器短路；
- 易燃物料靠近電器的發熱部件。

圖 a

觸電

觸電的意外通常在地盤等戶外地方發生，原因是那些地方沒有鋪設地板，而有些工人又沒有穿上安全鞋來增加電阻。

如果不小心碰到漏電電器的通電部件，就可能有強大電流通過身體，導致觸電，嚴重的話可以致命。

通過身體的電流大小視乎多個因素，包括人體所受的電壓、人體本身的電阻、鞋襪的電阻，以及地板覆蓋物的電阻（圖 b）。身體濕透時的電阻可以比乾燥時小幾千倍。

1 mA 的電流會使人體震顫和感到刺痛，較大的電流會造成電灼傷，而大於 25 mA 的電流則足以致命。

如果發現有人觸電，首先應把電源切斷，然後才替傷者急救。

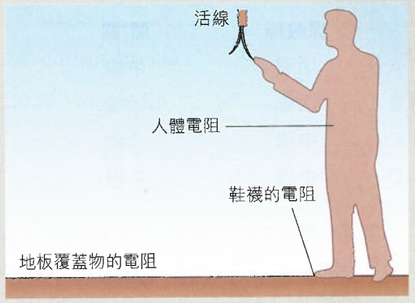


圖 b

法例

香港政府已通過法例來提高用電的安全標準。法例規定：

- 所有新生產的家庭電器都必須裝有三腳插頭；
- 只容許出售合乎法定安全標準的三腳萬能插蘇（圖 c）；
- 所有電業工程人員必須註冊，所有電力工程必須由註冊電業工程人員施行。

圖 c

安全守則

要避免觸電和用電所引起的火災，在使用接駁市電的電器時，應遵守下列安全守則。

電線應連接妥當並配有合適的保險絲。

定期檢查電線和插頭，更換已磨損和損壞的配件。

更換熔斷的保險絲前，要先查出故障原因，並把有問題的地方修理妥當。

手沾了水，千萬不要觸摸開關。

拔出插頭時，切勿拉扯電線。

電線應遠離水源和熱源。

插座不可超負荷。

易燃物料應遠離電燈和發熱器。

到以下網址，閱讀機電工程署家居電氣安全手冊，了解更多用電安全守則：
http://www.emsd.gov.hk/emsd/chi/pps/electricity_handbook01_content.shtml

習題與思考 3.2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.135）。

4 **1** 下列哪一項是地線、活線和中線的正確顏色組合？

	地線 Earth	活線 Live	中線 Neutral
A	黃綠相間	藍色	褐色
(B)	黃綠相間	褐色	藍色
C	褐色	黃綠相間	藍色
D	藍色	黃綠相間	褐色

2 **2** 保險絲和開關應安裝在電器的哪條導線上？

	保險絲	開關
A	活線	中線
(B)	活線	活線
C	中線	活線
D	中線	中線

2 **3** 如果電飯煲以220 V操作，且配備的10 A保險絲足以提供有效保護，則下列哪一項可能是電飯煲的功率？

A 4000 W　(B) 2000 W

C 1000 W　D 500 W

★ **4** 6 下列哪一項**不是**操作電器的安全守則？

(1) 以額定值較大的保險絲代替熔斷了的保險絲。

(2) 以三腳插頭代替兩腳插頭。

(3) 定期檢查已磨損或損壞的電線和插頭，確保它們仍能正常運作。

A 只有 (1)　B 只有 (2)

C 只有 (3)　(D) 只有 (1) 和 (3)

4 **5** 完成圖 a，以顯示插孔與導線的正確連接方法。

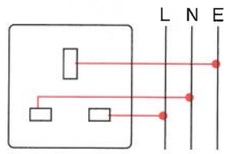


圖 a

6 2, 5 額定值為「220 V，1.2 kW」的電熨斗連接到屋內的環形幹線（圖 b）。

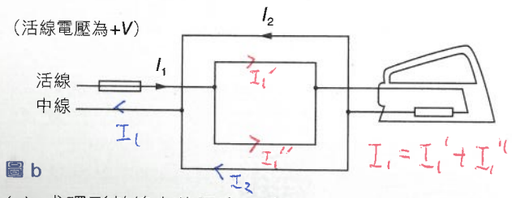


圖 b

(a) 求環形幹線中的電流 I_1 和 I_2。5.45 A；2.73 A

(b) 寫出圖 b 中保險絲的作用。

★ **7** 電飯煲的額定值為「220 V，500 W」。如果有1 A、3 A和5 A的保險絲可供選擇，哪一號最合適？為甚麼？3 A 保險絲

★ **8** 4, 5 (a) 完成圖 c，以顯示兩個插座怎樣經由環形幹線與供電箱連接。

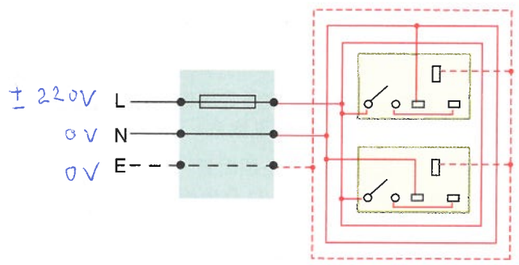


圖 c

(b) 指出一個使用環形幹線的好處。

★ **9** 3, 4 (a) 當電器出現故障，地線怎樣防止使用者觸電？

(b) 如圖 d 所示，某人把電器的地線與插頭鬆開。電器仍能正常運作嗎？試解釋答案。能

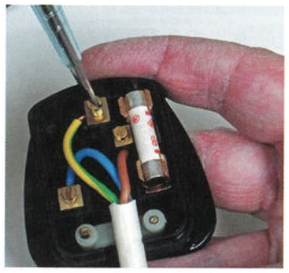


圖 d

★ **10** 3, 4 電風筒附塑膠外殼，插頭的電線由兩條導線組成。

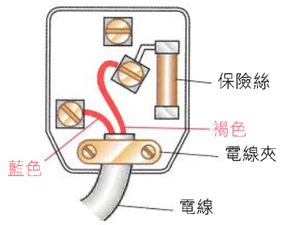


圖 e

(a) 在圖 e 繪畫這兩條導線與三腳插頭的連接方法，並標出導線絕緣外層的顏色。

(b) 這個電風筒是雙重絕緣的，電線內並不齊備三條導線，但即使電路出現故障，觸摸電風筒也不會有危險。試解釋原因。

總結 3

詞彙

1	電能 electrical energy	p.124	9	市電電路 mains circuit	p.136
2	功率 power	p.125	10	活線 / 火線 live wire	p.136
3	瓦特 watt (W)	p.125	11	中線 neutral wire	p.136
4	額定值 rated value	p.127	12	地線 / 水線 earth wire	p.136
5	千瓦時計 kilowatt-hour meter	p.131	13	保險絲 fuse	p.137
6	千瓦小時 kilowatt-hour (kW h)	p.131	14	斷路器 circuit breaker	p.142
7	直流電 direct current (d.c.)	p.135	15	環形幹線 ring main	p.143
8	交流電 alternating current (a.c.)	p.135			

課文摘要

3.1 電功率與電能

1 電功率 $P = \frac{E}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$

P 的單位是 W。

2 電器以額定電壓操作時，電能的消耗率相等於額定功率。

3 在時間 t 內，供應電器或電器所消耗的電能為

$$E = Pt = VIt = I^2Rt = \frac{V^2t}{R}$$

E 的單位是 J。

4 電力公司以千瓦小時 (kW h) 為單位，計算用戶所使用的電能。

5 1 千瓦小時相等於功率為 1 千瓦的電器運作 1 小時所轉移的能量。

$1 \text{ kW h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$

3.2 市電和家居電線佈置

6 交流電 (a.c.)：以某個頻率改變方向的電流。市電插座提供的電流就是交流電。

直流電 (d.c.)：電流不會改變方向，不過大小可隨時間而改變。電池組提供的電流就是直流電。

7 香港使用 220 V 的交流電，頻率為 50 Hz。額定值為 220 V 的電器如果接上 110 V 電源，便不能正常運作。由於 P 和 V^2 成正比，電器輸出的功率會遠小於額定值。

8 插頭（圖 a）和插座（圖 b）：

- 活線：電壓正負交替。
  中線：任何時候電壓都是零（接地）。
  地線：把電器的金屬外殼接地，萬一電路故障，地線可防止電器的金屬外殼通電。
- 保險絲：應安裝在活線上。如果電流超過保險絲的額定值，就會熔斷。
- 雙重絕緣：電器的所有通電部分都由絕緣的塑料保護層所包裹。
- 特長地線插腳：(i) 用來推開插座上活線和中線插孔的安全活門，以防止導電物體意外地插入孔中；(ii) 確保電器接地後才通電。

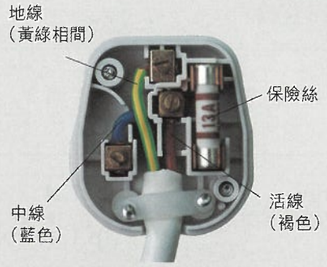


圖 a 三腳插頭和導線

圖 b 電源插座

9 住宅內的市電電纜由活線和中線組成，這兩條導線經千瓦時計連接到供電箱，再分拆成多條並聯的支路。

10 在供電箱內，每條支路都裝有一個斷路器，作用與保險絲相同。

11 電源插座與環繞房間的環形幹線連接。

概念圖

複習 3

Q1 開關安裝在中線，電器即使關掉也可通電；但若電路並不完整（例如電器的可通電部分並沒有與人體接觸），則不會有電流流過電器。

Q2 交流電會不斷改變流動方向；會從活線經電器流到中線，也會從中線經電器流到活線。

概念重溫

（第1至2題）判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港中學會考 2008 年卷一Q7(b)

3.2 **1** 如果開關安裝在中線而不在活線上，即使把電器關掉，仍會有電流流過電器。F

☆ 香港中學會考 2011 年卷二Q26 考試報告第 5 點

3.2 **2** 電流可以從中線經電器流到活線。T

多項選擇題

3.2 **3** 天花燈由三個並聯連接的 60 W 燈泡組成。如果天花燈以額定值操作 5 小時，電費是多少？假設每千瓦小時的電費為 $1.1。

A $0.33　(B) $0.99
C $3.3　D $9.9

★ 3.1 **4**

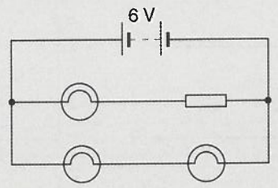


圖 a

三個額定電壓同為 6 V 的燈泡和一個電阻器連接在一起，電阻器和燈泡的電阻相同（圖 a）。如果每個燈泡的額定功率為 P，電路消耗的總功率是多少？

(A) P　B $2P$
C $3P$　D $4P$

★ 3.2 **5** 一個安全限制為 15 A 的插座與 220 V 的市電連接。插座接駁下列哪些電器時，電路會出現超負荷（電流大於安全限制的數值）？

(1) 額定值為「110 V，980 W」的微波爐
(2) 六個串聯連接、額定值為「220 V，60 W」的燈泡
(3) 四個並聯連接、額定值為「220 V，100 W」的燈泡

(A) 只有 (1)　B 只有 (3)
C 只有 (2) 和 (3)　D (1)、(2) 和 (3)

★ 3.2 **6** 下列哪一項敘述**不正確**？

(A) 電器的開關可安裝在中線或活線上。
B 即使沒有地線，電器仍然可以操作。
C 連接了地線的電器即使發生故障，外殼也不會通電。
D 有雙重絕緣的電器不需要地線。

★ 3.2 **7** 下列哪些有關主電路的敘述是正確的？

(1) 中線總是處於 0 V。
(2) 電流只流過活線。
(3) 出現故障時，電流總會流到地線。

(A) 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

★ 3.2 **8**

圖 b

圖 b 顯示的環形幹線與室內兩個牆身插座連接，每個插座最多可輸出 15 A 的電流。下列哪些是環形幹線的好處？

(1) 由於電流沿兩條獨立的活線和中線流入和流出每個插座，可用額定值少於 15 A 的電線製作環形幹線。
(2) 即使一個插座故障，另一個插座仍可運作。
(3) 由於環形幹線繞着房間鋪設，環形幹線上插座的數量可隨意增加。

(A) 只有 (2)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D (1)、(2) 和 (3)

★ 9 3.1

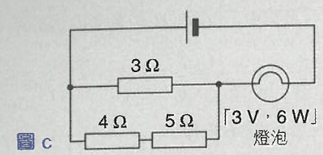
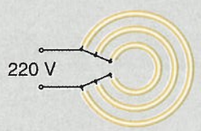


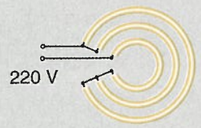
圖 c

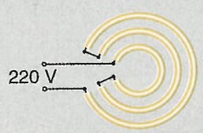
在圖 c 中，燈泡以額定值「3 V，6 W」運作。求電池組的電動勢。

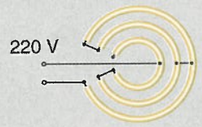
A 4.5 V　　B 6.375 V
C 7.5 V　　D 16.5 V

★★ 10 3.1 電子瓦鑊有三個發熱元件，每個發熱元件的電阻為 100 Ω。下列哪一種連接方式能夠最快把水煮沸？

A


B


C


D


參看 例題 2, 3 (p.126)

★★ 11 3.2 圖 d 中的電熱水器每次可加熱很大量的水。圖 e 顯示熱水器的主電路。

圖 d

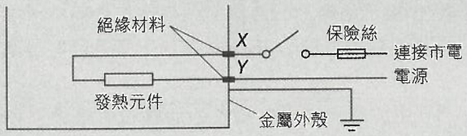


圖 e

在下列哪些情況中，保險絲會在開關閉合時熔斷？

(1) 於接觸點 X 的絕緣材料磨損，導致電線觸及金屬外殼。

(2) 於接觸點 Y 的絕緣材料磨損，導致電線觸及金屬外殼。

(3) 發熱元件斷開。

A 只有 (1)　　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (2) 和 (3)

參看 p.137–139

★★ 12 3.1

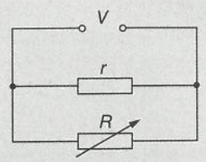


圖 f

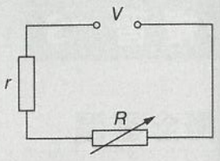
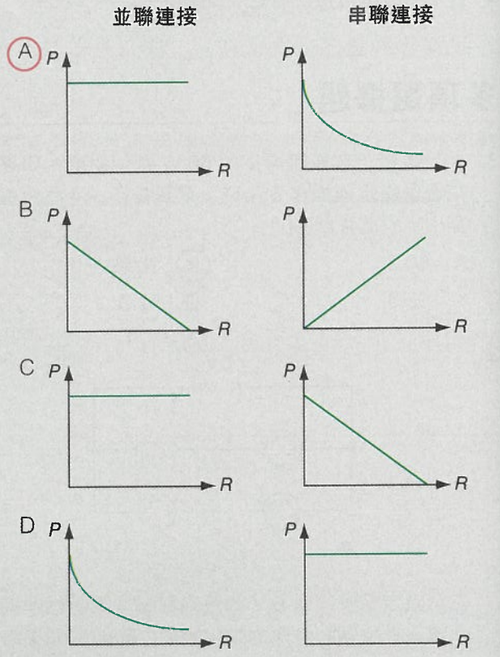


圖 g

電壓固定為 V 的電源先與定值電阻器 r 和變阻器 R 並聯連接（圖 f），然後再串聯連接（圖 g）。下列哪些線圖顯示在兩種連接方式中，r 所損耗的功率 P 怎樣隨 R 的電阻變化？



參看 例題 2, 3 (p.126)

13 香港中學會考 2009 年卷二 Q41 3.1

一個市電電熱器有兩個電阻均為 R 的相同發熱元件。

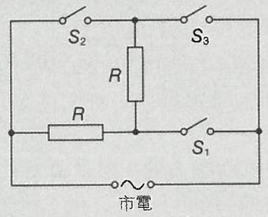


圖 h

當 S_1 和 S_2 閉合而 S_3 斷開，電熱器的功率為 P。當 S_1 和 S_2 斷開而 S_3 閉合，電熱器的功率是多少？

A 0.25P (31%)　　B 0.5P
C 2P　　D 4P

Q13考試報告：考生不擅於處理沒有提供實數的電路情景。

Q14考試報告：超過65%的考生忽略了兩個燈泡均須在其額定值內運作的條件。

3.1 14 香港中學會考 2009 年卷二 Q20

兩個燈泡的功率額定值和電阻分別為「24 W，6 Ω」和「9 W，4 Ω」。如將兩個燈泡與電源並聯連接，而兩者運作功率均在其額定值內，從電源輸出的最大電流是多少？

A 2.0 A　　B 2.5 A (16%)
C 3.5 A　　D 4.8 A

3.2 15 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q33

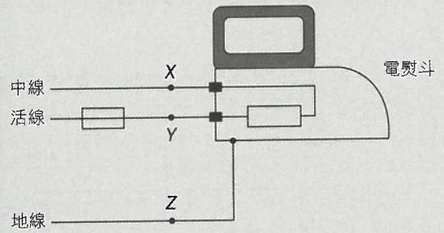


圖 i

圖示接駁電熨斗的簡單家用電路。將下列哪些點短路會使保險絲燒毀？

(1) X 和 Y

(2) Y 和 Z

(3) X 和 Z

A 只有 (1)　　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2) (40%)　　D 只有 (2) 和 (3)

16 香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q31 綜合題

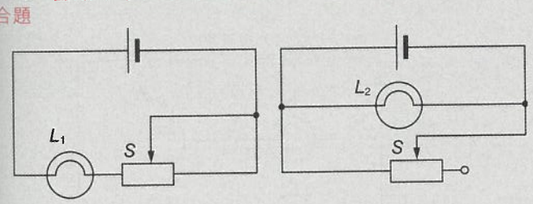


圖 j

在上面各電路中，電池的電動勢恆定而內阻可略。當每一可變電阻的滑動接觸 S 從中央位置向右邊移動時，每一燈泡的亮度會怎樣變化？

	燈泡 L_1	燈泡 L_2
A	變暗	不變 (43%)
B	變暗	變亮 (29%)
C	不變	變暗 (17%)
D	變亮	不變 (11%)

問答題

3.2 17 假設皮膚乾燥時，人體的平均電阻是 100 kΩ；皮膚濕時，平均電阻就只有 1 kΩ。

(a) 如果橫跨身體的電壓是 220 V，試估算在皮膚

(i) 乾燥時 0.0022 A

(ii) 濕透時 0.22 A

通過身體的電流。 （3 分）

(b) 據此，寫出一個用電時應注意的事項。 （1 分）

$R = \frac{240^2}{500} = 115.2\ \Omega$

18 綜合題 樓梯燈裝有一個額定值為「240 V，500 W」的燈泡，這盞燈可用樓梯上下兩端的開關來控制。 p. 144

(a) 試繪畫樓梯燈的電路圖，並加上標示。 （3 分）

(b) 燈泡以 220 V 運作時，功率是多少？ （3 分）

$P = 220^2 / 115.2 =$ 420 W

★ 19 3.2 在220 V 的電壓下，電源插座的電流上限為15 A。

(a) 假如電水煲 (2000 W)、電熨斗 (1000 W) 和電視機 (150 W) 連接這插座，並同時運作，電路是否安全？清楚展示你的運算過程。 （3 分） 安全

(b) 簡單解釋供電箱內斷路器的重要性。 （2 分）

(c) 斷路器應接駁到哪一條導線？試解釋原因。活線 （2 分）

★ 20 3.2 圖 k 顯示多士爐的三腳插頭。多士爐的外殼由金屬製成（圖 l）。

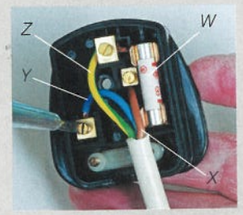


圖 k

圖 l

(a) 寫出導線 X 和 Y 的名稱。活線；中線 （1 分）

(b) 假設導線 Y 鬆脫，與多士爐的金屬外殼接觸。解釋使用多士爐時會出現甚麼情況。 （2 分）

(c) 假設這次是導線 X 與多士爐的金屬外殼接觸。解釋使用多士爐時會出現甚麼情況。 （3 分）

(d) 假如插頭內沒有安裝導線 Z，會有甚麼事情發生？試解釋原因。 （2 分）

★ 21 圖 m 顯示枱燈連接牆身插座的電路。
3.2

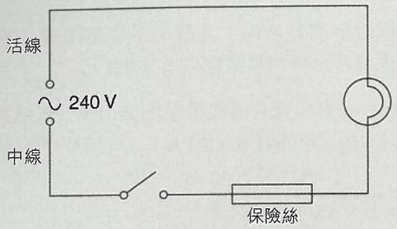


圖 m

(a) 以上電路接駁錯誤，試解釋原因。（3 分）

(b) 重新繪畫電路，以顯示正確的接駁方法。（1 分）

(c) 枱燈的額定值是「220 V，60 W」。這個電路應使用 0.2 A、0.5 A，還是 1 A 的保險絲？試解釋答案。0.5 A 保險絲（3 分）

(d) 假設上述枱燈與另一相同枱燈並聯。當兩者同時運作，(c) 部選用的保險絲會否熔斷？試簡單解釋。會（2 分）

★ 22 電磁爐內有一個由金屬線繞成的大線圈（圖 n）。
綜合題

圖 n

以下是電磁爐的規格說明（表 a）：

電壓	220 V
功率消耗	1800 W
電線：長度	2 m
直徑	4 mm

表 a

$R = \frac{220^2}{1800} = 26.9\ \Omega$

(a) 求整個線圈的電阻。26.9 Ω（2 分）

(b) 據此計算金屬線的電阻率。$1.69 \times 10^{-4}\ \Omega$ m（2 分）

(c) 哪個額定值的保險絲適合用於這個電磁爐？可供選擇的值有3 A、5 A 和10 A。試簡單解釋。
10 A 保險絲（3 分）

(b) $R = \frac{\rho l}{A}$，$26.9 = \frac{\rho \times 2}{\pi(\frac{0.004}{2})^2}$

$\rho = 1.69 \times 10^{-4}\ \Omega m$

(c) $I = \frac{1800}{220} = 8.18\ A$

★ 23 聖誕燈飾由一串燈泡串聯連接組成，當中一個燈泡壞了。
3.1

(a) 解釋為甚麼當一個燈泡壞了，其他燈泡都會熄滅。（1 分）

(b) 現以一個電阻非常低的新燈泡換掉壞燈泡。試比較其他燈泡這時的功率和本來應有的功率，並簡單解釋原因。（3 分）

★ 24 志明有三個相同的小燈泡 *W*、*X* 和 *Y*，以及一個電阻不同的燈泡 *Z*。他把這些燈泡連接，形成一串燈飾。
3.1

(a) 志明把這些燈泡以串聯方式連接到電源（圖 o）。

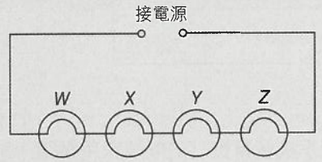


圖 o

(i) 如果 *Z* 較其他燈泡暗，由此可知 *Z* 的電阻怎樣？較低（1 分）

(ii) 假設各燈泡可承受的電壓相同。若志明把圖 o 中電源的輸出電壓慢慢提升，*Z* 會否燒毀？試解釋原因。不會（3 分）

(b) 志明現把所有燈泡如圖 p 所示重新連接。

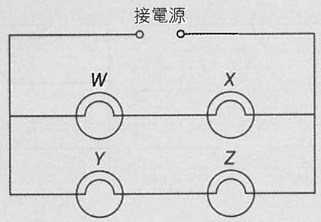


圖 p

(i) *Z* 較 *Y* 光亮還是暗？為甚麼？較暗（2 分）

(ii) 比較 *W*、*X* 和 *Y* 的亮度。（1 分）

(iii) 志明把 *Z* 從電路中移走，並保持電路完整。*W*、*X* 和 *Y* 的亮度會有甚麼變化？試簡單解釋。*W* 和 *X*：不變；*Y*：變亮（2 分）

★ 25 某款電風筒的額定值為「220 V，1000 W」。它配有金屬外殼和兩腳插頭，經三腳萬能插蘇連接到牆上的電源插座。
綜合題

(a) 為甚麼兩腳插頭不能直接插進三腳插座？（1 分）

(b) 從安全方面考慮，為甚麼三腳萬能插蘇上的地線插腳較其餘的插腳長？（1 分）

(c) 假設你是這款電風筒的設計師，建議兩種方法，令電風筒使用時更加安全。試簡單解釋原因。（4 分）

(d) 如果這個電風筒每天使用 15 分鐘，試計算 30 天所需的總電費。假設每千瓦小時的電費為 $1.1。$8.25（2 分）

★★ 26 一個旅行用電水煲的額定功率是 2000 W，連接到 220 V 市電時，可在 6 分鐘內把 2 kg 的水從 25 °C 加熱至沸騰。
綜合題

已知水的比熱容量是 4200 J kg^{-1} °C^{-1}。

(a) (i) 求水加熱至沸騰所吸收的能量。630 000 J（2 分）

(ii) 求電水煲供應的能量。720 000 J（2 分）

(b) 解釋 (a)(i) 部和 (ii) 部的答案為甚麼不同。（2 分）

(c) 這個電水煲可用 220 V 或 110 V 操作，而輸出功率同樣都是 2000 W。圖 q 顯示電水煲的電路。

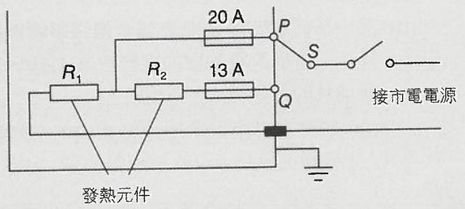


圖 q

(1) *P* (2) *Q*

(i) 電水煲連接到 (1) 110 V 及 (2) 220 V 市電時，*S* 應分別接駁到哪一點？（1 分）

(ii) 如果 *S* 接駁錯誤，會有甚麼後果？（2 分）

(iii) 求 R_1 和 R_2 的電阻。6.05 Ω；18.2 Ω（2 分）

參看 預試訓練 2 (p.140)

★★ 27 額定值為「220 V，2000 W」的浸沒式電熱器把 0.5 kg 的水從 20 °C 加熱至沸騰。
綜合題

(a) 電熱器以額定值運作，估算將水完全煮乾所需的時間。取水的比熱容量為 4200 J kg^{-1} °C^{-1}，水的汽化比潛熱為 2.26×10^6 J kg^{-1}。649 s（3 分）

(b) 實際加熱時間較 (a) 部所得的時間長。解釋兩者不同的原因。（2 分）

(c) 如果把電熱器與 110 V 市電連接，(a) 部的答案會有甚麼不同？試解釋原因。原來的 4 倍（2 分）

(d) 學生建議多用一個相同的電熱器與原有的電熱器串聯，以令水更快沸騰。試評論他的建議。不正確（3 分）

參看 預試訓練 2 (p.140)

28 **香港中學會考 2010 年卷一 Q9**
綜合題

一個膠外殼的風筒有三種輸出功率設定：高、中和低，該設定由一個開關裝置選擇。圖 r 以隨機次序顯示這三種設定的電路。發熱原件中所有電阻器的電阻值皆是 50 Ω。風筒連接到 220 V a.c. 的市電電源。

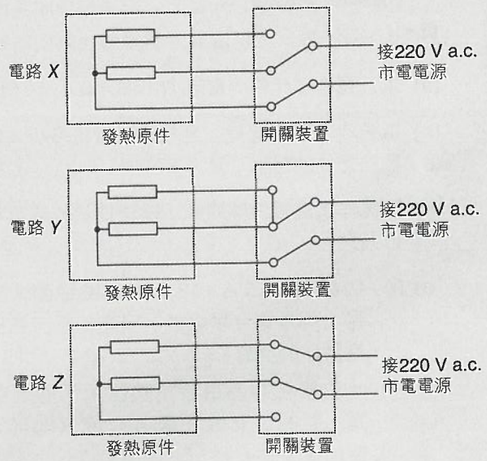


圖 r

(a) 求電路 *Y* 的輸出功率。（3 分）
1936 W（或 1940 W）

(b) 在表 b 適當的位置填上 *X*、*Y* 和 *Z*。 （1 分）

輸出功率設定	電路
低	*Z*
中	*X*
高	*Y*

表 b

(c) 試解釋這風筒為何不需要地線。 （1 分）

❑ 考試報告見第 157 頁。

29 綜合題 **香港中學文憑考試 2014 年卷一乙部 Q8**

在圖 s 示意圖中的電熱器內有四個相同的發熱元件，每個的額定值為「500 W 220 V」。使用者可透過轉動式開關來選擇三個操作模式 *X*、*Y*、*Z* 其中之一。從電熱器出來的導線 *A*、*B*、*C* 通過三腳插頭連接至 220 V 交流市電。

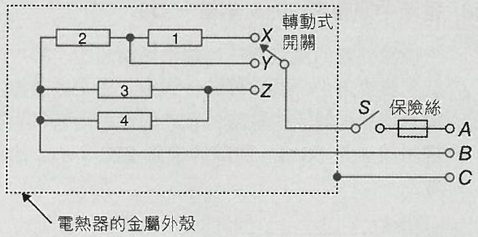


圖 s

(a) 求一個發熱元件的電阻 *R*。 96.8 Ω （1 分）

(b) 當選取了模式 *X* 時，總功率耗散是多少？假設發熱元件的電阻不變。 250 W （2 分）

(c) 不需作出計算，解釋哪一操作模式的總功率耗散最大。 *Z* （2 分）

(d) (i) 倘有 3 A、5 A、13 A 的保險絲，試決定哪一個最適合用以限制過量的電流通過。寫出你的步驟。 5 A （3 分）

(ii) 一位學生認為由於電熱器所用的是交流電，開關 *S* 安裝在線 *A* 或線 *B* 均可。試評論這說法。 （2 分）

(iii) 倘出現故障並導致活線接觸到電熱器的金屬外殼，哪一條線，*A*、*B* 還是 *C* 能防止接觸到電熱器外殼的人受到電震？試解釋。 *C*（2 分）

❑ 考試報告見第 157 頁。

☆ Physics A Unit G482，略去 (d) 部。

30 3.1 **OCR GCE Jun 2011 Q2**

這條題目是有關一個構思中的發熱電路，用來除去汽車後面車窗玻璃上的霧水。電熱器由 8 條可導電的幼金屬條組成，裝置在玻璃表面。如圖 t 所示，8 條金屬條並聯連接到汽車電池組。汽車電池組的電動勢是 *E*，內電阻是 *r*。

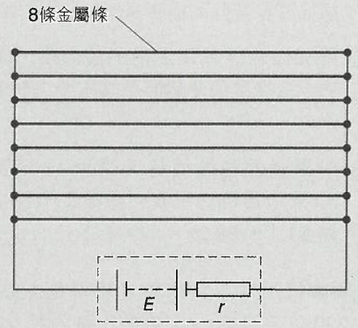


圖 t

(a) 流過每條金屬條的電流為 2.0 A 時，橫跨每條金屬條的電勢差是 12 V。

(i) 計算每條金屬條的電阻 r_p。 6 Ω （1 分）

(ii) 計算電熱器的總電阻 R_p。 0.75 Ω （3 分）

(iii) 證明電熱器消耗的功率 *P* 約為 200 W。 （2 分）

(b) 每條金屬條長 0.90 m，厚 2.4×10^{-4} m，闊 2.0×10^{-3} m。計算金屬的電阻率 ρ（答案須連單位）。 3.2×10^{-6} Ω m （4 分）

(c) 另一種接駁方法是把 8 條金屬條串聯連接。連接後，當橫跨電熱器的電勢差為 12 V，電熱器所消耗的功率與 (a) 部相同。

(i) 解釋為甚麼以串聯連接組成的電熱器的總電阻必須與 (a)(ii) 部所得的 R_p 相等。 （1 分）

(ii) 以串聯連接組成的電熱器中，每條金屬條的電阻 r_s 是多少？ 0.0938 Ω （1 分）

(iii) 你會以串聯還是並聯的方式連接金屬條，以組成除霧電熱器的電路？寫出一個原因。 （1 分）

物理文章分析

★ **31** 綜合題 閱讀以下有關音響組合電線的文章，並回答以下問題。

音響組合的電線

「Hi-fi」即「高保真度」，指播放出來的聲音十分貼近原來的聲音；立體音響組合 (hi-fi system) 就是本着高保真度的要求來設計，務求儘量減少雜音，避免失真。

音響愛好者仔細挑選的不只是音響系統和揚聲器，還有連接兩者的電線（圖 u）。揚聲器的設計影響音品，而輸入功率則影響樂音的響度。如果連接揚聲器和音響系統的電線電阻很高，電線兩端的電壓便會很大，揚聲器播出的聲音因而變弱。

圖 u 音響組合電線

因此，為了提高播放質素，連接線愈短愈好，它內裏的導線則愈粗愈好，以減低電阻。把多個揚聲器並聯連接的設計，效果並不理想。因為如此一來，橫跨揚聲器兩端的總電壓就會減少，電線消耗的功率佔總功率的百分比則會增加。

(a) 電線的截面積和長度怎樣影響揚聲器的輸出功率？ （3 分）

(b) 表 c 顯示不同物料的電阻值，以長度 1 m，截面積 1 mm² 未計算。試舉出音響組合中使用銅線的兩個原因。 （2 分）

材料	電阻 (Ω)
銀	0.016
銅	0.017
金	0.024

表 c

(c) 為甚麼並聯連接揚聲器會減少橫跨揚聲器兩端的總電壓？ （2 分）

❑ Q29 考試報告：(a) 部答得不錯。在 (b) 部，能力較弱的考生未能分辨模式 *X* 包含的電阻網路。在 (c) 部，很多考生能提到並聯連接會有較小的整體電阻值，但沒有指出在相同電壓下功率耗散與電阻值成反比。在 (d)(i) 部，很多考生未能辨別哪個模式對應最大的運作電流。在 (d)(ii) 部，考生多明瞭開關 *S* 應安裝在活線上，但未能指出不這樣做的危險。考生在 (d)(iii) 部的表現理想。

❑ Q30 考試報告：

(a) 大部分考生懂得計算每條金屬條的電阻，而在這部分失分的考生，在題目的餘下部分一般都表現差勁，這證明本部分能有效把取得滿分的考生區分出來。

(b) 大部分考生能寫出正確的公式。最常見的兩個錯處為代入並聯金屬條的電阻（而非單一金屬條的電阻），以及計算面積時加入 π。

(c) 表現較好的考生以 $P = \frac{V^2}{R}$ 清楚解釋電阻相等的原因。大部分考生把結果除以 8 來找出串聯金屬條的電阻，也知道並聯電路在個別元件出現故障的情況下仍能運作。

自我評核 3

時間：10 分鐘　　總分：7 分

答題須知

1 全部題目均須作答。
2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
3 答案須寫在預留的空位內。
4 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲 部

3.1 **1** 額定值為「3 V，3 W」的燈泡以圖 a 所示的兩種方法連接。如果施加的電壓大於額定值，燈絲就會斷開。下列哪些敘述是正確的？

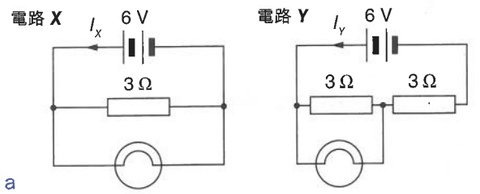


圖 a

(1) 電路 X 的燈泡較光亮。
(2) 電路 Y 的燈泡以額定值操作。
(3) $I_X > I_Y$

A 只有 (1)　　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (2) 和 (3)　　B

3.2 **2** 圖 b 顯示一款焗爐的簡化電路。電路中，兩個相同的發熱元件連接額定值為 5 A 的保險絲。焗爐的額定電流是 4.5 A。焗爐啟動後，下列哪些情況會令焗爐停止運作？

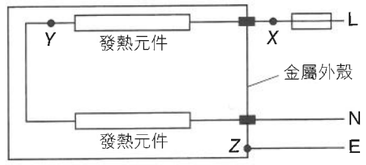


圖 b

(1) X 點和 Y 點之間出現短路。
(2) Z 點的接觸斷開。
(3) X 點接觸焗爐的外殼。

A 只有 (1)　　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (3)　　D 只有 (2) 和 (3)　　C

乙 部

綜合題 **3** 根據生產商提供的資料，電熱水壺（圖 c）能在 35 s 內把 200 g 的水從 25 °C 煮沸。取水的比熱容量 = 4200 J kg^{-1} $°C^{-1}$。

圖 c

(a) 圖 d 顯示一幅錯誤的電熱水壺電路圖。試舉出錯處。（1 分）

_____

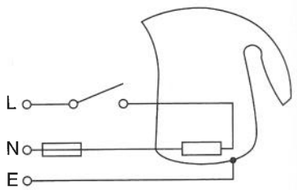


圖 d

(b) 估算電熱水壺的功率。（2 分）

1800 W

(c) 電熱水壺的額定電壓是 220 V。如果有 8 A、11 A 和 13 A 的保險絲可供挑選，應安裝哪一號在電熱水壺內？試解釋原因。（2 分）

11 A 保險絲

4 電磁學

我們在這一課會學到

- 磁鐵產生的磁場和力
- 電流通過不同形狀的導體所產生的磁場
- 磁場內作用在載電流導體上的力
- 電動機的運作原理
- 作用在移動電荷上的磁力和電力

4.1 磁力與磁場

✔ 本節重點
1 磁鐵
2 磁場與磁場圖形
3 地球的磁場

起 點 硬幣層層疊

我們不需一雙巧手，也能輕易地將多枚硬幣如圖所示般疊高。這是怎樣做到的？ 參看第 161 頁。

1 磁 鐵

磁石是一種天然礦石，能吸引鐵製的物體；懸起時，會指向南北方向。許多世紀以來，磁石一直用來製造磁鐵（圖 4.1a）和指南針（圖 4.1b）。

圖 4.1a 磁鐵吸引鐵製的物體，例如萬字夾

圖 4.1b 指南針的指針其實是一塊小磁鐵

磁棒的**磁力**在兩端最強（圖 4.1a），這兩端稱為磁鐵的**極**。平板形磁鐵和環形磁鐵的兩極在底面兩側（圖 4.1c）。

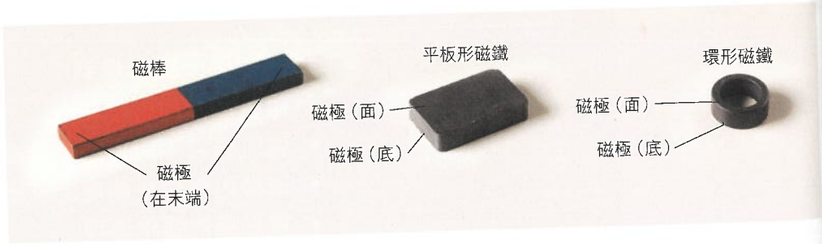


圖 4.1c 磁鐵的兩極

磁石 lodestone　磁力 magnetic force　極 pole　釹 neodymium

生活中的物理

釹磁鐵

常用作手袋磁扣的銀色磁鐵叫做釹磁鐵，含有一種稱為**釹**的稀土金屬。釹磁鐵的磁力非常強，因此提款卡、電子器材等物品應與它儘量隔離。

釹：音女

在以下簡單模型中，磁性物料看成是由許多無秩序的細小磁鐵所組成。

物料磁化時，細小磁鐵會排列整齊，整體合起來就如一塊大磁鐵。

如果用幼線把磁鐵懸起，磁鐵停下的時候會指住南北方向（圖 4.1d）。因為磁鐵具有這個特性，所以它指向北方的極稱為**北極**，指向南方的極稱為**南極**。這現象顯示地球其實也是一個很大的磁鐵。

如果把兩支磁棒放在一起，極與極之間就會有磁力作用（圖 4.1e）：北極排斥北極，吸引南極；南極則排斥南極，吸引北極。

磁極同極相斥，異極相吸。

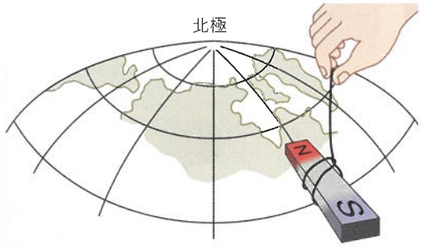


圖 4.1d 懸在半空的磁棒總是指向南北方

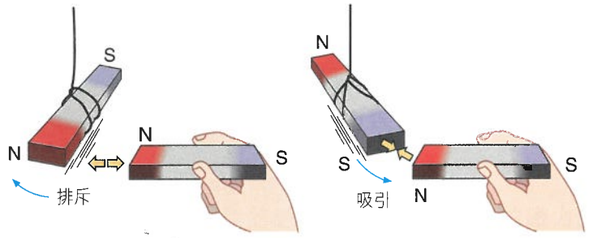
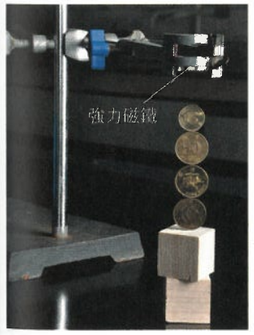


圖 4.1e 磁極同極相斥，異極相吸

鋼是結合了鐵和其他元素（例如碳）的合金。

要像在**起點**一樣把硬幣疊高，秘訣是應用強力磁鐵。一毫和五毫硬幣含大量鐵和鈷，只有這兩種硬幣才適用於這個小把戲。



可向學生指出受磁力所作用的空間稱為磁場，磁場這觀念是科學家為解釋磁效應而創造出來的。

▶ 鐵、鋼、鎳、鈷等物料會受磁鐵吸引，這些物料稱為磁性物料，塑膠、木、銅等其他不受磁鐵影響的物料則稱為非磁性物料。

可強調並非所有金屬都會被磁鐵吸引。

補充資料 磁單極

一塊磁鐵中間斷開，會變成兩塊較細小的磁鐵，每塊依然有兩個磁極。磁極似乎總是成對的，我們無法找到一個磁單極。世紀以來，科學家一直在找磁單極，可惜始終徒勞無功。

2 磁 場

磁力與電力相似，都是非接觸力，即使磁鐵和磁性物體沒有互相觸碰，磁鐵仍能向磁性物體施力。在磁鐵或磁性物體周圍會有磁力作用，這個空間叫做**磁場**。磁場是一個矢量場。

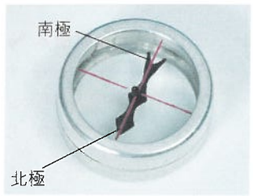
我們會在實驗 4a 中觀察一些磁場圖形。

北極 north pole / N-pole　南極 south pole / S-pole　磁場 magnetic field（簡稱 B-field）

錄像片段 4.1

→ **錄像片段 4.1** 示範實驗 4a。

繪圖指南針是一種簡單的指南針，底面都是透明的。



實驗 4a 磁場圖形

1 把一支磁棒固定在有機玻璃板下面，然後在有機玻璃板上撒些鐵屑，並用鉛筆輕敲有機玻璃板（圖 a），觀察鐵屑所呈現的圖形。在磁鐵附近放置繪圖指南針，觀察磁針的變化。

2 改用兩支磁棒，讓它們 (a) 異極相向及 (b) 同極相向，再用鐵屑顯示磁棒之間的圖形。

3 把兩塊平板形磁鐵分別放在鋼軛的兩端，異極相向。把有機玻璃板放在鋼軛上，然後用鐵屑顯示磁極之間的圖形（圖 b）。

圖 a

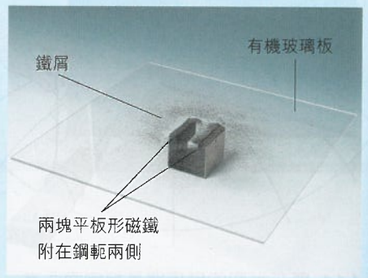


圖 b

討論

鐵屑圖形能否顯示出磁場的方向？不能

→ **模擬程式 4.1** 以指南針顯示在磁棒周圍的磁場。

→ **錄像片段 4.2** 顯示磁棒的三維磁場圖形。

模擬程式 4.1
錄像片段 4.2

往磁捧上撒鐵屑時，鐵屑會受磁捧吸引而排列成特殊的圖形（圖 4.1f）。圖形顯示了磁棒所產生的磁場圖形。

(i) (ii) (iii)

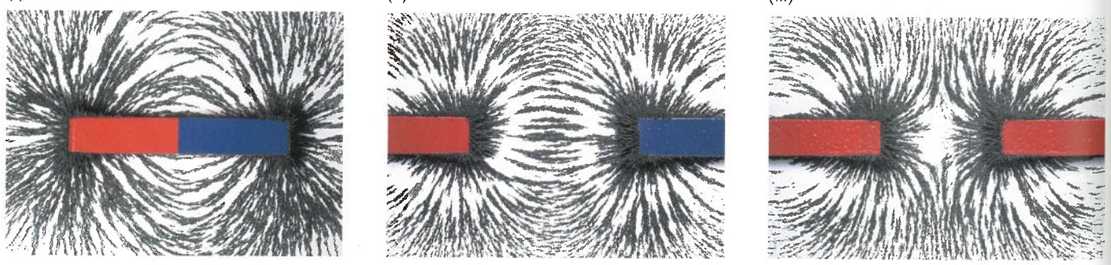


圖 4.1f 鐵屑顯示由不同磁棒組合形成的圖形：(i) 一支磁棒、(ii) 兩支磁棒（異極相向）、(iii) 兩支磁棒（同極相向）

把一些繪圖指南針放近一支磁棒，指南針的磁針會首尾相接排列起來（圖 4.1g，見 p.163），好像要連成一線，自北極出發指向南極。據此，我們可以繪畫**磁力線**來表示磁場，就像表示電場時的情況一樣。

磁力線 magnetic field line

可與學生討論磁力和電力的分別：假如兩個物體之間出現吸力或斥力，怎樣測試該力由磁效應還是電效應引起？以下舉出一些測試方法：

1 讓物體接地：若兩者仍然互相吸引或排斥，屬磁效應的機會較高。

2 以物體的正面和反面靠近另一物體：若出現的分別是吸力和斥力，屬磁效應的機會較高。

3 測試物體會否吸引附近不同物料的碎屑（例如紙碎）：若物體總會吸引碎屑，屬電效應的機會較高。

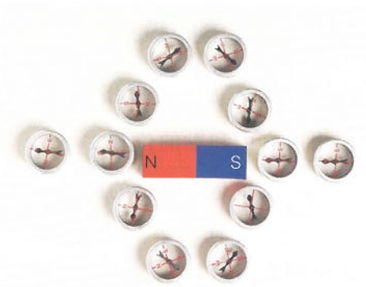


圖 4.1g 用指南針顯示磁力線

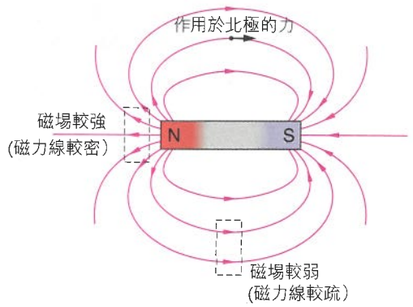


圖 4.1h 磁棒周圍的磁力線

磁力線有以下特性（圖 4.1h）：

1 磁力線在磁鐵外由北極指向南極。

2 磁力線的方向就是作用於磁針北極的磁力方向，磁針會跟磁力線排列。

3 在磁場圖形中，磁力線愈密，磁場愈強；磁力線愈疏，磁場則愈弱。

4 磁力線永不相交。

如果磁力線如下圖相交，置於 X 點的北極所受的磁力就會同時指向兩個不同的方向，這是不可能的。

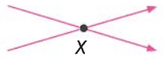


圖 4.1 及 4.1j 顯示兩支以不同方法擺放的磁棒，以及它們之間的磁力線。在 A 點，兩極的磁場互相抵銷，這點稱為**中和點**。如果把繪圖指南針放在 A 點，磁針不會指向特定的方向。

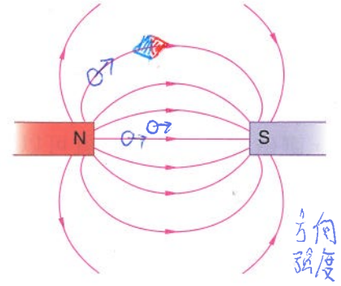


圖 4.1i 異極之間的磁力線

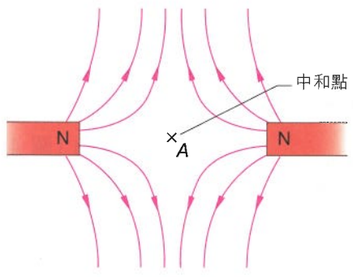


圖 4.1j 同極之間的磁力線

從實驗 4a 可發現，有機玻璃板上的鐵屑其實是豎起而不是水平的。

到目前為止，我們都以二維的表達手法來簡單顯示磁場圖形，但事實上，磁場是存在於三維空間的（圖 4.1k）。

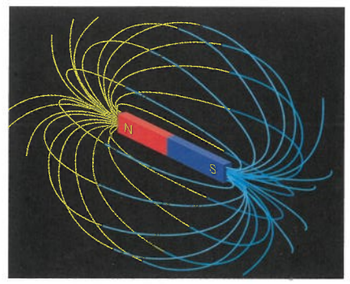


圖 4.1k 磁棒的立體磁場圖形，藍線指入磁極，黃線從磁極指出

中和點 neutral point

歷史點滴

世上最早的指南針：司南

第一個指南針在公元100年左右（約後漢時期）由中國人發明。這種指南針稱為司南，由一柄磁勺和一個金屬盤組成，磁勺可在盤上自由轉動。每當磁勺停止轉動，勺柄總是指向南方。

司南（磁匙）靜止時，匙柄總是指向南方，所以中國人稱羅盤為「指南針」。相反，西方人把羅盤的指針看成指向北方。

例題 1 兩支磁棒周圍的磁場

圖 a 顯示兩支磁棒並排擺放，同極相對。

(a) 試在圖中標出所有中和點的位置。

(b) 試簡單解釋這些位置是中和點的原因。

(c) 如果把指南針放在這些位置，有甚麼事情發生？試解釋原因。

圖 a

題解

(a) 如圖 b 所示，磁棒周圍有 P 和 Q 兩個中和點。

(b) 在 P 點，兩個北極和兩個南極的磁場互相抵銷。以同樣的原因，可解釋 Q 點為甚麼也是中和點。

(c) 在 P、Q 兩點的磁場是零，磁針不會指向特定的方向。

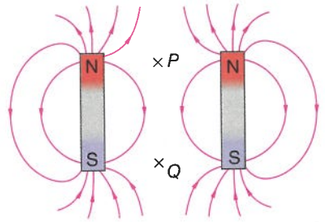


圖 b

習題與思考 4.1 Q9 (p.167)

如果把兩塊平板形磁鐵分別放在鋼軛的兩側（圖 4.1l），讓磁鐵異極相對，就可以產生一個均勻的強磁場。圖 4.1m 顯示這種磁場的圖形。須注意，磁力線是互相平行的，並且彼此平均地分隔開。

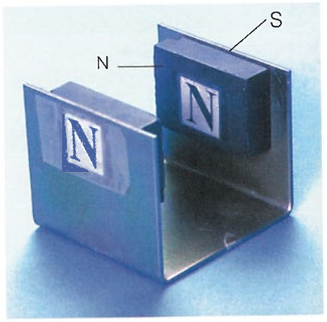


圖 4.1l 在鋼軛兩側的平板形磁鐵

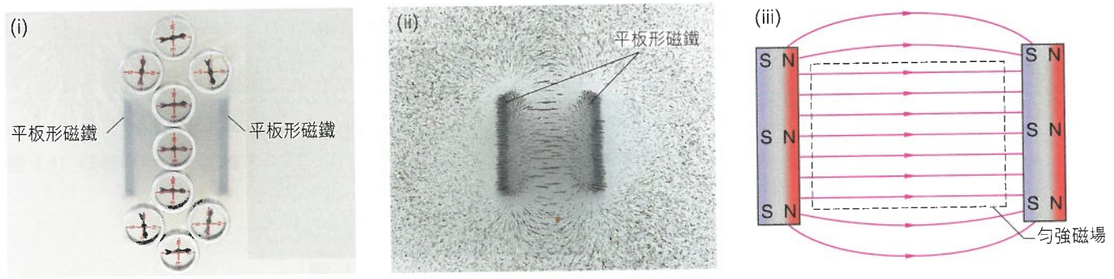


圖 4.1m 兩塊平板形磁鐵產生的磁場：(i) 由指南針顯示的磁力線、(ii) 鐵屑圖形、(iii) 用繪圖的方法顯示磁力線

3 地球的磁場

地球磁極的位置並非固定不變，反而在不停改變。此外，地球磁場並不完全對稱。如果用直線將地球南北磁極連起來，這條直線並不會穿過地球的地理中心。

地球本身有一個微弱的磁場，科學家至今仍未能完全明白這個磁場的成因及本質。指南針磁針的北極指向北方，即地球這塊巨型「磁鐵」的磁南極實際上在北方！不過，地球的磁極與地極的位置稍有不同（圖 4.1n）。

生活中的物理

磁感應

我們一直認為鴿子有非凡的方向感，因為牠們有個與生俱來的「指南針」。近年的研究揭示，鴿子的磁感應器（稱為磁受體）或位於鳥的嘴部、眼睛和耳朵內。

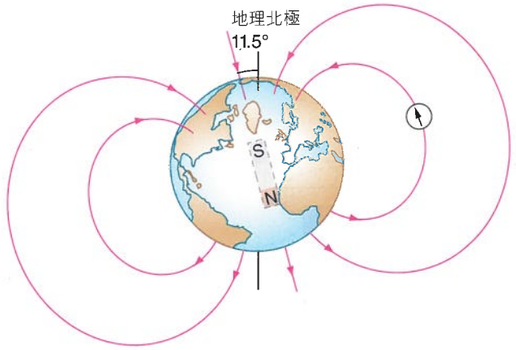


圖 4.1n 地球磁場：地球這塊「磁鐵」與自轉軸之間的夾角約為 11.5°

地球的磁場非常弱，因此不會對永久磁鐵的磁場圖形造成太大的影響，不過鴿子、蝴蝶、海豚、海龜等動物能利用地球磁場來導航。除非特別指明，否則我們在往後部分都不會考慮地球磁場的影響。

進度評估 1

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.160）。

1, 3 **1** 是非題：指南針磁針的北極準確地指向地球的地理北極。（對 / (錯)）

2 **2** 由小至大排列在 A、B、C 三點的磁場強度。

$B < A < C$

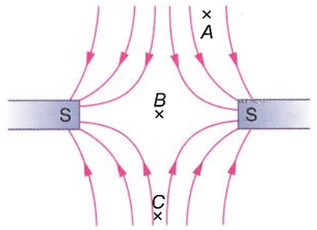


圖 a

2 **3** 根據撒在磁鐵周圍的鐵屑，可以知道磁鐵周圍的

(1) 磁場強弱。

(2) 磁場圖形。

(3) 磁場方向。

A 只有 (2)　　B 只有 (3)

(C) 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (2) 和 (3)

2 **4** 下列哪些關於勻強磁場的敘述必然正確？

(1) 磁力線互相平行。

(2) 磁力線是發散的。

(3) 磁力線是平均地分隔開的。

A 只有 (1)　　B 只有 (2)

C 只有 (3)　　(D) 只有 (1) 和 (3)

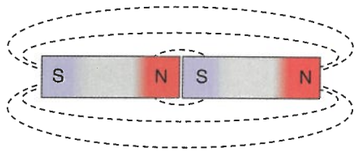
習題與思考 4.1

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.160）。

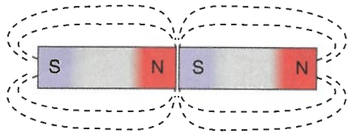
除特別指明外，地球磁場的影響可略去不計。

2 **1** 如果在兩支磁棒上放一張卡紙，再在卡紙上撒些鐵屑，鐵屑會形成甚麼圖形？

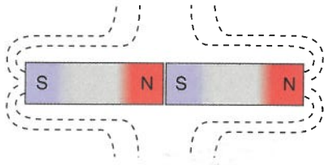
A



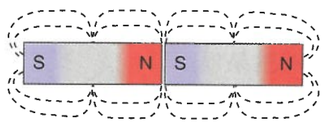
B



C



D



1 **2** 一個棒形物體懸掛在半空。兩支磁棒靠近物體的末端時，物體便與磁棒排成一直線（圖 a）。

圖 a

該物體可能是甚麼？

(1) 磁棒
(2) 鐵棒
(3) 鋁棒

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D (1)、(2) 和 (3)

2 **3** 圖 b 顯示兩個指南針放近磁棒 *XY* 時，磁針指向右。

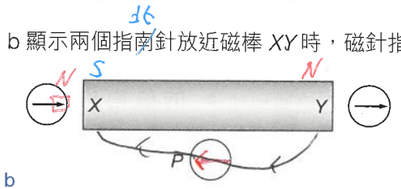


圖 b

找出 *X* 端的磁極，以及指南針 *P* 的磁針指向。

	X 端的磁極	磁針的方向
A	北極	指向左
B	南極	指向左
C	北極	指向右
D	南極	指向右

1★ **4** 磁棒沿虛線一分為二（圖 c）。

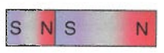
圖 c

下列哪幅圖正確顯示切割後每個磁塊的極性？

A

B

C

D 

2★ **5** 圖 d 顯示磁極 *P* 和 *Q* 之間的磁場，圖 e 顯示磁極 *R* 和 *S* 之間的磁場。

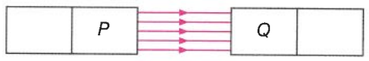


圖 d

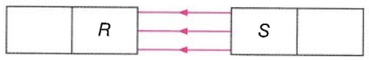


圖 e

下列哪些敘述是正確的？

(1) 在 *P* 和 *Q* 之間的磁場，以及在 *R* 和 *S* 之間的磁場，兩者都是勻強的。
(2) *P* 和 *R* 是相同的磁極。
(3) 在 *P* 與 *Q* 之間的磁場比在 *R* 與 *S* 之間的磁場強。

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

1 **6** 磁棒 *X* 置於磅上，另一支磁棒 *Y* 從上方移近 *X*（但兩者沒有接觸）（圖 f）。

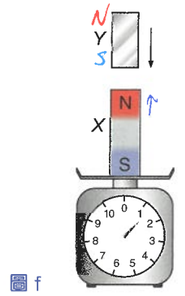


圖 f

(a) 假設磅的讀數下降，斷定 *Y* 向下那端的極性。南極

(b) 如果 *Y* 是一支鐵棒，對磅的讀數有甚麼影響？試簡單解釋。下降

2 **7** 四個指南針置於四支磁棒之間（圖 g）。試在下圖畫出磁針所指的方向，以箭號嘴來表示磁針。

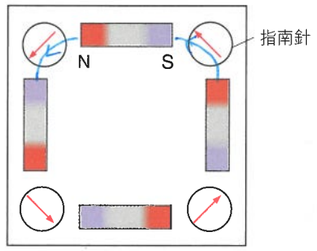


圖 g

1, 2 **8** 圖 h 顯示一支懸掛在半空的磁棒，正受地球的磁場影響。

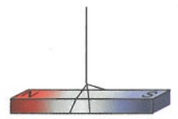


圖 h

(a) 磁棒的北極指向哪個方向？北方

(b) 如果將磁棒如圖 i 所示放在勻強磁場中，會有甚麼事情發生？

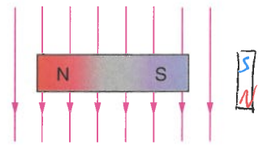
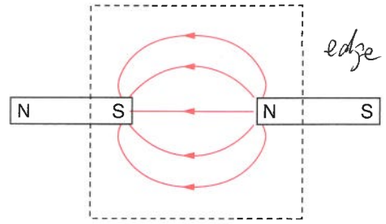


圖 i

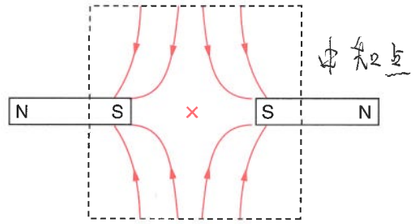
俯視圖

2 **9** 以下顯示兩種不同情況。畫出虛線範圍內磁棒周圍的磁場，如有需要，用「×」表示中和點的位置。

(a)



(b)



★ **10** 1, 2 如圖 j 所示，指南針的磁針 *AB*（極性不明）受兩支磁棒所吸引。移除兩支磁棒後，指南針的磁針會怎樣？試在圖 k 繪出磁針，並標出 *A* 和 *B* 的位置。

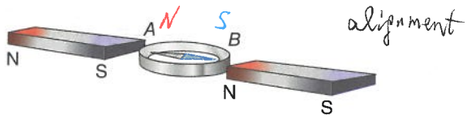


圖 j

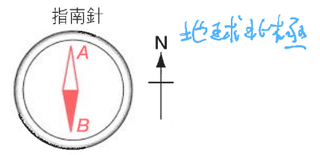


圖 k

★ **11** 2 柱形永久磁鐵的兩極呈圓柱形（圖 l）。試在圖 m 繪出兩極之間的磁力線。

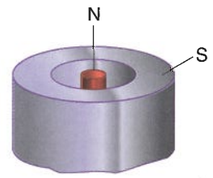


圖 l

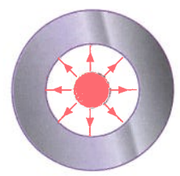


圖 m

4.2 電流的磁場

✔ 本節重點
1 電流產生的磁場
Ex 2 計算長直導線周圍的磁場
Ex 3 計算長螺線管內的磁場
4 電磁鐵與它的應用

起 點 門扣

下圖所示的門扣利用磁力吸引安裝在門上的金屬片，使門一直打開。火警時，門扣磁力消失，金屬片不再受門扣吸引，門於是自動關上。

磁力是可以消失的嗎？ 參看第178頁。

磁場不單可以由永久磁鐵和地球產生，還可以由電流產生。電流的磁效應由**奧斯特**在 19 世紀初發現，至今已應用於很多日常用具中，包括耳機、電動機、揚聲器（圖 4.2a）。

這些用具有甚麼共通點？ ▶
全部由電力發動。

圖 4.2a 電流磁效應的應用

歷史點滴 奧斯特 (1777–1851)

1819 年，奧斯特在課堂上授課時，無意中地發現了電流的磁場。當時，他把一個電路接駁起來時，發現放在旁邊的指南針磁針竟然偏轉。電磁學這門學問便由此開創。

奧斯特在課堂上發現電流產生磁效應

奧斯特機緣巧合下發現這個現象。全因奧斯特具銳利眼光，留意到這個現象，才可開創電流磁效應的研究。

奧斯特 Hans C. Oersted

1 電流的磁場圖形

以下實驗中，電流會經過不同形狀的導體，我們可觀察所產生的磁場圖形。

實驗 4b 電流的磁場圖形

→ 錄像片段 4.3 示範實驗 4b。 錄像片段 4.3

1 長直導線

如圖 a 所示裝置實驗器材。

接通電源讓電流通過導線，然後把鐵屑撒在紙板上。用鉛筆輕敲紙板，觀察出現的圖形。

2 扁平線圈

如圖 b 所示，改用 5 匝的扁平線圈。線圈通電後，重複上述步驟，並觀察鐵屑形成的圖形。

3 螺線管

如圖 c 所示，改用 10 匝的長線圈（螺線管）。線圈通電後，重複上述步驟，並觀察鐵屑形成的圖形。

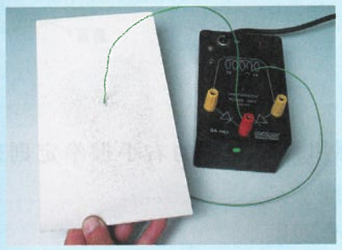


圖 a

圖 b

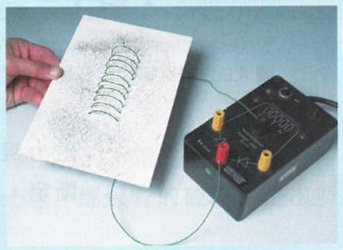


圖 c

討 論

建議一個找出磁力線方向的方法。 使用指南針

a 長直導線的磁場圖形

一束電流方向相同的導線，可以視為單一條導線。

弗林明實驗裝置用來展示導線周圍的磁力線。所謂「導線」，其實是一組 10 匝的塘瓷銅線，所產生的磁效應較強。

圖 4.2b 中，鐵屑撒在一束載電流導線周圍。輕敲膠板，鐵屑就會聚集成大大小小的同心圓，可見電流以導線束為中心，產生了一個磁場。

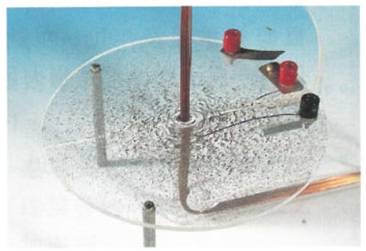


圖 4.2b 圍繞一束載電流導線的鐵屑圖形

模擬程式 4.2

→ 模擬程式 4.2 展示長直導線的磁場。

把數個繪圖指南針放在導線四周，便可找出磁場方向（圖 4.2c 及 4.2d）。圖中導線中心的符號表示電流的方向：圓點如箭頭，表示電流指出頁面（指向讀者）；交叉如箭尾，表示電流指入頁面。

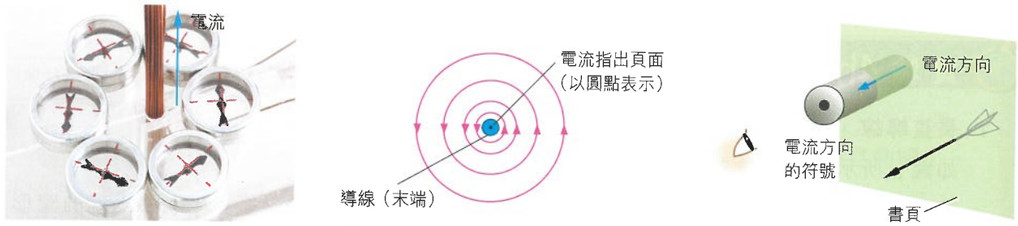


圖 4.2c 圍繞導線的磁場圖形（電流指出頁面）

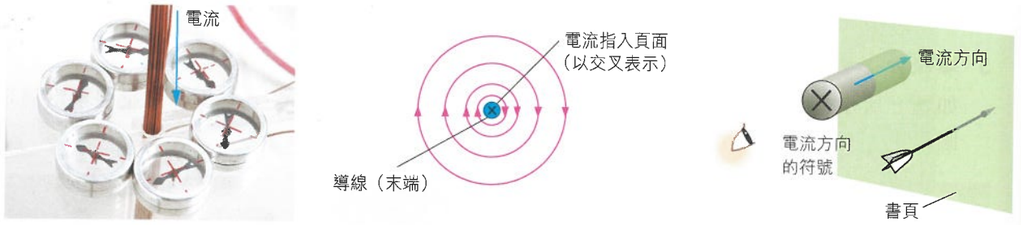


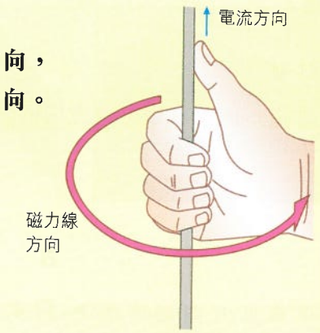
圖 4.2d 圍繞導線的磁場圖形（電流指入頁面）

可指出方向符號 ⊗ 和 ⊙ 也可應用於任何的場和力。

磁力線的方向可以根據電流的方向，應用**長直導線的右手握拳定則**來斷定。

長直導線的右手握拳定則：

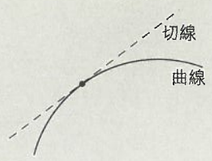
假設右手握住導線，而拇指指向電流方向，那麼，彎曲的手指就會指向磁力線的方向。



補充資料

切 線

一條直線若只接觸曲線上的一點，就是曲線在該點的切線。



根據右手握拳定則，在圖 4.2e 所示的任何一點，磁場都是指向通過該點圓形的切線方向。

增大電流，可以增強磁場。

提醒學生磁場是個矢量，有量值和方向。

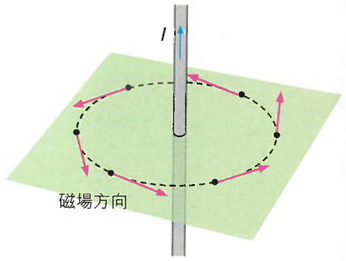


圖 4.2e 磁場在不同點的方向

長直導線的右手握拳定則 right-hand grip rule for straight wires

第 174 頁會討論更多的特性。

討論這三點時，可着學生參考圖 4.2c 和 4.2d。

長直導線的磁場圖形有以下特性：

1 磁力線圍繞導線呈圓形；

2 電流若以反方向流動，磁力線的方向也會相反；

3 愈靠近導線，磁力線愈密（磁場愈強）。

b 圓形線圈的磁場圖形

可示範怎樣利用長直導線的右手握拳定則，找出圓形線圈所產生磁場的方向。

圖 4.2f 是電流通過扁平**圓形線圈**時所產生的磁場圖形。在線圈的中心，磁力線接近筆直，並與線圈平面垂直；在線圈以外，磁力線呈環狀。

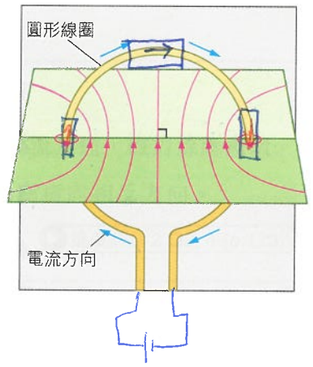


圖 4.2f 圓形線圈的磁場圖形

c 螺線管的磁場圖形

螺線管是一捆長線圈，由多匝導線繞成（圖 4.2g）。電流通過螺線管時，每一圈所起的作用就像單一個圓形線圈一樣。螺線管的磁場就是由所有線圈合成的磁場。

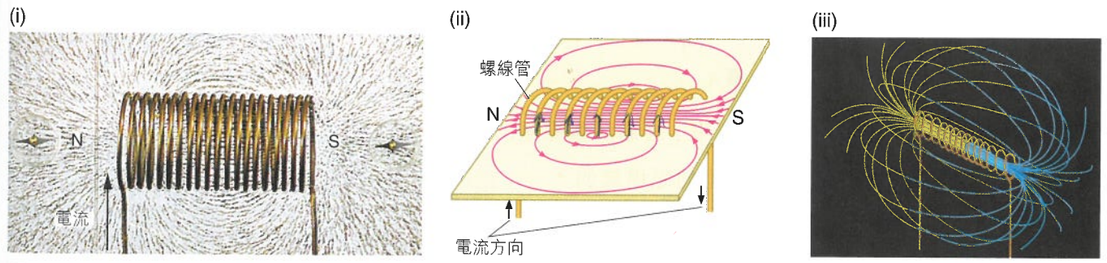


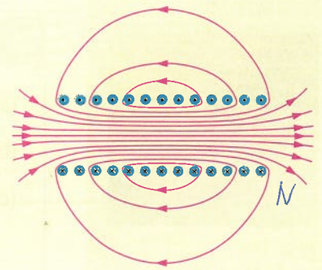
圖 4.2g 螺線管的磁場圖形。注意 (i) 的指南針磁針怎樣跟磁場排列

第 176 頁會討論更多的特性。

螺線管的磁場圖形有以下特性：

1 在螺線管以內，磁力線筆直，而且線與線之間距離均等，表明這部分的磁場強度均勻。

2 在螺線管以外，磁場圖形與磁棒的圖形十分相似，螺線管的一端有如北極，另一端有如南極。



圓形線圈 circular coil　　螺線管 solenoid

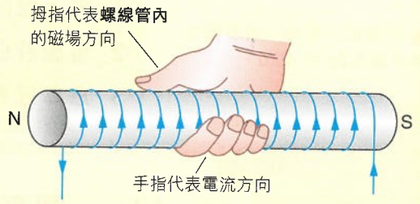
右手握拳定則有兩條，一條適用於長直導線，另一條適用於螺線管。注意兩者之間的分別。

可說明螺線管的定則可由長直導線的定則推導出來。

▶ 其實，螺線管兩端的磁極可應用**螺線管的右手握拳定則**來斷定：

螺線管的右手握拳定則：

假設右手握住螺線管，而彎曲的手指指向電流方向，那麼，拇指所指向的就是螺線管內磁力線的方向。



要增強螺線管的磁場，可以：

1 增大電流

2 增加螺線管的匝數（螺線管的長度不變）

3 在螺線管內插入軟鐵心或鋼心

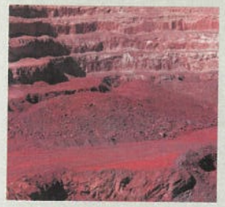
軟鐵心和鋼心均可以增強螺線管產生的磁場。只是切斷電流後，鋼心仍會保留部分磁性，而軟鐵心則不會。

鐵原子就如小磁鐵一樣。當軟鐵心放在磁場中，鐵原子會整齊地排列起來，使磁場大大增強。

補充資料

「硬」和「軟」

軟鐵和鋼含有不同比例的鐵而有不同硬度，前者較後者軟，因而得名軟鐵。在切斷電源後，鋼心仍會保留磁性而軟鐵心則不會，因此會保留磁性的磁性物質稱為「硬」，而不會保留磁性的則稱為「軟」。



鐵礦

例題 2 線圈的磁效應

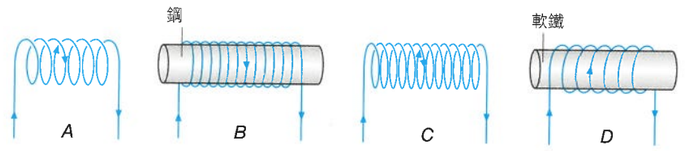


圖 a

在圖 a 中，通過四個線圈的電流相同。哪個線圈

(a) 產生的磁場最弱？

(b) 北極在左端？

(c) 在電源切斷後，磁場仍存在？

試簡單解釋你的選擇。

題解

(a) 線圈 *A*：因為線圈的匝數最少，並且沒有鋼心或軟鐵心。

(b) 線圈 *D*：可用螺線管的右手握拳定則推斷出來。

(c) 線圈 *B*：鋼心在電源切斷後，仍能保留部分磁性。

進度評估 2 Q1 (p.173)

螺線管的右手握拳定則 right-hand grip rule for solenoids

例題 3 電流的磁場圖形

圖 a 和 b 分別為某學生所繪畫的長直導線和螺線管的磁場圖形，以顯示由電流 *I* 所產生的磁場。指出各圖中的錯處。

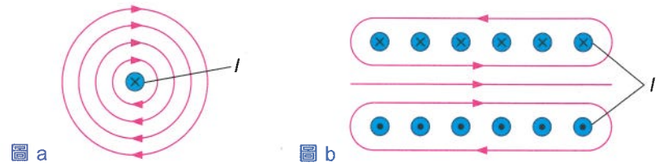


圖 a　　圖 b

題解

圖 a 中，磁力線之間的距離不應均等，離開電流愈遠，磁力線應愈疏。

圖 b 中，磁力線的方向錯誤。每條磁力線都應指向相反方向。

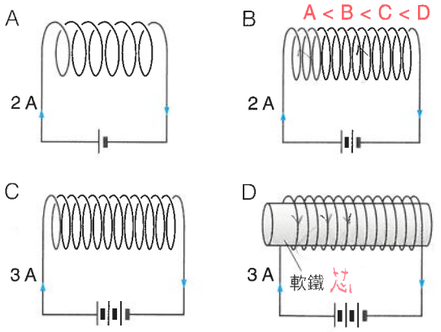
進度評估 2 Q2, 4 (p.173)

圖 b 可視為螺線管的橫切面。

進度評估 2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.168）。

1 1 根據磁場強度，把下列各裝置由小至大排列。



1 2 找出磁場在 *P* 點的方向。沒有磁場

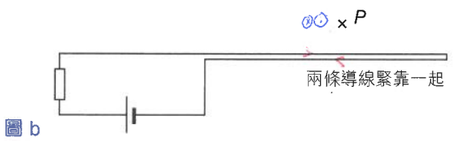


圖 b

1 3 圖 a 是長直導線的右手握拳定則，試在圖中繪畫藍色箭號來顯示電流的方向，然後再繪畫紅色箭號來顯示磁場的方向。

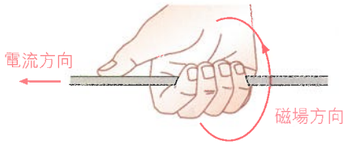


圖 a

1 4 在圖 c 中草繪螺線管內外的磁場，用「N」和「S」標示出北極和南極。

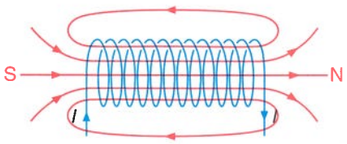


圖 c

2 計算電流的磁場

磁場是矢量。我們已學會怎樣就某些形狀的載電流導體，找出磁場在不同位置的方向。以下部分討論怎樣計算磁場在不同位置的量值。

量度磁場的量值需要一個單位。磁場的單位是**忒斯拉**，簡寫為 **T**。圖4.2h列出一些常見情況下的磁場量值。

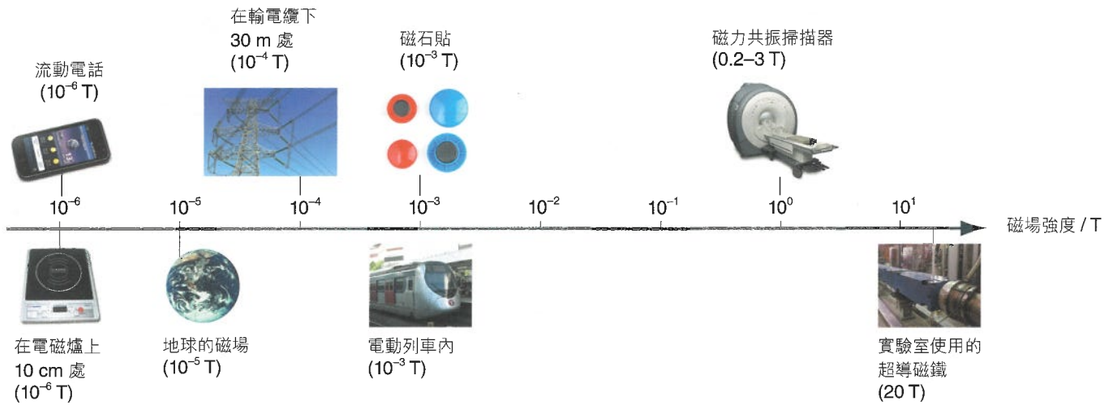


圖 4.2h 一些常見情況下的磁場量值

a 長直導線周圍的磁場

這方程用來計算一條無限長直導線的磁場理論值，但同時也適用於「長」直導線，所得結果為一個足夠準確的近似值。所謂「長」直導線，是指長度遠大於 r。

假設有一條無限長的直導線，通過導線的電流是 I。如果某一點與導線的垂直距離是 r（圖 4.2i），那麼在該點磁場的量值 B 就是：

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad \text{（圍繞長直導線）}$$

其中 μ_0 是真空**磁導率**，它展示磁場在真空中的傳播特性，準確值為 $4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

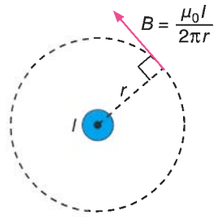


圖 4.2i 磁場在某一點的量值

μ_0 的單位
$= \frac{(B \times r) \text{ 的單位}}{I \text{ 的單位}}$
$= \frac{T \times m}{A} = \text{T m A}^{-1}$

從以上方程可見：

1 若 r 固定不變，則 B 與 I 成正比 ($B \propto I$)，即電流愈大，磁場愈強。

2 若 I 固定不變，則 B 與 r 成反比 $\left(B \propto \frac{1}{r}\right)$，即距離導線愈遠，磁場愈弱。

注意圖4.2c和4.2d (p.170) 怎樣呈現這個結果。r 愈大，磁力線之間的距離便愈大。

忒斯拉 (T) tesla　磁導率 permeability

圖 4.2j 顯示兩條長直平行導線，它們載有方向和大小都相同的電流。兩條導線所產生的磁場會在它們的中間位置互相抵銷，令該處的合磁場為零。

若倒轉其中一條導線的電流方向，磁場的量值又會是多少？ 單一導線所產生磁場的2倍

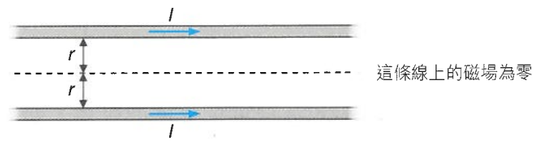


圖 4.2j 兩條長直平行導線載有方向和大小都相同的電流

例題 4 兩條導線之間的中和點

長直導線 X 載有 2 A 的電流，電流方向指入書頁。P 點在 X 的右邊，與 X 相距 6 cm（圖 a）。

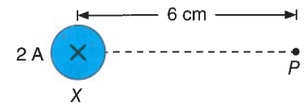


圖 a

取 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

(a) 求在 P 點的磁場。

(b) 載有 3 A 電流的導線 Y 平行於導線 X，置於 P 點的右邊某一距離後，P 點便變成中和點（合磁場為零）。求導線 Y 與 P 點之間的距離 r。

題解

(a) 磁場的量值 $= \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(2)}{2\pi(0.06)} = 6.67 \times 10^{-6}$ T

在 P 點的磁場是 6.67×10^{-6} T，方向向下。

(b) 在 P 點，導線 X 產生的磁場 (B_X) 抵銷了導線 Y 產生的磁場 (B_Y)（圖 b）。

$$\therefore \quad B_X = B_Y$$
$$\frac{\mu_0(2)}{2\pi(0.06)} = \frac{\mu_0(3)}{2\pi r}$$
$$2r = 3 \times 0.06$$
$$\Rightarrow \quad r = 0.09 \text{ m}$$

導線 Y 與 P 點相距 9 cm。

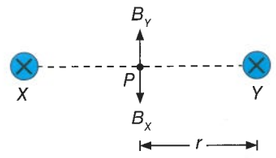


圖 b

習題與思考 4.2 Q12 (p.184)

b 長螺線管內的磁場

如果匝數為 N 的長螺線管的長度是 l，半徑是 r，而通過的電流是 I（圖 4.2k），則螺線管內磁場（遠離兩端）的量值是

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \mu_0 nI \quad \text{（長螺線管內）}$$

只要 l 的值遠較 r 的值大（$l \gg r$），就可視為「長」螺線管。

其中 n 是每單位長度的匝數，即 $n = \frac{N}{l}$。

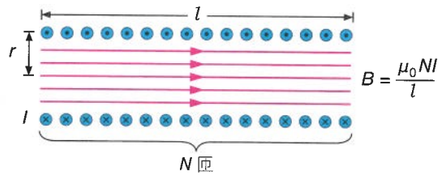


圖 4.2k 長螺線管內的磁場

從以上方程可見：

1 若 n 固定不變，則 B 與 I 成正比（$B \propto I$）；電流愈大，磁場愈強。

2 若 I 固定不變，則 B 與 n 成正比（$B \propto n$）；線圈繞得愈緊密，磁場愈強。

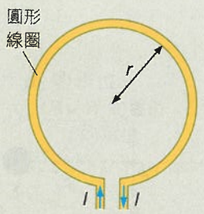
3 只要半徑 r 遠小於長度 l（$r \ll l$），螺線管內的磁場強弱就不受半徑（或截面積）的大小影響。

補充資料

圓形線圈的磁場

如果圓形線圈的半徑是 r，導線內的電流是 I，那麼線圈中心的磁場就是

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$



如果匝數為 N、半徑為 r 的線圈是扁平的，通過它的電流是 I，那麼線圈中心的磁場就是

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2r}$$

例題 5 長螺線管的磁場

某長螺線管有 200 匝，長 25 cm，有 2 A 的電流通過。

(a) 在螺線管內接近中心點處，磁場的量值是多少？
取真空磁導率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

(b) 試解釋下列轉變怎樣影響 (a) 部的答案。
(i) 螺線管的長度和匝數都增加至原來的兩倍
(ii) 螺線管的截面積減小一半

題解

(a) $B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) \times 200 \times 2}{0.25} = 2.01 \times 10^{-3}$ T

(b) (i) 因為每單位長度的匝數 n 維持不變，所以答案不會改變。

(ii) 因為長螺線管內的磁場與截面積的大小無關，所以答案不會改變。

進度評估 3 Q3 (p.177)

進度評估 3

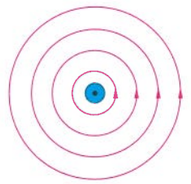
✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.168）。

取 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

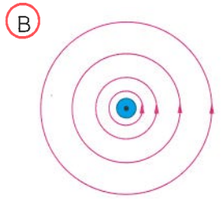
21 某長直導線載有電流 I，在與它相距 r 的位置產生磁場 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$。以下哪一個磁場圖形最能配合上述方程？

$B \propto \frac{1}{r}$

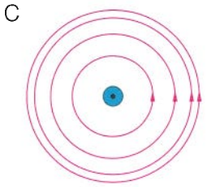
A



B



C



22 圖 a 中的導線 X 和 Y 分別有 3 A 和 4 A 的電流通過，但方向相反。P 點與 X 的距離是 2 cm，與 Y 的距離是 5 cm。求合磁場在 P 點的量值和方向。

[提示：$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = ?$] 4.6 × 10^{-5} T（指入頁面）

$B_X + B_Y = \frac{\mu_0 I_X}{2\pi r_X} + \frac{\mu_0 I_Y}{2\pi r_Y}$

$= \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi}\left(\frac{3}{0.02} + \frac{4}{0.05}\right)$

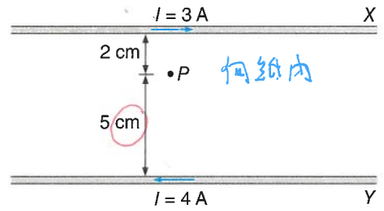


圖 a

33 長螺線管每厘米有 10 匝線圈，通過的電流為 6 A。求螺線管內磁場的量值。

[提示：$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = ?$] 7.54 × 10^{-3} T

$4\pi \times 10^{-7} \times \frac{10}{0.01} \times 6$

$\frac{N}{l}$

生活中的物理 以智能電話量度磁場

許多智能電話都內置磁場感應器，只要安裝類似以下的應用程式，就可以變成一部磁場計。在自然的環境，背景磁場大小約為 20–60 μT。

iOS

Android

以智能電話量度磁場的應用程式

3 電磁鐵

a 電磁鐵的原理

在**起點**提及的門扣由一個稱為**電磁鐵**的裝置組成。實驗 4c 會示範電磁鐵怎樣運作。

錄像片段 4.4

→ 錄像片段4.4示範實驗4c。

實驗 4c 電磁鐵

1 在 C 形鐵心上繞大約 20 匝線圈，然後接上電源。

2 開啟電源，用上述鐵心來吸起另一塊 C 形鐵心（圖 a）。試分開兩個鐵心，感覺一下兩者間的強大吸力。關掉電源，兩個鐵心之間還有吸力嗎？

圖 a

討論

1 如果電源的兩極倒轉，兩個 C 形鐵心會不會互相排斥？ 不會

2 怎樣能增強電磁鐵的吸力？ 增大電流；增加繞在 C 形鐵心上線圈的匝數

電流可以產生磁場，利用這個特性就可以製造電磁鐵。直流電磁鐵就像永久磁鐵一樣，但它的磁性可以用開關來控制。電磁鐵由一捆多匝的絕緣銅線線圈製成，線圈繞在軟鐵心等磁性物料上，這樣可以增強電磁鐵的磁場。

切斷電源後，電磁鐵就會失去磁性。在**起點**中，電磁鐵吸住門。火警時，電力供應中斷，磁力消失，門便自動關上。

b 影響電磁鐵強度的因素

電磁鐵的強度受電流、線圈每單位長度的匝數和核心物料所影響。

電磁鐵的強度可用以下方法來提升：

1 增加線圈每單位長度的匝數

2 增大經過線圈的電流

3 在線圈中插入軟鐵心

變易被磁化及消磁

電磁鐵 electromagnet

電磁鐵不能完全取代其他機械式起重設備，原因包括：

- 電磁鐵不能提起非磁性物件
- 電磁鐵無法選擇提起哪一件磁性物件
- 起重機附近若有其他電磁鐵，表現就會受影響

重型電磁鐵起重機的起重能力可達 2×10^5 kg。

c 電磁鐵的應用

i 起重機

大型的電磁鐵可用來提起沉重的磁性物體。圖 4.2l 展示電磁鐵起重機利用巨型電磁鐵，在廢料場吸起可回收的廢鐵。

圖 4.2l 電磁鐵起重機

ii 電鈴與蜂鳴器

要加強鈴聲，學生可能會建議用更大的鈴碗或鈴錘，然而這個方法並不奏效。可向他們解釋改較大的設備不一定能增加響度。

電鈴（圖 4.2m）內有個「接觸斷路器」（圖 4.2n），能迅速開關電鈴內的電磁鐵。按下電鈴按鈕時，電磁鐵就會通電，並產生磁性，吸引鈴錘，鈴錘便敲響鈴碗。

這樣一來，鈴錘便脫離接觸斷路器，令電路斷開，電磁鐵因而失去磁性。鈴錘彈回原位，電路再次閉合。只要一直按着電鈴按鈕，以上的過程就會不斷重複，鈴錘會不斷敲響鈴碗，發出鈴聲。

圖 4.2m 常見的電鈴

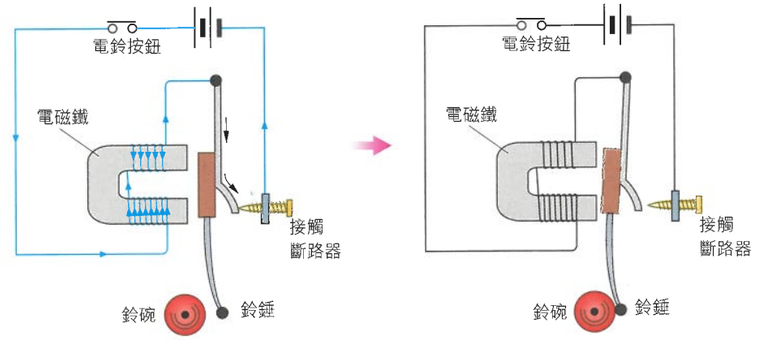


圖 4.2n 電鈴內的接觸斷路器

蜂鳴器（圖 4.2o）的運作原理與電鈴相似。運作時，蜂鳴器內的金屬薄片會不停振動，產生「嗡嗡」的聲響。

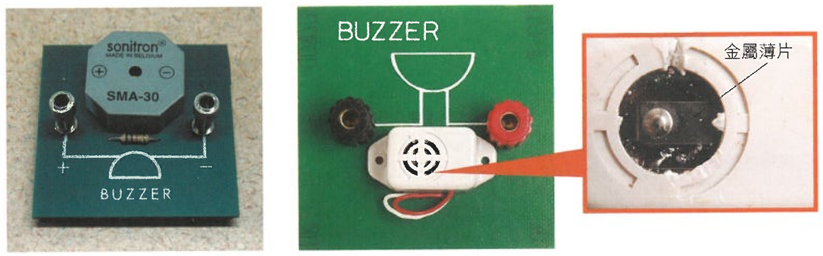


圖 4.2o 不同的蜂鳴器

例題 6　門鈴

圖 a 顯示一種門鈴的構造。棒 PQ 由軟鐵桿和塑膠桿首尾相接而成，P 端套入了彈簧。

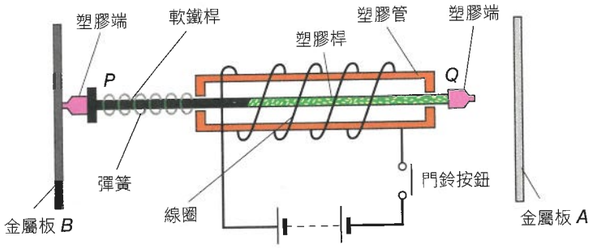


圖 a

(a) 試簡述按下和鬆開門鈴按鈕會聽到「叮噹」聲響的原因。

(b) 在下列情況下，門鈴還可以如常運作嗎？

(i) 電池組的兩極對調

(ii) 用銅桿取代軟鐵桿

題解

(a) 按下門鈴按鈕時，線圈通電而產生磁場；吸引軟鐵桿，把棒拉入線圈內。這時，Q 端敲擊金屬板 A，產生「叮」的聲音。鬆開門鈴按鈕後，沒有電流通過線圈，軟鐵桿也不再受線圈吸引。彈簧把棒推出線圈外，P 端便敲擊金屬板 B，產生「噹」的聲音。

(b) (i) 門鈴仍然如常運作。電池組兩極對調後，線圈磁場的極性倒轉，但棒仍會被線圈吸引。

(ii) 門鈴不能再運作。因為銅不是磁性物料，所以線圈通電時，不會吸引銅桿。

進度評估 4 Q2 (p.182)

生活中的物理　標籤警報系統

商店常用的防盜標籤由一種特別的磁性物料造成。安裝在商店出口的防盜閘產生一個不斷變化的磁場，防盜標籤通過閘口的磁場時會產生一個電磁訊號回應，這個訊號會觸發警報系統。防盜標籤須用特別的裝置消磁，這個裝置一般安裝在商店的收銀處。

牛津物理網

iii　耳機

耳機包含一塊電磁鐵和一塊薄膜片，膜片可用金屬或鍍金屬塑膠膜製成。聲音訊號先轉化為不斷變化的電流，經導線傳送到耳機。電流經過電磁鐵的線圈，產生一個不斷變化的磁場，繼而令膜片振動。空氣分子隨之振動，並產生聲波（圖 4.2p）。

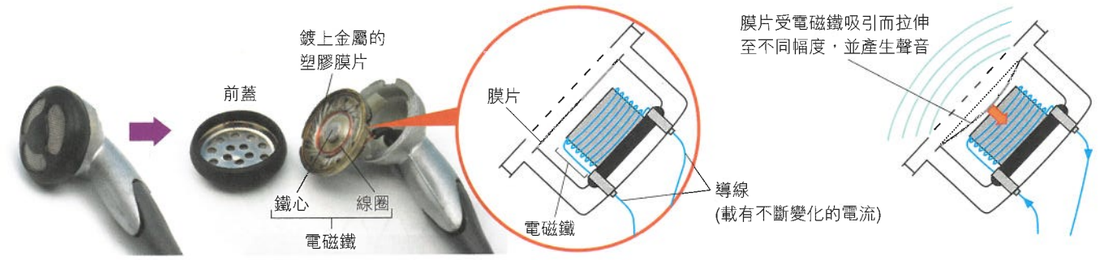


圖 4.2p　耳機的運作原理

iv　磁浮列車

香港機場快線列車的最高速率只為 135 km h^{-1}，可見磁浮列車行駛得極快。

▶ 磁浮列車（圖 4.2q）能以高達 500 km h^{-1} 的速率行駛，全靠一套電磁鐵系統。該系統能使列車懸浮，也可推拉列車。列車與路軌沒有接觸，因此移動時摩擦力極小，從而達致極高速率。

圖 4.2q　上海磁浮列車是世界上最高速的列車之一

托起列車的磁力必須剛好抵銷列車的重量，列車才會懸浮起來。要達到這個目的，可以改變支撐電磁鐵線圈的電流大小（圖 4.2r）。

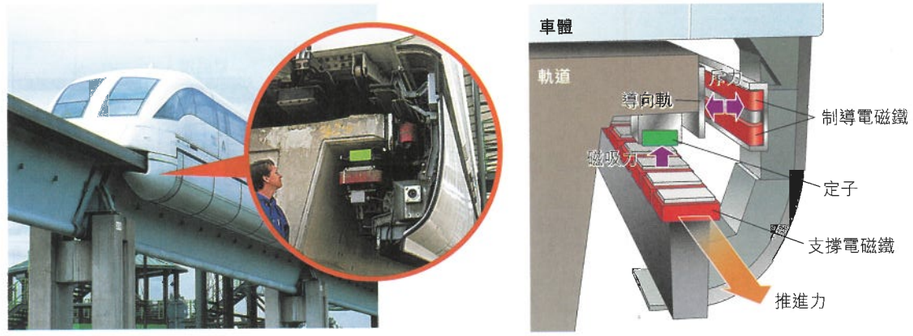


圖 4.2r　車體上的支撐電磁鐵受軌道的定子吸引，這個向上的吸力令列車懸浮起來

制導電磁鐵和導向軌用於穩定列車，兩者間的斥力可防止移動中的列車撞向軌道。

支撐電磁鐵亦用於推進列車。改變電流方向，能有規律地改變支撐電磁鐵的極性（圖 4.2s），從而推拉列車沿軌道前進。

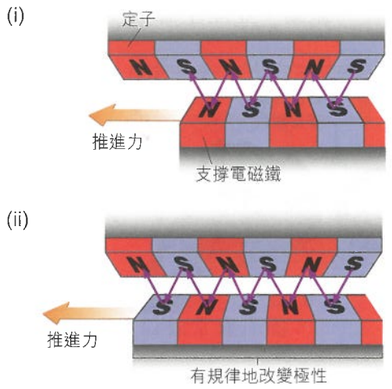


圖 4.2s 支撐電磁鐵有規律地改變極性，使列車向前行駛

進度評估 4

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.168）。

4 **1** 下列哪些改動可增強圖 a 內電磁鐵的強度？

(1) 使用軟鐵心取代塑膠心
(2) 增大經過線圈的電流
(3) 增加線圈每單位長度的匝數

A 只有 (3)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
(D) (1)、(2) 和 (3)

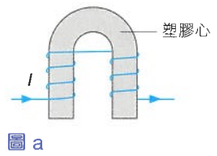


圖 a

4 **2** 按住圖 b 中電鈴的按鈕，會有甚麼事情發生？電鈴只響一下，而不是持續發響。

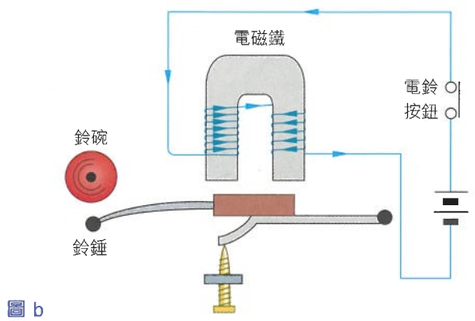


圖 b

習題與思考 4.2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.168）。

取 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{T m A}^{-1}$。

1 **1** 圖 a 中，一支磁棒置於磅上，磁棒的正上方有一個固定的電磁鐵。開關閉合時，磅的讀數會發生甚麼變化？

(A) 增加
B 減少
C 先增後減
D 維持不變

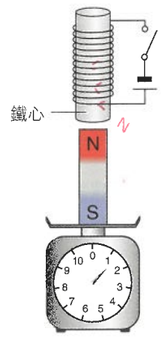


圖 a

1 **2**

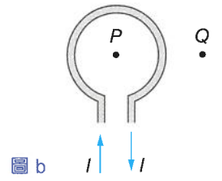


圖 b

圖 b 顯示圓形線圈內有電流 I 通過。試找出磁場在 P 和 Q 的方向。（⊗ = 指入書頁；⊙ = 指出書頁）

	P	Q
(A)	⊗	⊙
B	⊙	⊗
C	⊙	沒有磁場
D	⊗	沒有磁場

（第 3 至 4 題） P 和 Q 是兩條互相平行的長直導線，並載有電流（圖 c）。X 點在兩條導線中間的位置。

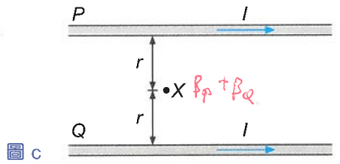


圖 c

1 **3** 假設兩條導線所載的電流大小相等，試找出在 X 點合磁場的方向。

A 向上
B 指入書頁
C 指出書頁
(D) X 點沒有磁場

2★ **4** F-X 如果流過導線 Q 的電流變成 $2I$，並且方向相反，X 點的合磁場是多少？

A $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$（指入書頁）　B $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$（指出書頁）
(C) $\frac{3\mu_0 I}{2\pi r}$（指入書頁）　D $\frac{3\mu_0 I}{2\pi r}$（指出書頁）

2★ **5** F-X P、Q、R 和 S 是四條長直導線，分別位於正方形的四角（圖 d）。所有導線載有大小相同的電流 I。X 點位於正方形的中心，與每條導線的距離為 r。試找出在 X 點的合磁場量值。

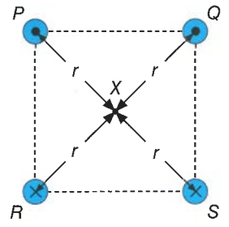


圖 d

A $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$　(B) $\frac{\sqrt{2}\,\mu_0 I}{\pi r}$
C $\frac{\sqrt{2}\,\mu_0 I}{2\pi r}$　D $\frac{2\sqrt{2}\,\mu_0 I}{\pi r}$

3★ **6** F-X 某載電流螺線管內的磁場為 B，它與另一個相同的螺線管首尾相接，且通過兩者的電流量值和方向都相同（圖 e）。在 X 點的磁場量值是多少？

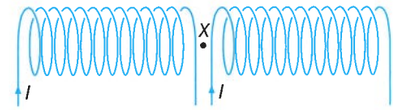
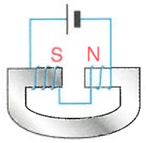


圖 e

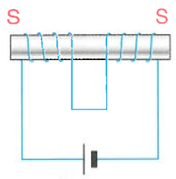
A 零　B $\frac{B}{2}$
(C) B　D $2B$

4 **7** 判斷下列各電磁鐵磁極的極性。

(a)

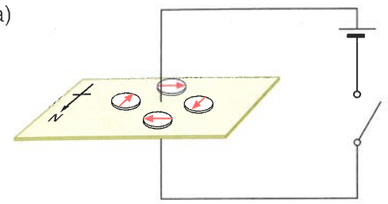


(b)

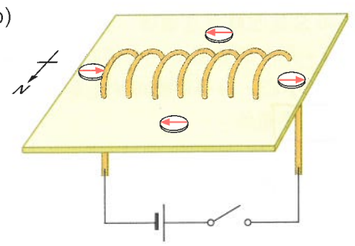


1 **8** 繪出下列情況中，開關閉合後指南針磁針的指向。（地球磁場的效應可略去不計。）

(a)



(b)



F-X 2 **9** 求 *P* 點和 *Q* 點的磁場（圖 f）。*P*: 4×10^{-5} T（指出頁面）*Q*: 2.67×10^{-5} T（指入頁面）

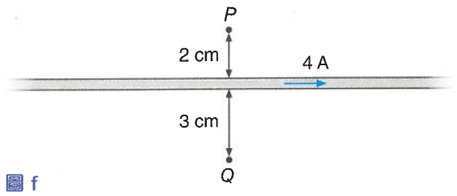


圖 f

1, 2 **10** 圖 g 顯示兩條相距 5 cm 的平行導線，每條有 3 A 的電流通過。

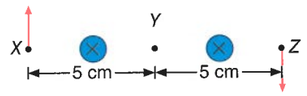


圖 g

(a) 在圖中標示 *X*、*Y* 和 *Z* 點的磁場方向。*Y* 點位於兩條導線的正中間。

F-X (b) 求磁場在 *X* 點的量值。3.2×10^{-5} T

1 **11** 圖 h 顯示一條繞在卡紙筒上的螺線管。

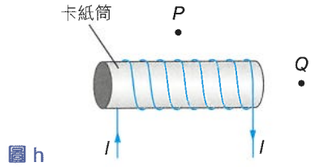


圖 h

(a) 試判斷磁場在 *P* 點和 *Q* 點的方向。*P*：向左；*Q*：向右

(b) 如果在螺線管內插入軟鐵心，所產生的磁場會有甚麼改變？增強

2 ★ F-X **12**

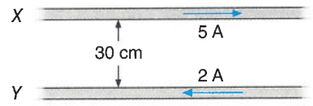


圖 i

圖 i 顯示兩條平行的長直導線 *X* 和 *Y*，兩者相距 30 cm，分別載有 5 A 和 2 A 的電流。*P* 是由導線 *X* 和 *Y* 產生的中和點。試找出 *P* 點與導線 *X* 之間的垂直距離。0.5 m

★ 1, 3 **13** 長螺線管每 1.5 cm 長度有 10 匝，通過它的電流是 5 A（圖 j）。

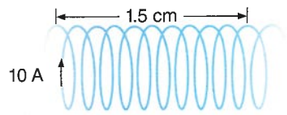


圖 j

F-X (a) 在螺線管內的中心點，磁場的量值是多少？4.19×10^{-3} T

(b) 如果按壓螺線管，對 (a) 部的答案有甚麼影響？試簡單解釋。增加

2 ★ F-X **14** 電流通過一條直導線。在距離導線中心 2 cm 處，磁場的量值是 5 μT。

(a) 求通過導線的電流。0.5 A

(b) 如果通過導線的電流增加一倍，在同一位置磁場的量值是多少？10 μT

4 ★ **15** 圖 k 顯示一個蹄形電磁鐵。

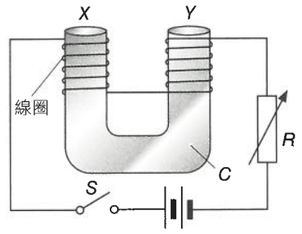


圖 k

(a) 元件 *C* 會令電磁鐵的磁力在 *S* 閉合時增強（*S* 斷開時，電磁鐵則沒有磁性）。元件 *C* 可由甚麼物料製成？軟鐵

(b) *S* 閉合時，*X* 和 *Y* 分別是甚麼磁極？*X*：南極；*Y*：北極

(c) 試解釋下列改變會怎樣影響電磁鐵的強度。

(i) *R* 的電阻增加 減小

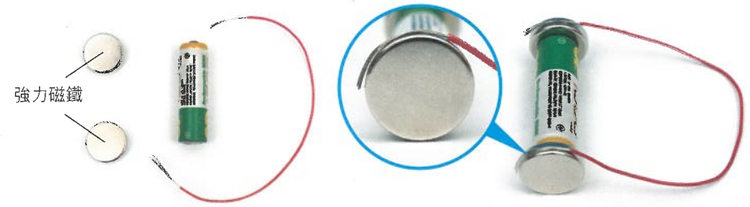
(ii) 電池的電動勢增加 增加

(iii) 線圈改用較粗的導線製作 增加

4.3 磁場產生的力

起 點 「電池車」 → 錄像片段 4.5 示範製作電池車的方法。 錄像片段 4.5

如下圖所示，把導線、乾電池和兩塊強力磁鐵連接起來。稍稍屈曲導線兩端，然後擱在磁鐵上，並把磁鐵輕輕套住。這時，乾電池和磁鐵就會像車子一樣向前滾動！



電池車為甚麼會動起來？ 參看第 202 頁例題 15。

安全措施：

(1) 切勿連接超過 15 秒，以免電路過熱。

(2) 切勿把強力磁鐵放近流動電話、提款卡、起搏器、手錶等用品。

✔ 本節重點

1 弗林明左手定則

2 影響磁力的因素

F-X 3 計算作用於載電流長直導線的磁力

F-X 4 計算平行導線之間的磁力

5 線圈的轉動效應

6 電動機與它的應用

磁力其實源自電流所建立的磁場。

1 作用於載電流導體的磁力

單元 4.2 指出，載電流導線會令指南針的磁針偏轉，即向磁鐵施力。根據牛頓第三定律，磁鐵應會向載電流導體施以相反方向的作用力。

如果載電流導線可自由移動，而磁鐵則固定不動，會有甚麼事情發生？

錄像片段 4.6

→ 錄像片段 4.6 示範實驗 4d。

實驗 4d 作用於載電流導體的磁力

1 如圖 a 所示裝置弗林明實驗器材。接通電源，觀察金屬小棒的運動。

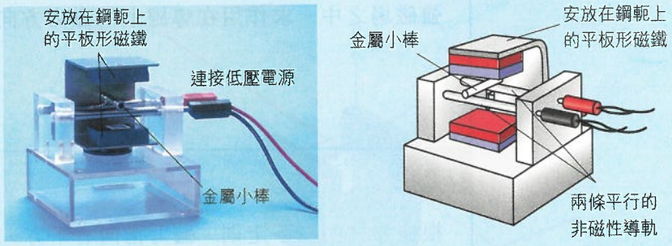


圖 a

2 倒轉電流的方向，重複上述步驟。

3 倒轉磁鐵，重複上述步驟。

討 論

磁力、電流和磁場三者的方向有甚麼關係？互相垂直

歷史點滴

弗林明 (1849–1945)

弗林明爵士是英國電機工程師兼物理學家。他想出了左手和右手定則（見第 5 課），亦發明了熱離子閥（真空管），因而聞名於世，後世視這項發明為電子裝置的起源。

a 弗林明左手定則

如圖 4.3a 所示，把導線放在磁鐵的兩極之間。導線通電後，會有一道向上的力作用於導線。如果電流或外加磁場的方向倒轉，導線就會改為向下移動。

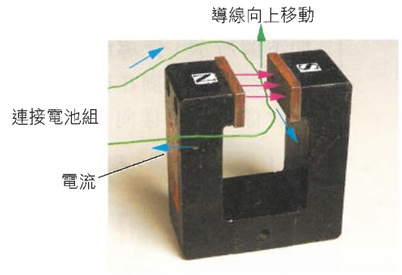
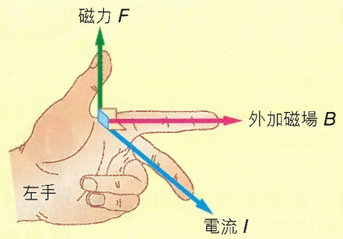


圖 4.3a 載電流導線在磁場內所受的力

導線的移動方向可以按照**弗林明左手定則**來斷定：

弗林明左手定則：

伸出左手的拇指、食指和中指，讓三者互相垂直。如果食指指向外加磁場 *B* 的方向，而中指指向電流 *I* 的方向，那麼，拇指指向的就是磁力 *F* 的方向。



提醒學生這定則提供了一個找出力、磁場和電流方向的方法，但卻不是定理。

可向學生提問：若 *I* 和 *B* 的方向一同變為相反，*F* 會有甚麼變化。

例題 7 應用弗林明左手定則

如圖 a 所示，一條載有電流 *I* 的導線置於勻強磁場之中。求作用在導線上的磁力方向。

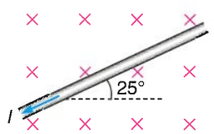


圖 a

題解

根據弗林明左手定則，磁力指向右下方，與電流 *I* 成直角（圖 b）。

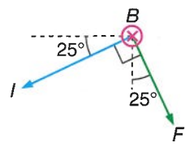


圖 b

習題與思考 4.3 Q2 (p.204)

弗林明左手定則 Fleming's left-hand rule　弗林明 John Ambrose Fleming

b 影響磁力的因素

哪些因素會影響作用於載電流長直導體的磁力大小？我們可以裝置**電流天平**來找出答案（圖 4.3b）。

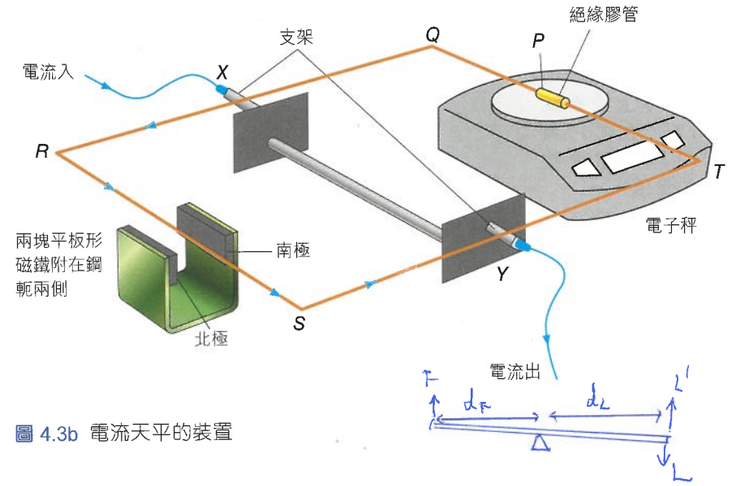


圖 4.3b 電流天平的裝置

矩形導線框 *QRST* 之中，除了絕緣膠管 *P* 之外，其餘部分由一條導線造成。導線框水平置於導電支架 *X* 和 *Y* 上，*P* 剛好輕輕觸碰到電子秤。兩塊平板形磁鐵產生了一個與 *RS* 段垂直的磁場。

支架 *X* 和 *Y* 接駁了直流電源，因此電流會由 *X* 流入，經 *R* 和 *S*，並由 *Y* 流出。根據弗林明左手定則，當電流從 *R* 流向 *S*，就會有一道向上的磁力 *F* 作用在 *RS* 段（圖 4.3c）。*F* 的量值可從電子秤的讀數計算得出。

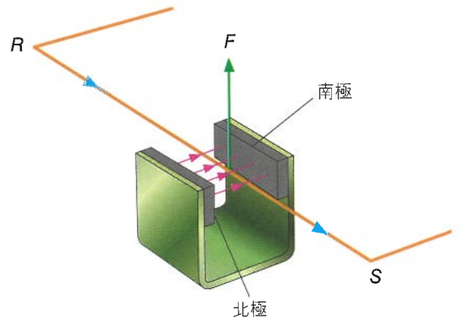


圖 4.3c 作用在 *RS* 段的磁力

利用這個裝置來做實驗，便可找出磁力與電流、磁場強度和磁場內導線長度的關係。

電流天平 current balance

錄像片段 4.7

→ 錄像片段 4.7 示範實驗 4e。

實驗 4e 電流對磁力的影響

1 如圖 a 所示裝置電流天平。

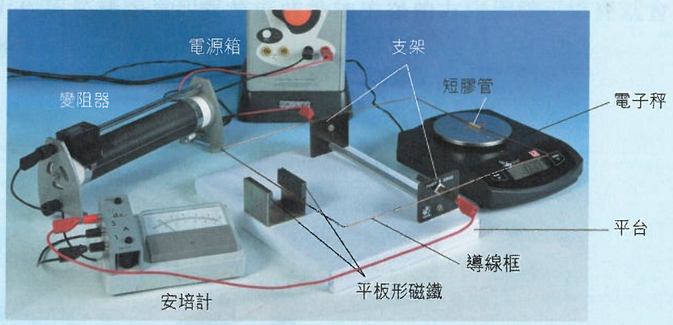


圖 a

2 開啟電源，調節變阻器以改變通過導線框的電流大小。找出磁力與電流之間的關係。

3 固定電流的大小，逐次加入一對平板形磁鐵來環繞導線框的載電流臂（圖 b）。找出磁力與磁場中導線長度之間的關係。

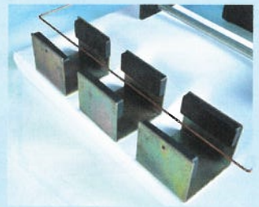


圖 b

注 意

1 確保導線框通電前在支撐架上保持水平，且短膠管剛好輕輕觸碰電子秤。如有需要，可用平台調節高度。

2 平板形磁鐵所產生的磁場應與電流方向垂直。

討 論

電流大小和磁場內的導線長度對磁力有甚麼影響？ 增強電流或增加磁場內導線的長度都會使磁力增強。

有些電子秤的讀數以克為單位，由於質量為 1 g 的物體在地球上的重量約為 0.01 N，所以只要乘以 0.01，即可把讀數轉換為力的量值。 ▶

錄像片段 4.8

→ 錄像片段 4.8 示範實驗 4f。

實驗 4f 磁場強度對磁力的影響

1 將實驗 4e 內的平板形磁鐵換成扁平螺線管（圖 a）。讓電流 I_s 通過螺線管以產生外加磁場，將導線框的載電流臂放入螺線管內。

2 讓大小固定的電流通過導線框。調節 I_s，找出作用於導線的磁力與外加磁場強度的關係。

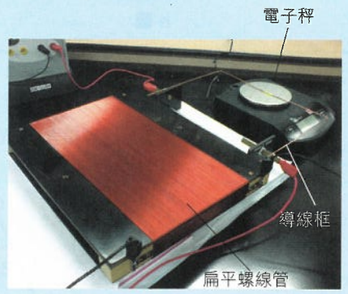


圖 a

討 論

磁場強度對磁力有甚麼影響？ 增強磁場會使磁力增強。

從以上實驗，我們得知：

作用在長直載電流導線的磁力 F 可用以下方法增加：

1 增大電流 I

2 增加在磁場中的導線長度 l

3 增強磁場 B

例題 8 用電流天平量度磁力

圖 a 所示的電流天平有一個質量為 5 g 的游碼，沒有電流通過時，游碼停在 P 點便可平衡導線框。現在，有 3 A 的電流沿 XY 方向流動，游碼須移到離 P 點 2.8 cm 處，導線框才會回復平衡。取重力加速度 $g = 9.81\ \text{m s}^{-2}$。

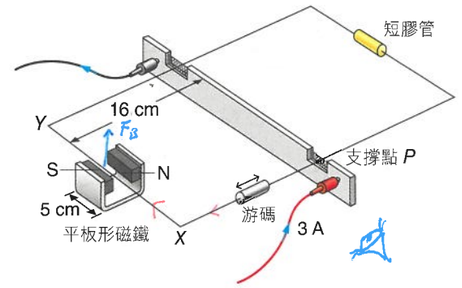
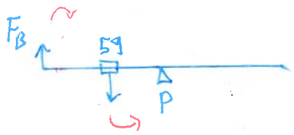


圖 a

(a) 游碼移向了哪個方向？

F-X (b) 求游碼對 P 點所作力矩的量值。

F-X (c) 求作用於導線框的磁力。



題 解

(a) 移向 X。

(b) 力矩 $= F \times d = mg \times d$

$= (0.005)(9.81) \times 0.028$

$= 1.373 \times 10^{-3} \approx 1.37 \times 10^{-3}\ \text{N m}$

(c) 設作用在導線框上的磁力為 F_B。

在平衡狀態下，

順時針合力矩 = 逆時針合力矩

$F_B \times 0.16 = 1.373 \times 10^{-3}$

$F_B = 8.58 \times 10^{-3}\ \text{N}$

$F = BIl$

$8.58 \times 10^{-3} = B \times 3 \times 0.05$

$B = 0.0572\ \text{T}$

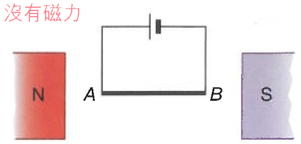
習題與思考 4.3 Q8 (p.206)

進度評估 5

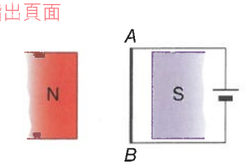
✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.185）。

1 導體 *AB* 接駁至電池組，並放在蹄形磁鐵的兩極之間。指出在下列情況，作用於 *AB* 磁力的方向。

(a) 沒有磁力



(b) 指出頁面



2 如圖 a 所示，一個載電流線圈置於磁場內，並與磁場垂直。線圈會有甚麼變化？

(A) 線圈會擴大
B 線圈會縮小
C 線圈會向左移
D 線圈會向右移

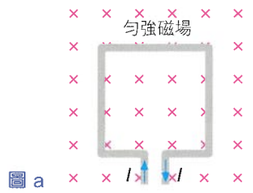


圖 a

c 計算作用於載電流長直導線的磁力

從實驗 4e 得知，磁場垂直於電流方向時，

$F \propto I$ （B 和 l 不變）..... (1)

$F \propto l$ （B 和 I 不變）..... (2)

從實驗 4f 得知，磁場垂直於電流方向時，

$F \propto B$ （I 和 l 不變）..... (3)

綜合以上三個比例關係，得出

$F \propto BIl$ 或 $F = k \times BIl$ ..... (4)

其中 k 是常數。

如果磁場以忒斯拉為單位，則 $k = 1$，因此 (4) 可寫成

$F = BIl$ （B 垂直於導線）

從這條方程可得出

$$B = \frac{F}{Il}$$

以及單位忒斯拉的定義：

1 T = 1 N A^{-1} m^{-1}

可重申電場強度的定義為作用於每單位電量的電力。同樣，把 $F = BIl$ 寫成 $B = \frac{F}{Il}$，便得出「磁場強度」的定義。物理學家把這個量稱為磁場或磁通量密度。

我們在第 2 冊單元 4.1 學過力的分解，磁場也可用類似的方法分解。

如果電流 I 的方向與磁場 B 並非互相垂直（圖 4.3d），則只有垂直於電流方向的磁場分量（即 $B \sin\theta$）才會產生磁力（圖 4.3e）。

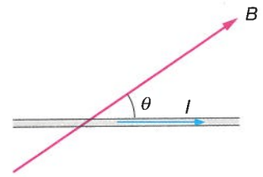


圖 4.3d 電流方向與磁場之間的夾角為 θ

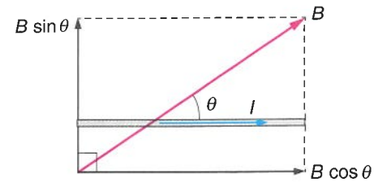


圖 4.3e 分解磁場 B

於是，作用於導線的磁力是

$F = (B \sin\theta) \times Il$

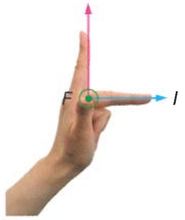
這條方程在 $\theta > 90°$ 時也適用。

$F = BIl \sin\theta$ （作用於載電流直導線）

當 B 與 I 互相平行，即 $\theta = 0°$ ($\sin\theta = 0$)，F 就等於零；當 B 與 I 互相垂直，即 $\theta = 90°$ ($\sin\theta = 1$)，F 就達至最大值。

我們仍可應用弗林明左手定則來確定磁力的方向，方法是把食指指向垂直於電流方向的磁場分量。

就圖 4.3e 而言，應用弗林明左手定則，可知道磁力是指出書頁的。



例題 9 計算磁力

圖 a 顯示一支垂直於勻強磁場的載電流棒，作用於棒的磁力是 F。現將棒轉動，直至它與磁場成 θ 角（圖 b）。這時，而作用於棒的磁力變成 $0.5F$。求 θ。

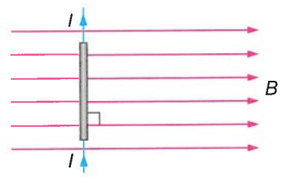


圖 a

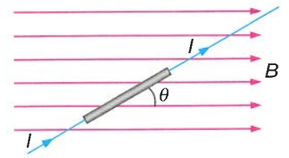


圖 b

題解

當棒與磁場互相垂直，

$F = BIl$

當棒與磁場成 θ 角，

$0.5F = BIl \sin\theta = F \sin\theta$

$\sin\theta = 0.5$

$\Rightarrow \quad \theta = 30°$

進度評估6 Q2 (p.194)

例題 10 向下滑的導體

圖 a 中，一支質量為 5 g 的導棒 PQ 沿兩條傾斜的平行導軌下滑。導軌相距 14 cm，並與水平成 40°角。導軌接駁到電池組後，有 0.2 A 的電流通過。整個裝置放在 0.01 T 的磁場中，磁場指向下。假設導棒下滑時一直與導軌保持垂直，且所有接觸面都是平滑的。

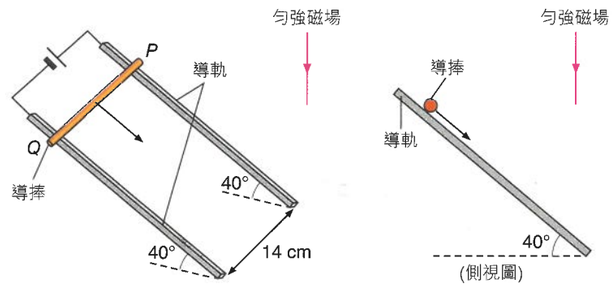


圖 a

(a) 求作用在導棒上磁力的方向和量值。

(b) 求導棒沿導軌下滑的加速度。取重力加速度 $g = 9.81\ \text{m s}^{-2}$。

題解

(a) 根據 $F_B = BIl$，

$$F_B = 0.01 \times 0.2 \times 0.14$$
$$= 2.8 \times 10^{-4}\ \text{N}$$

通過導棒的電流由 P 流向 Q，根據弗林明左手定則，磁力沿水平方向指向右。

(b) 圖 b 顯示導棒的隔離體圖。考慮力平行於軌道的分量，取沿軌道向下的方向為正。

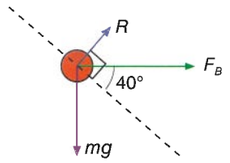


圖 b

$$ma = mg \sin 40° + F_B \cos 40°$$
$$a = g \sin 40° + \frac{F_B \cos 40°}{m}$$
$$= (9.81) \sin 40° + \frac{(2.8 \times 10^{-4}) \cos 40°}{0.005}$$
$$= 6.35\ \text{m s}^{-2}$$

複習 Q15 (p.220)

知道了磁力與電流之間的關係，便可以利用例題 11 所示的裝置來量度磁場。

實驗技巧應用

例題 11 量度磁場

學生以圖 a 所示的裝置做了一個實驗，以估算兩塊磁鐵之間的磁場。電子秤上放着鋼軛，鋼軛兩側各附有長 7 cm 的磁鐵 P 和 Q。一條導線懸掛在兩塊磁鐵之間，其中 XY 段長 5 cm。當大小不同的電流從 X 流向 Y，電子秤便得出不同的讀數。表 a 列出錄得的數據。

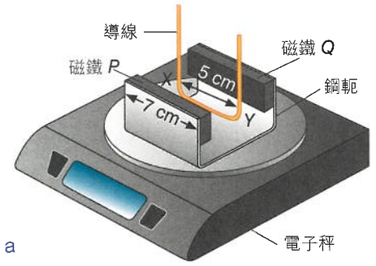


圖 a

表 a

電流 / A	電子秤讀數 / g
0	145.0
0.5	145.4
1.0	145.8
1.5	146.1
2.0	146.5

(a) 根據表 a 的數據，判斷電流通過導線時，作用在導線上磁力的方向。

(b) 應用弗林明左手定則，判斷磁鐵 P 內側的極性。

(c) 標繪合適的線圖，以估算磁鐵 P 和 Q 之間磁場的量值。取 1 g 相等於 0.01 N。

(d) 寫出兩個實驗時要注意的事項。

題解

(a) 電子秤讀數隨電流增大而增加，這結果顯示有一道向下的力作用在磁鐵。由於磁力與這道向下的力是作用力—反作用力對，因此作用於導線的磁力是向上的。

(b) 應用弗林明左手定則，磁場應由 P 指向 Q，所以 P 的內側是北極。

(c) 圖 b 是鋼軛連磁鐵的隔離體圖。

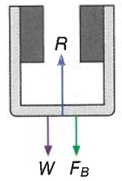


圖 b

$$R = F_B + W = BIl + W$$

此外，

R (單位為 N) = 電子秤讀數 (單位為 g) × 0.01 (單位為 N g^{-1})

$$\Rightarrow \text{電子秤讀數} = \frac{BIl + W}{0.01} = (100Bl)I + 100W$$

標繪電子秤讀數對電流 I 的關係線圖 (圖 c)。

線圖的斜率 $= 100Bl$

$$\therefore \quad B = \frac{\text{線圖的斜率}}{100l}$$
$$= \frac{146.3 - 145.0}{1.7 - 0} \times \frac{1}{100 \times 0.05} = 0.153\ \text{T}$$

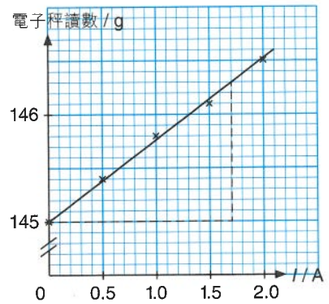


圖 c

(d) XY 段應完全放在兩塊磁鐵間的磁場範圍內。
磁場應與 XY 段互相垂直。

複習 Q32 (p.224)

進度評估 6

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.185）。

31 下列哪些改變會增加作用於導線的磁力（圖 a）？

(1) 增大 θ

(2) 倒轉電流的方向

(3) 倒轉磁場的方向

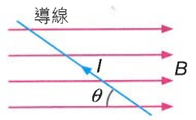


圖 a

(A) 只有 (1)　　B 只有 (1) 和 (2)

C 只有 (2) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

32 一條導線長 1.5 m，放在 0.2 T 的磁場中，通過導線的電流是 10 A。在下列情況，作用於導線的磁力是多少？

(a) 導線與磁場成 30° 的夾角 1.5 N　$F = BIl\sin\theta = 0.2 \times 10 \times 1.5 \sin 30°$

(b) 導線沿磁場方向放置 零

[提示：$F = BIl \sin\theta$ = ?]

→ 模擬程式 4.3 顯示揚聲器的運作原理。

生活中的物理　動圈式揚聲器

模擬程式 4.3

動圈式揚聲器內有一捆短線圈，可在圓柱形的永久磁鐵內自由移動，線圈中的導線垂直於磁場（圖 a）。交流電通過線圈時，電流方向不斷改變，推動線圈來回移動，線圈因而帶動紙盤振動，發出聲波。

圖 a 動圈式揚聲器

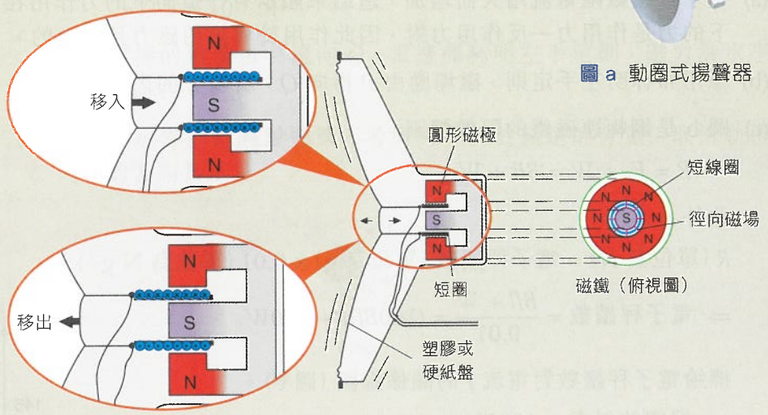


圖 b 揚聲器的運作原理

可着學生翻閱第135頁重溫交流電的定義，或參看單元6.1，自學有關內容。

2 平行導線之間的磁力

長直載電流導線 X 會在它的周圍建立磁場，當另一條長直載電流導線 Y 放近 X，Y 便會受到由 X 引起的磁力作用。反過來說，X 也會受到由 Y 引起的磁力作用。例題 12 展示怎樣找出兩條導線之間的磁力。

例題 12　平行導線的相互作用

兩條互相平行的長導線 X 和 Y 相距 0.1 m，分別載有 3 A 和 2 A 的電流。圖 a 是這兩條導線的截面圖。

取 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

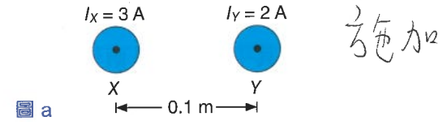


圖 a

(a) 通過導線 X 的電流會產生磁場，以致有磁力作用於導線 Y。試推斷這個磁力的方向。據此，判斷作用於兩條導線的磁力是吸力還是斥力。

(b) 由導線 X 產生的磁場，在導線 Y 的量值是多少？

(c) 導線 X 作用於導線 Y 每單位長度的磁力，量值是多少？

(d) 據此，導線 Y 作用於導線 X 每單位長度的磁力，量值是多少？

題解

(a) 在導線 Y 的位置，由導線 X 所產生的磁場指向上。應用弗林明左手定則，得出作用於導線 Y 的磁力指向導線 X（圖 b）。

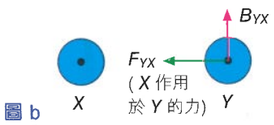


圖 b

同樣地，由導線 Y 作用於導線 X 的磁力指向導線 Y（圖 c）。因此，作用於兩條導線的磁力是吸力。

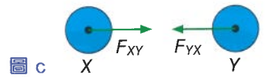


圖 c

(b) 磁場 $= \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r}$

$= \dfrac{(4\pi \times 10^{-7}) \times 3}{2\pi \times 0.1} = 6 \times 10^{-6}$ T

(c) 作用於導線 Y 每單位長度 (l = 1 m) 的磁力

$= BIl \sin 90°$

$= (6 \times 10^{-6}) \times 2 \times 1 \times 1 = 1.2 \times 10^{-5}$ N

(d) 作用於導線 X 每單位長度磁力的量值

= 作用於導線 Y 每單位長度磁力的量值

$= 1.2 \times 10^{-5}$ N

導線 X 內的電流所產生的磁場圖形，是以 X 為中心的同心圓，所以這個磁場在導線 Y 的位置是沿同心圓切線的方向指向上。

此處應用了牛頓運動第三定律。兩個磁力是作用力—反作用力對，兩者量值相同但方向相反。

進度評估7 Q2 (p.196)

歷史點滴

安培 (1775–1836)

安培發現兩條載電流導線之間有磁力，並推導出描述這個磁力的公式。

牛津物理網

兩線長直載電流平行導線之間的磁力可從以下兩式推導出來：

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} \quad 和 \quad F = B_1 I_2 l$$

我們得出

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$$

其中 I_1 和 I_2 是兩條導線中的電流，l 是導線的長度，r 是導線之間的距離。

因此，每單位長度的磁力是

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$ （兩條載電流導線之間）

如果**電流方向相同**，兩條載電流導線便會**互相吸引**；如果**電流方向相反**便會**互相排斥**（圖 4.3f）。我們要注意，這兩條導線上的力是作用力—反作用力對。

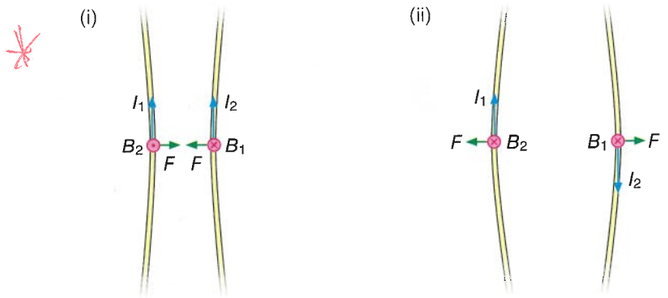


圖 4.3f 對於兩條長直平行導線並排放置，(i) 如果電流方向相同，兩者便相吸；(ii) 如果電流方向相反，兩者便相斥

進度評估 7

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.185）。

取 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

41 是非題：圖 a 中，兩條接駁交流電源的平行長導體 X 和 Y，總是互相排斥。 (對 / 錯)

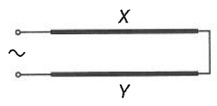


圖 a

42 圖 b 中，導線 P、Q 和 R 在同一平面上。導線 Q 和 R 作用在導線 P 上的每單位長度淨磁力是 1.8×10^{-6} N（向右）。求導線 Q 中電流的大小和方向。

[提示：$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$]

1.3 A（指入頁面）

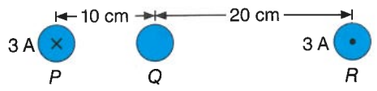


圖 b

安培 Andre-Marie Ampere

模擬程式 4.4

→ **模擬程式 4.4** 展示作用於載電流線圈兩邊的力和線圈的轉動效應。學生可改變電流的方向和磁極，以觀察線圈的變化。

3 線圈的轉動效應

考慮一個在勻強磁場中的矩形線圈（圖 4.3g），電流流過線圈時，線圈兩邊的電流方向是相反的。根據弗林明左手定則，線圈的一邊會被推向上，另一邊則會被推向下，這兩個力形成力偶，令線圈轉動。

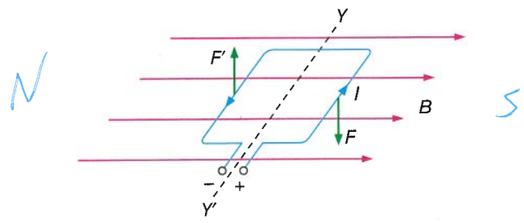


圖 4.3g 磁場內作用於載電流線圈的力

現在，試找出匝數為 N 的矩形線圈 $PQRS$ 所受的力矩（圖 4.3h）。線圈可沿軸 YY' 轉動，垂直於勻強磁場 B。線圈的長度是 l，闊度是 b，通過它的電流是 I。

圖 4.3i 顯示作用於線圈的磁力方向。線圈每轉一圈，作用於一邊（PS 或 QR）的磁力是

$$F = BIl \sin 90° = BIl$$

由於線圈有 N 匝，作用於線圈一邊的總磁力便是

$$F = NBIl$$

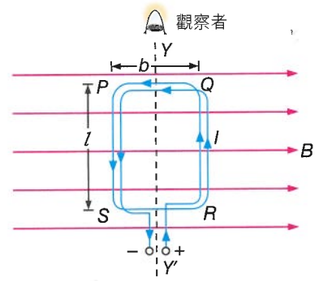


圖 4.3h 垂直於勻強磁場的矩形線圈

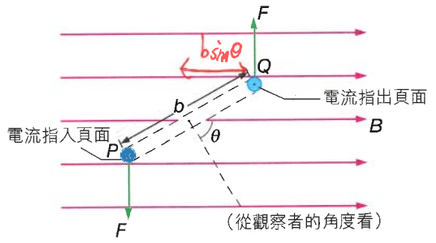


圖 4.3i 磁場內作用於轉動線圈的磁力

作用於 QR 和 PS 的磁力構成了一對力偶。詳情可參閱第 2 冊單元 5.1 (p.183)。

線圈的平面垂直於磁場時（即 $\theta = 0$），力矩最小。此時，仍有磁力作用於線圈，只不過力矩是零。

作用於 QR 和 PS 的磁力，量值相同但方向相反。若線圈沿 YY' 軸轉動，直至線圈的法線與磁場形成夾角 θ，那麼對 YY' 軸的力矩 τ 可以寫成：

$$\begin{aligned}\tau &= F \times \text{垂直距離} \\ &= NBIl \times b \sin\theta \\ &= BIAN \sin\theta\end{aligned}$$

其中 $A = bl$ 是磁場內線圈的面積。

F-X

例題 13 找出作用在線圈上的力矩

在 0.3 T 的勻強磁場中，有一個面積為 0.02 m^2、匝數為 100 的矩形線圈（圖 a）。通過線圈的電流是 0.4 A。

(a) 在圖 a 中標示線圈的轉動方向。

(b) 找出對線圈轉軸的力矩最大值，並指出當時線圈的方向。

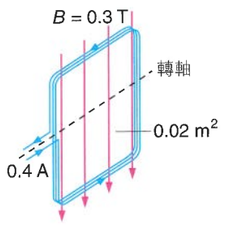


圖 a

題解

(a) 圖 b 顯示線圈的轉動方向。

(b) 當線圈的平面與磁場平行，力矩就達到最大值。

力矩 = $BIAN \sin 90°$

$= 0.3 \times 0.4 \times 0.02 \times 100 \times 1$

$= 0.24$ N m

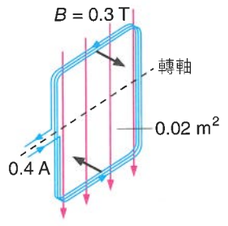


圖 b

進度評估 8 Q3 (p.198)

進度評估 8

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.185）。

5 1 在圖 a 中，用箭號標示出作用於導線的 *MN* 段和 *OP* 段的磁力方向。

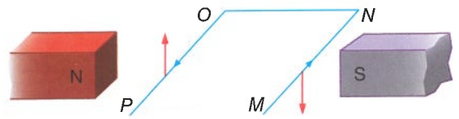
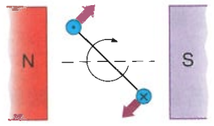


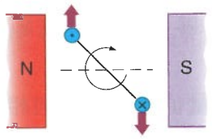
圖 a

5 2 線圈在磁場中轉動。下列哪幅圖正確顯示作用於線圈的磁力（以粗箭咀顯示）？

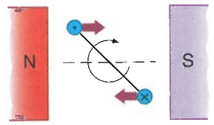
A



B



C



D 以上皆不是

5 3

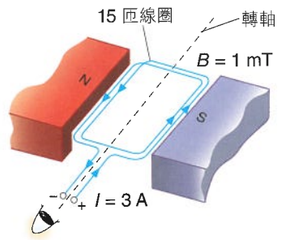


圖 b

順時針方向

(a) 指出圖 b 中觀察者看到線圈沿哪個方向轉動。

(b) 圖 b 中的線圈長 16 cm 闊 12 cm。試找出在下列情況，磁力沿轉軸作用於線圈的力矩：

(i) 線圈平面與磁場平行（圖 c）

(ii) 線圈的法線與磁場形成 60° 的夾角（圖 d）

(i) 8.64×10^{-4} N m (ii) 7.48×10^{-4} N m

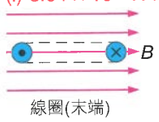


圖 c

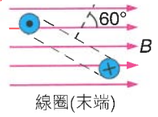


圖 d

部分學生或未能把圖中的內容想像成實際情況。以紙盒（代表磁鐵）及間尺（代表線圈）來製作模型，或能幫助學生理解。

4 電動機

電動機是電器產品常見的配件，它利用線圈的轉動效應，把電能轉換成動能。

電動機能夠連續不斷地轉動。圖 4.3j 所顯示的簡單裝置類似電動機，但卻無法不斷轉動。以下部分會解釋原因。

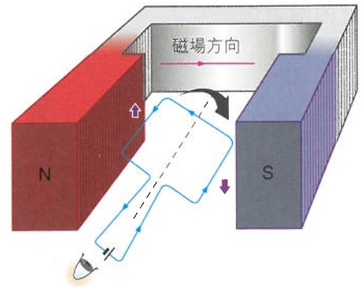


圖 4.3j 在磁場內的簡單線圈不能持續地轉動

參看圖 4.3k。開始時，線圈與磁場平行（①），並以順時針方向轉動（②）。到達垂直位置時（③），作用於線圈兩邊的磁力處於同一直線，兩者互相抵銷，轉動效應因而消失。然而，線圈因受慣性影響而繼續轉動，並衝過垂直位置。這時，轉動效應逆轉，線圈往反方向轉動（④），又再衝過垂直位置。線圈最終擺動數次，然後在垂直位置停下，不能持續轉動。

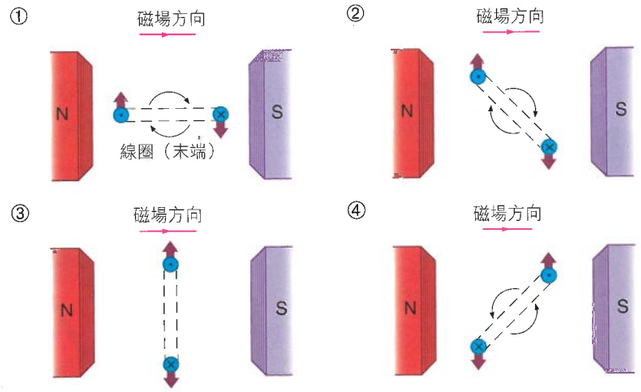


圖 4.3k 線圈在磁場內的轉動效應

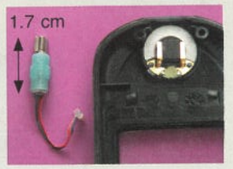
教授本頁的內容後，可鼓勵學生列出這個設計的問題，引導他們找出以下兩個重點：

1 線圈不能360° 轉動。

2 即使線圈能360° 轉動，導線也會纏繞在一起。

生活中的物理 長伴身邊的電動機

幾乎所有人每天都隨身帶着一台電動機，你知道原因嗎？右圖是一個從流動電話拆下來的振動器——基本上它就是一台電動機。



電動機 electric motor

a 簡單直流電動機的結構

怎樣才能使載電流線圈在磁場中不停轉動？原來，電動機都加入了一個獨特的設計來達到這個目的。

錄像片段 4.9

→ 錄像片段 4.9 示範實驗 4g。

實驗 4g 簡單電動機

1 如圖 a 所示製作一台簡單的電動機。

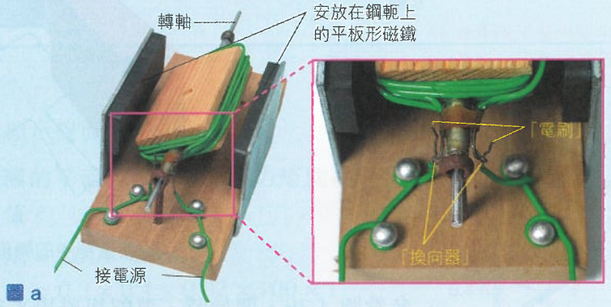


圖 a

2 把「電刷」連接到直流電源。開啟電源，如有需要，輕推木塊一下來幫助它轉動。觀察電動機的轉動效應。

討論

線圈轉動一周，通過它的電流會怎樣流動？ 木塊每轉動半圈，電流便改變方向一次。

圖 4.3l 顯示一台簡單的直流電動機，部件包括一個多匝的線圈，這個線圈安裝在兩個不同磁極之間，可繞轉軸轉動。

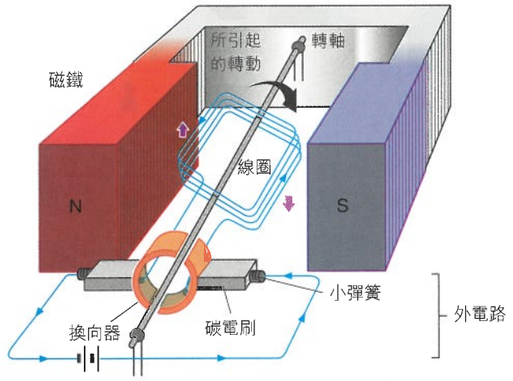


圖 4.3l 簡單直流電動機

電流經一對**碳電刷**進出線圈。兩個彈簧把碳電刷輕輕壓往**換向器**（或稱半圓環）；換向器則固定在線圈上，隨線圈一起轉動。換向器就是令線圈能持續不停地轉動的特別裝置。

碳電刷 carbon brush　　換向器 commutator

模擬程式 4.5

→ 模擬程式 4.5 讓學生改變電流大小、線圈匝數和磁鐵強度，並觀察電動機的轉動效應怎樣受到影響。

b 直流電動機的原理

在圖 4.3m 中，當電流通過線圈，線圈便以順時針方向轉動。每次線圈因慣性而衝過垂直位置時，換向器便交換所接觸的碳電刷，進出線圈的電流因而轉向。於是，作用在線圈上的磁力也轉向，使線圈沿原來的方向繼續轉動，結果線圈就能持續轉動。

換向器有一個缺點，就是在轉動時，它與碳電刷的接觸點或會產生火花，令部件容易耗損。

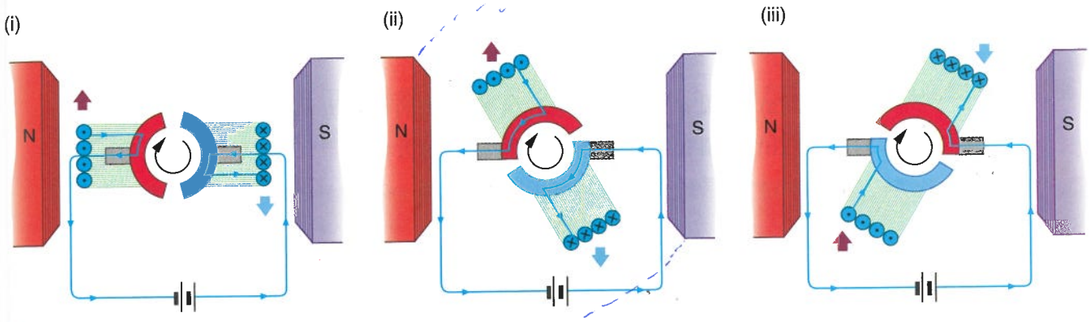


圖 4.3m 線圈每轉動半圈，換向器就使電流轉向一次

例題 14 線圈的轉動

圖 a 所示的載電流線圈由絕緣銅線製成，置於磁鐵南北兩極之間，繞虛線所示的轉軸轉動。

(a) 指出作用於線圈 *AB* 和 *CD* 兩邊磁力的方向。

(b) 為甚麼沒有磁力作用於 *BC* 那邊？

(c) 試描述線圈的運動。

(d) 若要把裝置改成電動機，要怎樣改動裝置？

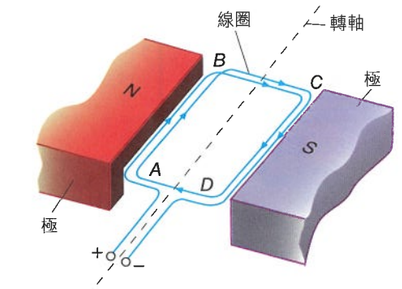


圖 a

題解

(a) 作用於 *AB* 那邊的磁力向下，作用於 *CD* 那邊的磁力向上。

(b) 因為通過 *BC* 的電流與磁場平行。

(c) 開始時，線圈從水平位置轉動四分之一圈至垂直位置，再擺動數次後就停下來。

(d) 線圈兩端要先接入換向器和一對碳電刷，然後才連接到電源。

智題與思考 4.3 Q11 (p.206)

例題 15 電池車

學生用一顆乾電池、一條導線和兩塊圓形磁鐵 X 和 Y，製作**起點**提及的電池車（圖 a）。導線上的 A、B 兩點總是位於磁鐵的最高位置。

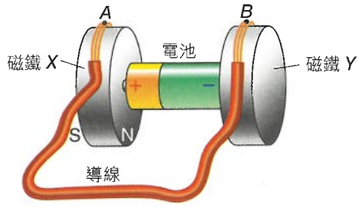


圖 a

(a) 在圖 a 繪出乾電池與 A 點之間的電流方向。

(b) 在圖 a 繪出作用於 A 點磁力的方向。

(c) 如果磁鐵 X 和 Y 向同一方滾動，磁鐵 Y 的內側是南極還是北極？

題解

(a)、(b) 電流和磁力的方向如圖 b 所示。

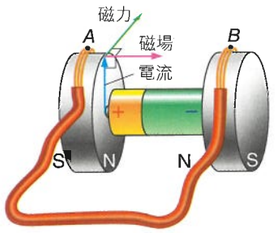


圖 b

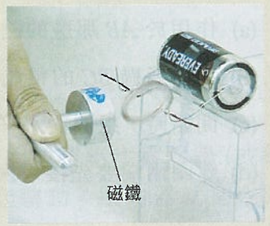
(c) 如果磁鐵 X 和 Y 向同一方滾動，作用於 A、B 兩點的磁力方向相同。另外，電流由 B 點向下流向乾電池，根據弗林明左手定則，由磁鐵 Y 所產生的磁場指向乾電池，因此磁鐵 Y 的內側是北極。

習題與思考 4.3 Q10 (p.206)

物理 DIY 簡單電動機

把載電流線圈放在永久磁鐵旁邊，線圈會受磁力的作用而轉動。看，用這麼簡單的方法，便製成一台電動機了！

牛津物理網



c 實用電動機

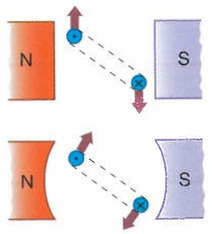
很多電動的機械及家用電器都安裝了電動機（圖 4.3n）。

圖 4.3n 電動機在日常生活中的應用

實用電動機內有多捆線圈，每捆沿不同角度設置，全都圍繞着一個稱為電樞的軟鐵心，而每捆線圈都有獨立的換向器（圖 4.3o）。

圖 4.3o 拆開手提電風扇的電動機

比較平面磁鐵和曲面磁鐵：



- 實用電動機使用曲面磁鐵而不是平面磁鐵，於是線圈與磁場能**大部分時間**都保持平行（圖 4.3p），轉動效應因而加強。

  圖 4.3q 顯示實用電動機運作時，每個時刻至少都有一捆線圈提供轉動力，因此電動機可轉動得更平穩，轉動效應亦更強。

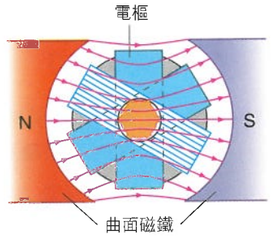


圖 4.3p 線圈與磁場大部分時間都保持平行

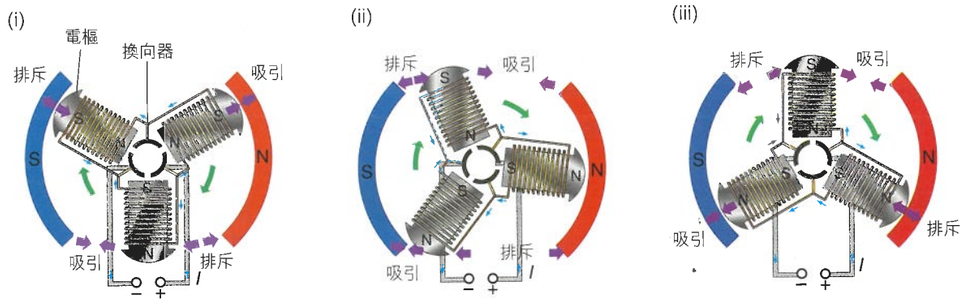


圖 4.3q 實用電動機的運作原理

總括而言，電動機的轉動效應可用以下方法加強：

1. 增大電流
2. 增加線圈的匝數
3. 增大線圈（在磁場中）的面積
4. 增強磁場
5. 用曲面磁鐵取代平面磁鐵
6. 改用有多捆線圈的軟鐵電樞

F-X 首四點可從方程 $\tau = BIAN \sin\theta$ 得出。

圖 4.3r 電鑽的電動機使用電磁鐵

有些電動機以電磁鐵取代永久磁鐵（圖 4.3r），故此可用交流電來驅動。交流電改變方向時，磁場的方向也相應改變，因此電動機能沿同一個方向不停地轉動。

可詳細講解線圈面積這一因素：面積為長度和闊度的乘積，增加導線長度會加大磁力，增加線圈闊度會令磁力作用於線圈（與軸相距）的距離增加。

進度評估 9

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.185）。

6 **1** 實用電動機能平穩地轉動，原因是

A 線圈的匝數很多。
B 線圈繞在軟鐵電樞上。
(C) 電樞有數捆不同角度的線圈。
D 使用了電磁鐵而非永久磁鐵。

6 **2** 交流電動機和直流電動機的主要分別在於使用

A 軟鐵心而非木心。
B 數捆線圈而非單一捆線圈。
C 多於一個換向器。
(D) 電磁鐵而非永久磁鐵。

習題與思考 4.3

除特別指明外，地球磁場的影響可略去不計。

取 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

6 **1** 下列哪些敍述能正確地描述簡單電動機和實用電動機的分別？

(1) 簡單電動機用平面磁鐵，實用電動機則用曲面磁鐵。
(2) 實用電動機有多於一捆線圈。
(3) 簡單電動機沒有換向器。

A 只有 (1)　(B) 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)　D (1)、(2) 和 (3)

2 **2** 圖 a 顯示兩條筆直的載電流導線 X 和 Y，導線 Y 水平擺放，導線 X 則垂直擺放。

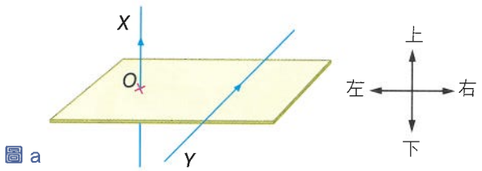


圖 a

由導線 Y 作用於 O 點的磁力指向哪一個方向？

A 向上　B 向左
C 向右　(D) 沒有磁力

2 **3** 圖 b 顯示兩條筆直的平行導線 Y 和 Z 的截面。兩條導線的電流都指入書頁。

圖 b

下列哪一幅圖正確地描述作用於兩條導線的磁力？

(A)

B

C

D

6 **4** 圖 c 顯示一個直流電動機的部分結構。若要確保線圈只向一個方向轉動，區域 A 應接上甚麼元件？

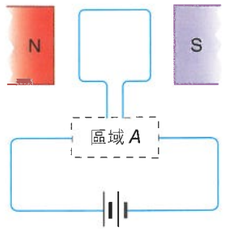


圖 c

(1) 一對碳電刷
(2) 一捆線圈
(3) 一個換向器

A 只有 (1)
(B) 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

2 ★ **5** 導線 P、Q、R 和 S 如圖 d 所示放置，組成一個正方形。通過它們的電流大小相同但方向不同。導線 Q、R 和 S 作用於導線 P 的淨磁力指向哪一個方向？

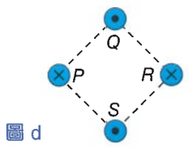


圖 d

A 向上　B 向下
(C) 向左　D 向右

★ 5 **6** 圖 e 顯示一個簡單的直流電動機，正方形線圈的邊長是 x cm，磁極的闊度也是 x cm。

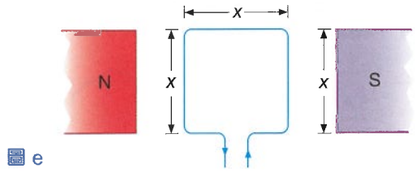
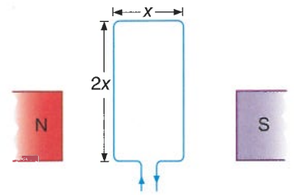
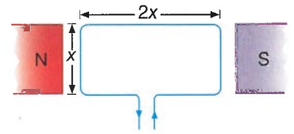
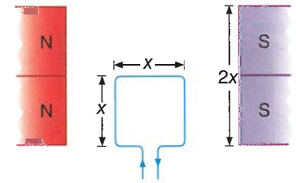


圖 e

下列哪些改動能加強線圈的轉動效應？

(1)


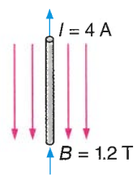
(2)


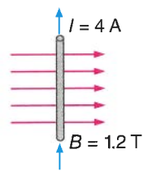
(3)


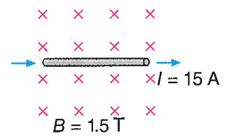
(A) 只有 (2)　B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)　D (1)、(2) 和 (3)

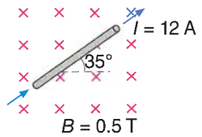
Q7 (a) 零
(b) 0.96 N（指入頁面）
(c) 4.5 N（向上）
(d) 1.2 N（與導線垂直並指向左上方）
(e) 1 N（指入頁面）
(f) 5.06 N（指入頁面）

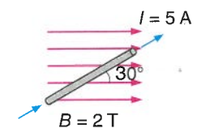
F-X 3 **7** 在下列各情況，找出作用於導體的磁力的量值和方向。導體在磁場中的長度都是 0.2 m。

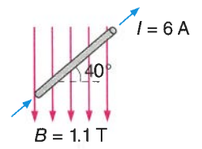
(a)


(b)


(c)


(d)


(e)


(f)


F-X **8** 2, 3 圖 f 顯示一個電流天平。通電前，導線框無需游碼便已處於平衡狀態。當 5 A 的電流由 *Y* 流向 *X*，質量為 2 g 的游碼須置於與支撐點相距 1 cm 的位置，導線框才可回復平衡。

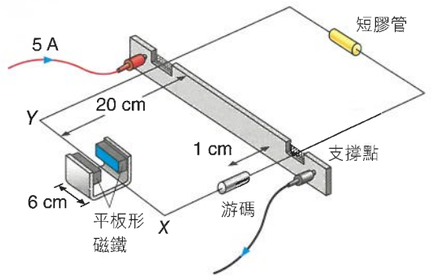


圖 f

(a) 參閱圖中兩塊平板形磁鐵，試判別塗上藍色一面的極性。南極

(b) 求兩塊磁鐵之間的磁場量值。取重力加速度 $g = 9.81\ m\ s^{-2}$。$3.27 \times 10^{-3}\ T$

★ **9** 1, 2, 3 一條載電流導線置於磁鐵兩極之間（圖 g）。

圖 g

(a) 試在圖 g 標示出作用於導線的磁力的方向。

F-X (b) 把磁鐵放在磅上。已知通過導線的電流是 3 A，磁鐵兩極之間的磁場強度是 0.4 T，磅的讀數是 120 g。試估算磁鐵的質量。114 g

(c) 下列改變會對磁力造成甚麼影響？

(i) 增大電流 量值增加

(ii) 對調磁鐵的極性 方向相反

★ **10** 5, 6 圖 h 顯示一個線圈的末端，線圈可在磁場中自由轉動。

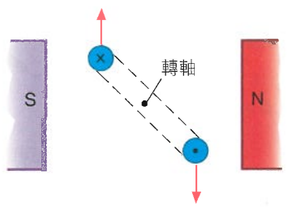


圖 h

(a) 在圖 h 中標示出作用於線圈兩邊的磁力方向。

F-X (b) 繪出線圈在下列情況的位置：

(i) 轉動效應最強

(ii) 轉動效應為零

比較對轉軸的力矩，從而解釋你的答案。

(c) 舉出一種加強線圈轉動效應的方法。

6 ★ **11** 圖 i 顯示一台接駁了電池組的電動機。

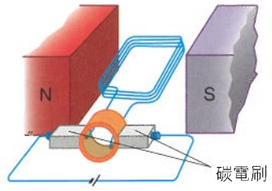


圖 i

(a) 試解釋這台電動機為甚麼不能運作。

(b) 怎樣才能改善電動機的設計，使它正常運作？

(c) 增加線圈的匝數，對線圈的轉動效應有甚麼影響？ 增強

4 ★ F-X **12** 三條長直平行導線 *P*、*Q* 和 *R* 排列成一個等腰直角三角形（圖 j），每條載有 2 A 電流。

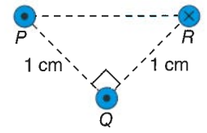


圖 j

(a) 找出導線 *P* 和 *R* 作用於導線 *Q* 每單位長度的合磁力。1.13×10^{-4} N（向左）

(b) 現在移除導線 *P* 和 *R*，並在距離導線 *Q* 的 1 m 處放置長直導線 *S*。假設改變後，作用於導線 *Q* 的磁力和 (a) 部的結果一樣。

(i) 求通過導線 *S* 的電流大小。283 A

(ii) 指出導線 *S* 的電流方向。它可以放置在哪個位置？

6 ★ **13** (a) 下列改動可以加強電動機線圈的轉動效應：

(i) 增大電流

(ii) 增加線圈的匝數

(iii) 增大線圈的面積

以上每項改動可能引致甚麼弊處？試各舉一項。

(b) 電動機使用電磁鐵比使用永久磁鐵有甚麼優勝之處？試舉一項。

F-X

4.4 作用於移動電荷的磁力

✔ 本節重點
1 作用於移動電荷的磁力
2 在電場和磁場內的移動電荷

起 點 質譜儀

下圖所示的巨型機器佔據了整個房間！這個稱為質譜儀的龐然大物，用途竟是量度微小帶電粒子的質量。你知道台機器怎樣運作嗎？

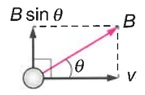
參看第212頁補充資料。

1 作用於移動電荷的磁力

單元 4.3 提到，磁場內的載電流導體會受到磁力作用。由於電流是流動的電荷，電流所感受的磁力，其實是作用於每個移動電荷的力的總和。

設電荷 Q 以速度 v 於勻強磁場 B 內移動，移動方向與磁場方向互相垂直，Q 所感受到的磁力 F 是

$$F = BQv$$



▶ 如果電荷的移動方向與磁場並非互相垂直，兩者形成夾角 θ，那麼在計算磁力 F 時就只須考慮與移動方向垂直的磁場分量（即 $B \sin \theta$）。

當 v 和 B 互相垂直，即 $\sin \theta = 1$，作用於移動電荷的磁力就是

$F = BQv$

$$F = BQv \sin \theta \quad \text{（作用於移動電荷）}$$

利用弗林明左手定則可找出磁力的方向。正電荷移動方向與電流方向相同，負電荷則相反（圖 4.4a）。

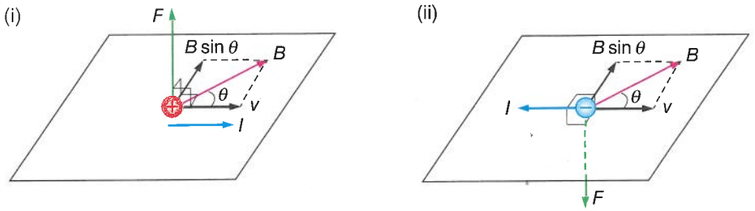


圖 4.4a (i) 正電荷和 (ii) 負電荷上 *F*、*B* 和 *v* 的方向

F.X Ext

進度評估 10

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.207）。

1 1 某電荷的移動方向與磁場互相垂直。在哪個情況下，作用於該電荷的磁力會增加？

(1) 電量增加 ✗
(2) 電荷加快移動 ✓
(3) 磁場強度增加 ✗

A 只有 (1) 和 (2)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

1 2 電量為 1.60×10^{-19} C 的質子以 1.40×10^{7} m s^{-1} 的速率移動，並以 45° 角進入 8.5 mT 的勻強磁場（圖 a）。求在圖示一刻，磁力的量值和方向。
[提示：$F = BQv \sin\theta$ = ?]

1.35×10^{-14} N（指出頁面）

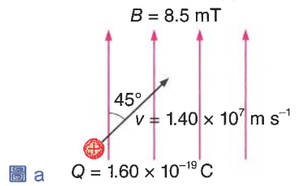


圖 a

2 移動電荷在勻強磁場內的運動

單元 1.2 解釋過帶電粒子怎樣在電場內移動，以下部分會討論帶電粒子怎樣在磁場內的移動。在以下討論中，除非特別指明，否則我們不考慮重力的影響。

a 磁場內的移動電荷

設粒子的質量為 m、電荷為 Q，它以初速度 v 垂直進入勻強磁場 B 後，所受的磁力 F 量值恆定不變（$= BQv$），而且總與粒子的運動方向互相垂直（圖 4.4b）。

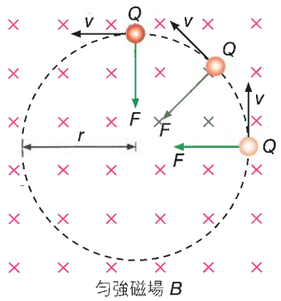


圖 4.4b 帶電粒子在勻強磁場中作圓周運動

磁力提供了向心力，讓粒子作勻速圓周運動。因此，

$$BQv = \frac{mv^2}{r}$$

其中 r 是圓形路徑的半徑。

如果帶電粒子的移動方向平行於勻強磁場，它所受到的磁力會是零。粒子會以恆速度沿直線移動。

例題 16 磁場中帶電粒子的運動

參看圖 4.4b（見 p.208）。粒子的質量為 6.64×10^{-27} kg，電荷為 $+2e$，初速度為 $0.001c$，磁場強度為 0.4 T。

取 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C，$c = 3.00 \times 10^{8}$ m s^{-1}。

(a) 試計算圓形路徑的半徑。
(b) 粒子繞一周，需時多久？
(c) 試解釋磁場有沒有對粒子作功。

題解

(a) 根據 $BQv = \frac{mv^2}{r}$，

$$r = \frac{mv}{BQ}$$

$$= \frac{(6.64 \times 10^{-27})(0.001 \times 3.00 \times 10^{8})}{(0.4)(2 \times 1.6 \times 10^{-19})} = 0.0156 \text{ m} = 1.56 \text{ cm}$$

(b) 根據 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 和 $r = \frac{mv}{BQ}$，

圓周運動的週期 T 並不受 v 和 r 影響。速率較高的粒子會沿軌跡半徑較大的路徑移動，但週期維持不變。

$$T = \frac{2\pi m}{BQ}$$

$$= \frac{2\pi(6.64 \times 10^{-27})}{(0.4)(2 \times 1.60 \times 10^{-19})} = 3.26 \times 10^{-7} \text{ s}$$

粒子繞一周，需時 3.26×10^{-7} s。

(c) 磁場並沒有對粒子作功，原因是作用於粒子的磁力總與粒子的移動方向互相垂直。

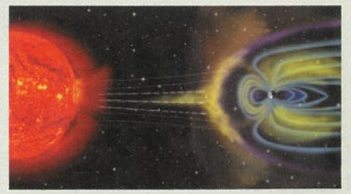
所作的功 $= Fs\cos\theta$，而在題目描述的情況下，$\theta = 90°$。

如有需要可參閱第 2 冊單元 6.1 (p.210)。

進度評估11 Q1 (p.213)

生活中的物理 隔離宇宙射線的天然保護罩

太陽及其他星體每秒鐘都不斷放出高能量的帶電粒子。這些帶電粒子構成宇宙射線。全靠地球的磁場，才能使這些有害的射線偏轉，遠離地球。



以下網址載有一段動畫，展示太陽風衝擊地球的磁層，產生極光的現象。

http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/Movies/animation/Solarwind.mpg

F-X Ext

補充資料

電子電量和質量的比例

1897 年，科學家對電子的認識還很少，**湯姆生**根據陰極射線的偏轉，找出了電子電量和質量的比例（*e*/*m* 比）。他對陰極射線同時施加電場和磁場，讓射線保持筆直（參看 p.213 例題 18）。*e*/*m* 比是一項十分重要的發現，因為電子的質量難以直接量度，但卻可以從 *e*/*m* 比間接得出結果。

例題 17 電子束的圓周運動

電子槍具有電勢差 V，能把電子由靜止狀態加速至 v（圖 a）。電子隨後進入磁場 B，並作半徑為 r 的圓周運動（圖 b）。每粒電子的電量和質量分別是 $-Q$ 和 m。

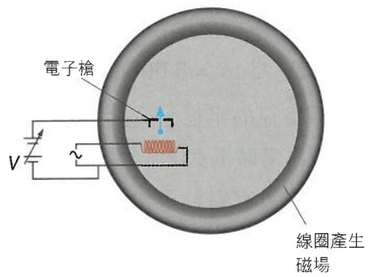


圖 a

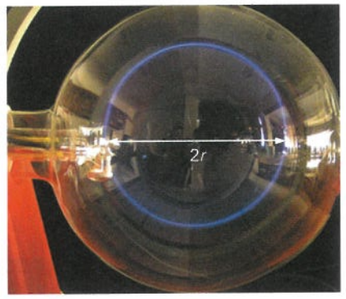


圖 b

(a) 以 Q、V 和 m，寫出 v 的表達式。磁場在電子槍內的作用可略去不計。

(b) 估算電子電量和質量的比例（Q/m）。已知電子槍的電勢差是 2.5 kV，磁場是 5 mT，圓形路徑的直徑是 6.7 cm。

題解

(a) 對於每一粒經電子槍加速的電子，

失去的電勢能 = 獲得的動能

$$QV = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

$$v = \sqrt{\frac{2QV}{m}}$$

參閱單元 1.2 (p.32)：
$E = \frac{V}{d}$ 且電勢能 = qEd
⇒ 電勢能 = qV

(b) 向心力由磁力提供：

$$BQv = \frac{mv^2}{r}$$

$$\Rightarrow \quad v = \frac{BQr}{m}$$

把結果代入 (a) 部的答案，

$$\sqrt{\frac{2QV}{m}} = \frac{BQr}{m}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{Q}{m} = \frac{2V}{B^2r^2}$$

$$= \frac{2(2.5 \times 10^3)}{(5 \times 10^{-3})^2\left(\frac{1}{2} \times 6.7 \times 10^{-2}\right)^2} = 1.78 \times 10^{11} \text{ C kg}^{-1}$$

若已知磁場的大小，則可量度圓形路徑的半徑，從而估算出電子電量和質量的比例。

習題與思考 4.4 Q5 (p.214)

湯姆生 J. J. Thomson

F-X Ext

預試訓練 1 移動電荷在磁場內的路徑

☆ 香港中學文憑考試2013年卷一乙部 Q4

電量為 $+2e$ 的粒子在勻強磁場內作勻速圓周運動，圖 a 顯示粒子的移動路徑。AB 是半徑為 r 的半圓形路徑，粒子在 A 點的速率是 1.40×10^7 m s^{-1}。重力的作用可略去不計。取 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C。

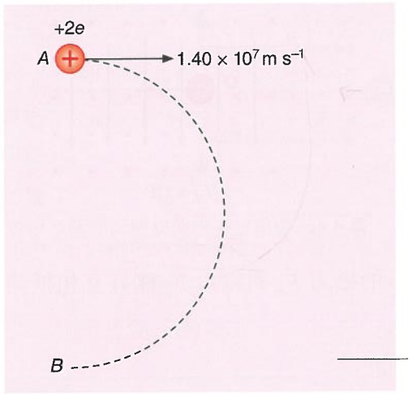


圖 a

(a) 粒子在磁場內所受的磁力為 2×10^{-14} N。求磁場的量值和方向。（3 分）

(b) 粒子在 B 點的速率是多少？試簡單解釋原因。（3 分）

(c) 如果 r 的大小增加至原來的兩倍，粒子在 A 點的速率是多少？（2 分）

題解

(a) 根據 $F = BQv$， *1M*

$$B = \frac{F}{Qv} = \frac{2 \times 10^{-14}}{(2 \times 1.60 \times 10^{-19})(1.40 \times 10^7)}$$

$= 4.46 \times 10^{-3}$ T *1A*

根據弗林明左手定則，磁場應指出書頁。 *1A*

粒子帶正電，因此粒子的移動方向就是電流的方向。

(b) 粒子在 B 點的速率是 1.40×10^7 m s^{-1}。 *1A*

因為磁力的方向總是與粒子的移動方向垂直，所以磁力沒有對粒子作功。 *1A*

粒子的動能不變，因此速率也維持不變。粒子在 B 點的速率與在 A 點時相同。 *1A*

(c) 根據 $BQv = \frac{mv^2}{r}$，

$$r = \frac{mv}{BQ}$$

當 r 增至原來的兩倍，v 也要增至原來的兩倍。 *1M*

∴ 粒子在 A 點的速率 $= 2 \times 1.40 \times 10^7$

$= 2.80 \times 10^7$ m s^{-1} *1A*

複習 Q33 (p.225)

b 在電場和磁場中的移動電荷

考慮電量為 Q 的粒子，以速度 v 在磁場 B 和電場 E 中移動。v、B 和 E 互相垂直（圖 4.4c）。

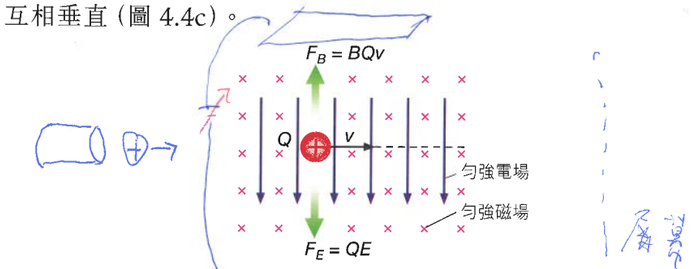


圖 4.4c 帶電粒子經過磁場和電場互相垂直的區域

作用於粒子的磁力 F_B 與電力 F_E 剛好互相抵銷時，粒子便會沿直線前進。

$$F_E = F_B$$
$$QE = BQv$$

當 E 和 B 固定不變，只有以特定速度 v 移動的粒子才能夠穿過磁場和電場的範圍而不會偏轉。

$$v = \frac{E}{B}$$

如果粒子的速度太低，它所受的電力便大過磁力，因而會向下偏轉（圖 4.4d(i)）。相反，如果速度太高，粒子便會向上偏轉（圖 4.4d(ii)）。

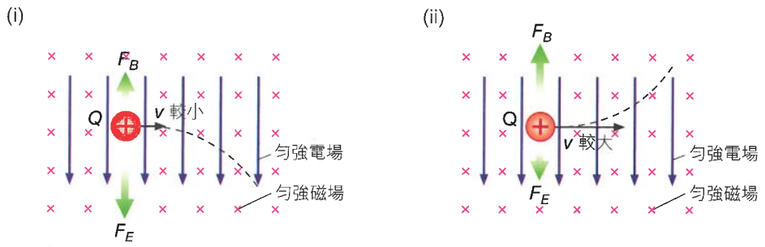
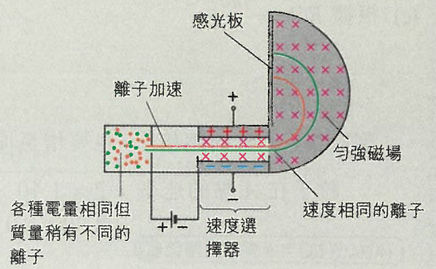


圖 4.4d 帶電粒子移動得 (i) 太慢會向下偏轉，(ii) 太快則會向上偏轉

補充資料 質譜儀

起點提及了質譜儀，右圖顯示這台儀器的基本結構。儀器注入了不同的離子，它們的電量相同，但質量略有分別。離子會先進入速度選擇器，當中的電場和磁場互相垂直。只有特定速度的離子才可通過選擇器，並進入一個勻強磁場。因為離子有不同的質量，所以會沿不同半徑的圓形路徑移動 ($r = mv/BQ$)，最終撞擊感光板的不同位置，各離子的質量便可由半徑推算出來。得知質量，就能辨別各種離子。有些質譜儀內的磁場覆蓋範圍很大，儀器因而有較高的靈敏度，但同時體積也變得十分巨大。



例題 18 在磁場和電場中的電子

如圖 a 所示，一粒電子以 1.88×10^7 m s^{-1} 的速率水平飛向兩塊平行金屬板，兩塊板之間有一個 6 mT 的勻強磁場。已知電子的電量為 -1.60×10^{-19} C。

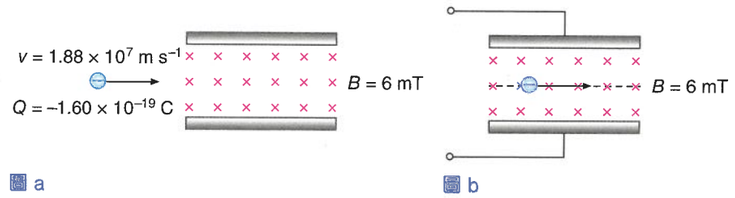


圖 a　圖 b

(a) 電子剛進入磁場時，作用於電子的磁力指向哪個方向？

(b) 兩塊板之間施加了一個電壓（圖 b），讓電子的路徑保持水平。求作用於電子的電力。

題解

(a) 電流的方向與電子的前進方向相反。根據弗林明左手定則，作用於電子的磁力指向下。

(b) 作用於電子的磁力
$= BQv \sin\theta$
$= (6 \times 10^{-3})(-1.60 \times 10^{-19})(1.88 \times 10^7)(\sin 90°) = -1.80 \times 10^{-14}$ N

作用於電子的電力與磁力量值相等，但方向相反，因此是 1.80×10^{-14} N（向上）。

進度評估 11 Q2 (p.213)

哪一塊是正極金屬板？ ▶ 上方那一塊

進度評估 11

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.207）。

2 1 如圖 a 所示，一粒電子以 1.75×10^6 m s^{-1} 的速率進入 0.2 mT 的勻強磁場，電子的移動方向垂直於磁場。電子的電量為 -1.60×10^{-19} C，質量為 9.11×10^{-31} kg。

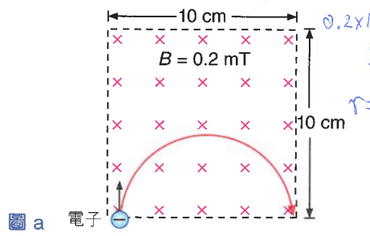


圖 a

(a) 電子在磁場內的圓形路徑，半徑是多少？4.98 cm

(b) 草繪電子在磁場內的路徑。

2 2 參看圖 b。各帶電量 $+2e$ 的離子 X 和 Y，以不同的速率沿水平方向進入速度選擇器之後，會怎樣移動？試簡單解釋原因。取 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C。

[提示：$E = \frac{V}{d}$] X 向下偏轉，Y 沒有偏轉且通過速度選擇器。

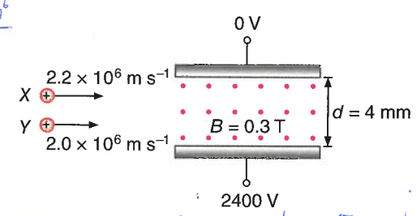


圖 b

F.X Ext

習題與思考 4.4

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.207）。

除特別指明外，重力的影響可略去不計。

1 1 如圖 a 所示，電量為 $+e$ 的粒子在磁場 B 內作勻速圓周運動。

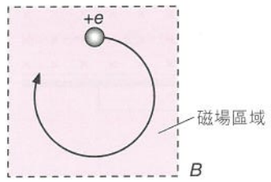


圖 a

下列哪些敘述是正確的？

(1) 粒子移動所產生的電流以順時針方向流動。

(2) 磁場指出頁面。

(3) 在粒子經過的範圍，磁場是勻強的。

A 只有 (2)　　B 只有 (3)

C 只有 (1) 和 (2)　　(D) (1)、(2) 和 (3)

1 2 在磁場內移動的電荷受磁力作用。下列哪些敘述是正確的？

(1) 電荷的移動方向必定垂直於磁場。

(2) 作用在電荷的磁力必定與電荷的移動方向互相垂直。

(3) 電荷正在加快移動。

A 只有 (1)　　(B) 只有 (2)

C 只有 (2) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

★ 3 2

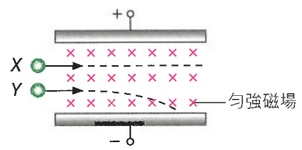


圖 b

帶電粒子 X 和 Y 沿水平方向進入兩塊帶電平行板之間的勻強磁場。圖 b 中的虛線顯示粒子的移動路徑。下列哪些有關 X 和 Y 的敘述必定正確？

(1) 兩者帶正電。

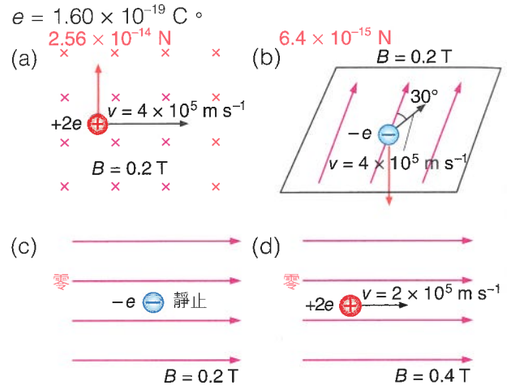
(2) Y 所帶的電量較 X 的大。

(3) X 和 Y 以不同的速率移動。

A 只有 (1)　　(B) 只有 (3)

C 只有 (1) 和 (3)　　D 只有 (2) 和 (3)

1 4 一粒電荷在勻強磁場 B 內移動。試畫出以下每個情況作用於電荷的磁力方向，並找出磁力的量值。取 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C。



★ 5 1 在圖 c 中，電子以 8.0×10^6 m s^{-1} 向右移動，並進入 2 mT 的勻強磁場。電子的電量和質量分別是 -1.60×10^{-19} C 和 9.11×10^{-31} kg。

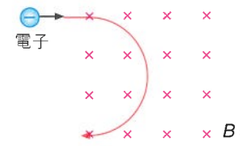


圖 c

(a) 求電子運動路徑的半徑。 0.0228 m

(b) 電子在離開磁場時向左移動，試在圖 c 中畫出電子的運動路徑。

(c) 電子在磁場內逗留了多久？ 8.94×10^{-9} s

★ 6 2 圖 d 顯示一帶電粒子穿過兩塊帶電平行板之間的區域，過程中並沒有偏轉。

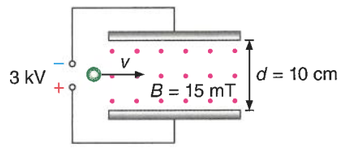


圖 d

(a) 你能否斷定粒子帶哪種電荷？試簡單解釋原因。 不能

(b) 求粒子的速率。 2×10^6 m s^{-1}

(c) 寫出一個能令粒子偏轉的方法。

總結 4

詞彙

1 磁力 magnetic force p.160
2 極 pole p.160
3 北極 north pole p.161
4 南極 south pole p.161
5 磁場 magnetic field p.161
6 磁力線 magnetic field line p.162
7 中和點 neutral point p.163
8 長直導線的右手握拳定則 right-hand grip rule for straight wires p.170
9 圓形線圈 circular coil p.171
10 螺線管 solenoid p.171
11 螺線管的右手握拳定則 right-hand grip rule for solenoids p.172
F.X 12 忒斯拉 (T) tesla p.174
F.X 13 磁導率 permeability p.174
14 電磁鐵 electromagnet p.178
15 弗林明左手定則 Fleming's left-hand rule p.186
16 電流天平 current balance p.187
17 電動機 electric motor p.199
18 碳電刷 carbon brush p.200
19 換向器 commutator p.200

課文摘要

4.1 磁力與磁場

1 磁極之間的相互作用：同極相斥；異極相吸。

2 磁鐵在周圍的空間建立起磁場，磁場可用磁力線來表示。磁力線從北極繞到南極。磁力線的方向表示作用於磁針北極的磁力方向（圖 a）。

3 在中和點，磁場互相抵銷。

4 指南針的北極指向北方，地球的磁南極其實在北方。

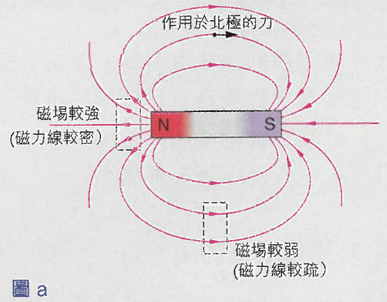


圖 a

4.2 電流的磁場

5 圍繞載電流導線的磁力線呈圓形，電流若以反方向流動，磁力線的方向也會相反。方向可以應用長直導線的右手握拳定則來斷定（圖 b）。

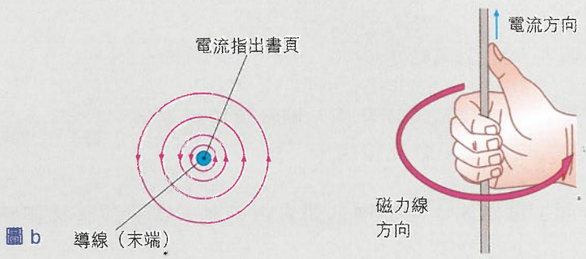


圖 b

6 在載電流扁平圓形線圈的中心，磁力線接近筆直，並與線圈平面垂直；在線圈以外，磁力線呈環狀（圖 c）。

7 在螺線管以內，磁力線筆直，而且線與線之間距離均等，表明這部分的磁場強度均勻。在螺線管以外，磁場圖形與磁棒的十分相似，螺線管的一端有如北極，另一端有如南極（圖 d）。螺線管兩端的極可應用螺線管的右手握拳定則來斷定（圖 e）。

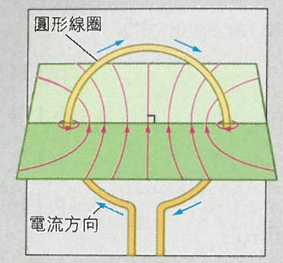


圖 c

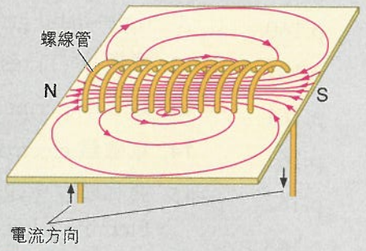


圖 d

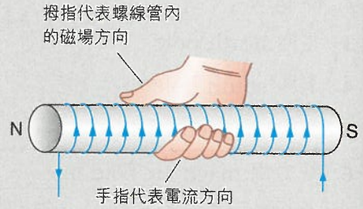


圖 e

F-X 8 量度磁場大小的單位是忒斯拉 (T)。

F-X 9 載有電流 I 的長直導線，於垂直距離 r 處磁場的量值是

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

其中 μ_0 是真空磁導率，它的準確值為 $4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

F-X 10 有電流 I 通過的長螺線管，螺線管的長度為 l，匝數為 N，則螺線管內磁場（遠離兩端）的量值是

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

11 電磁鐵的強度可用以下方法來提升：
- 增加線圈每單位長度的匝數
- 增大經過線圈的電流
- 在線圈中插入軟鐵心

4.3 磁場產生的力

12 位於磁場中的載電流導體會感受到磁力。磁力、磁場和電流的方向可以按照弗林明左手定則來斷定（圖 f）。

F-X 13 如果在磁場 B 內直導線的長度是 l，通過導線的電流是 I，電流方向與磁場形成夾角 θ，則作用於導線的磁力是

$$F = BIl \sin\theta$$

磁力的方向可用弗林明左手定則來斷定。

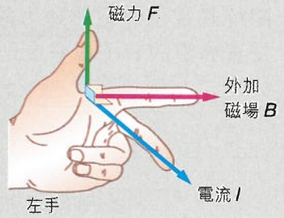


圖 f

F-X 14 如果兩條無限長平行導線內的電流方向相同，兩條導線便會互相吸引，但如果電流的方向相反便會互相排斥。

15 電動機有一個矩形線圈，在兩個不同磁極之間自由轉動。電流經碳電刷和換向器（或半圓環）流進線圈。

16 電動機的轉動效應可用以下方法加強：
- 增大電流
- 增加線圈的匝數
- 增大線圈（在磁場中）的面積
- 增強磁場
- 用曲面磁鐵取代平面磁鐵
- 改用有多捆線圈的軟鐵電樞

F-X Ext 4.4 作用於移動電荷的磁力

17 在磁場 B 內，如果電荷 Q 的移動速度是 v，而移動方向與磁場形成夾角 θ，則作用於這個電荷的磁力 F 是

$$F = BQv \sin\theta$$

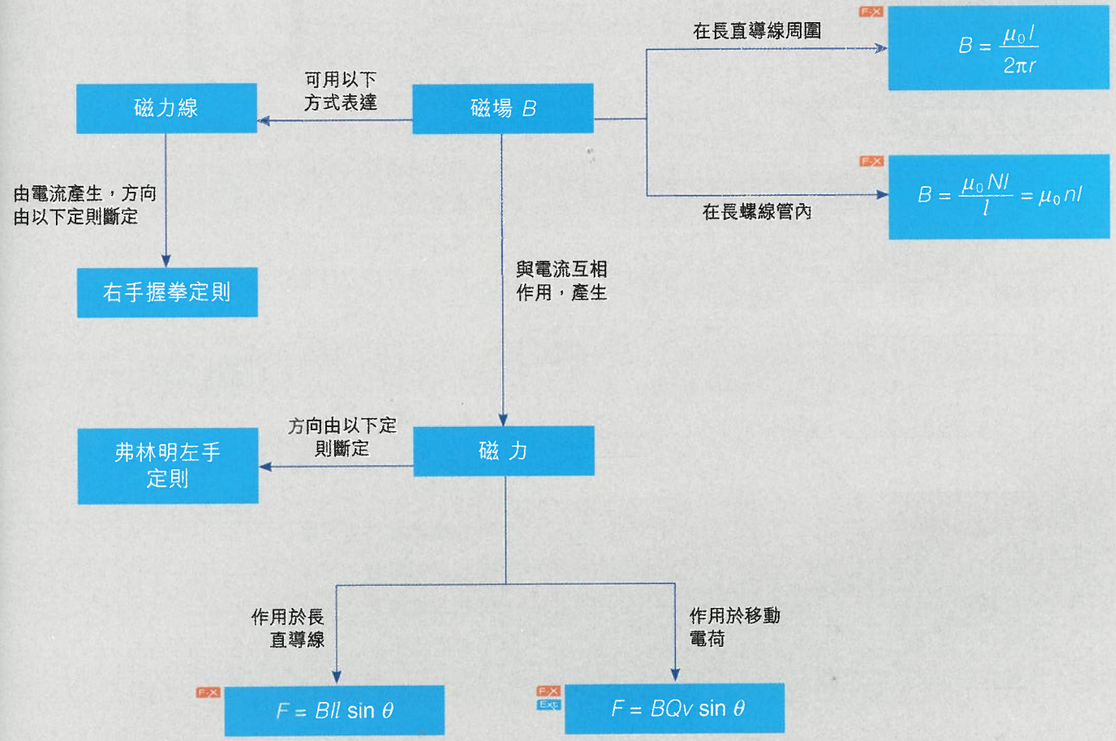
磁力總是與電荷移動的方向垂直。

18 電荷在勻強磁場內移動會作勻速圓周運動。

19 電荷 Q 以速度 v 在磁場 B 與電場 E 互相垂直的區域中移動，如果作用在電荷上的磁力和電力互相抵銷，電荷便會沿直線移動，即：

$$QE = BQv$$

概念圖



複習 4

Q1 長螺線管中心的磁場取決於每單位長度的匝數 $\frac{N}{l}$。
Q3 v 和 B 不一定互相垂直。

除特別指明外，地球磁場的效應可略去不計。

取 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}。

概念重温

(第1至3題) 判斷以下各項敍述是正確的，還是錯誤的。

F-X 4.2 **1** 增加長螺線管的匝數必定可增強管內磁場的強度。F
☆ 香港中學會考 2008 年卷一考試報告 Q8(b)

4.3 **2** 簡單直流電動機中，線圈每轉動半圈，換向器就使電流轉向一次。T
☆ 香港高級程度會考 2012 年卷二考試報告 Q27

F-X Ext 4.4 **3** 若帶電粒子要在磁場 B 內以速度 v 移動，作用於粒子的磁力 F_B、v 和 B 就必定要互相垂直。F

多項選擇題

4.2 **4**

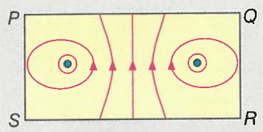
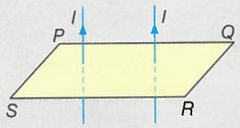


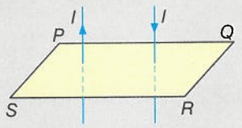
圖 a

下列哪些設定能得出圖 a 所示的磁場圖案？

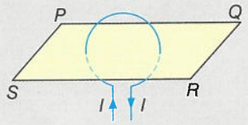
(1)



(2)



(3)



A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
(D) 只有 (2) 和 (3)

綜合題 **5** 閃電是兩處地方（例如帶電雲團和陸地上的一點）之間的放電現象。下列各項有關閃電的敍述，哪些是正確的？

(1) 電流沿着閃電流動。
(2) 閃電四周產生磁場。
(3) 光只會沿閃電傳播。

A 只有 (1)
(B) 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

★ 4.2 **6** 在圖 b 中，磁棒置於磅上，電磁鐵位於磁棒的正上方。

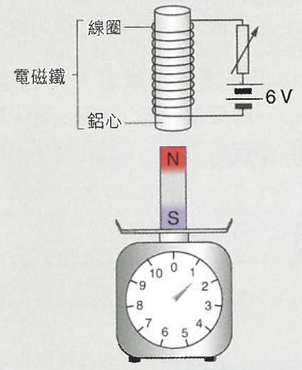


圖 b

下列哪一個做法能增加磅的讀數？

A 把電磁鐵稍向下移
B 拿走鋁心
C 減低可變電阻的電阻
(D) 把線圈每單位長度的匝數減半

★ F-X 4.2 **7**

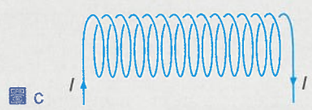


圖 c

下列哪些做法會令圖 c 中的螺線管產生較強的磁場？

(1) 在螺線管內插入銅心
(2) 按壓螺線管
(3) 拉長螺線管

(A) 只有 (2)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

(第 8 至 9 題) 圖 d 顯示一直流電動機的結構。電動機有兩個部分：電磁鐵和旋轉器（線圈 Y）。

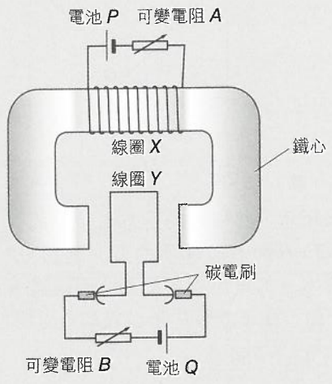


圖 d

4.3 ★ **8** 下列哪些做法能增加線圈 Y 的轉動效應？

(1) 增加電池 Q 的電壓
(2) 降低可變電阻 B 的電阻
(3) 增加線圈 X 的匝數

A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
(D) (1)、(2) 和 (3)

4.3 ★ **9** 下列哪些做法能使電動機轉動的方向相反？

(1) 倒轉電池 P 的兩極
(2) 倒轉電池 Q 的兩極
(3) 對調兩個碳電刷連接電路的位置

A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
(D) (1)、(2) 和 (3)

★ F-X Ext 4.4 **10** 一粒電子進入磁場，移動方向與磁場形成夾角。下列有關該電子的敍述，哪些是正確的？

(1) 電子繼續前進，動能有所增加。
(2) 電子會加速。
(3) 電子的移動方向最終會與磁場方向互相垂直。

(A) 只有 (2)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

4.3 ★ **11**

圖 e

P、Q 和 R 是三條載相同電流的長直平行導線。R 至 P 和 R 至 Q 的距離相等（圖 e）。P 和 Q 作用於 R 的合磁力方向是甚麼？

A →
B ←
C ↑
(D) ↓

★★ F-X Ext 4.4 **12** 圖 f 顯示帶電粒子 P 以速度 v 進入互相垂直的電場 E 和磁場 B 之中，並向下偏轉。

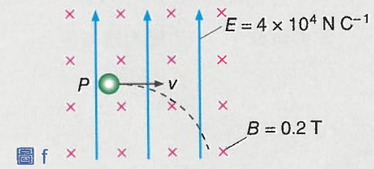


圖 f

下列有關 P 的敍述，哪些必定正確？

(1) 作用於 P 的磁力大過電力。
(2) P 帶負電。
(3) $v < \frac{E}{B}$

A 只有 (1)
(B) 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

參看 例題 18 (p.213)

F-X 4.3 **13** **香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q29**

圖示 X、Y 與 Z 三條長直平行導線，其中 Z 置於 X 與 Y 的中間。X 和 Z 載同向電流 1 A，而 Y 則載着流向相反的 3 A 電流。導線 X 因導線 Z 影響而每單位長度所受磁力的量值為 F。

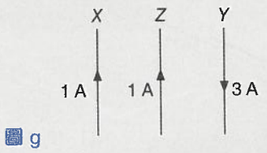


圖 g

因受導線 X 與 Y 影響而作用於導線 Z 每單位長度的磁力為

A 2F 向右。
B 2F 向左。
C 4F 向右。
(D) 4F 向左。(45%)

綜合題 **14** **香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q26**

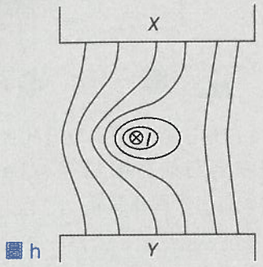


圖 h

一條載着指入紙面的電流 I 的直導線，放置在磁極片 X 和 Y 之間的磁場中。圖示合成的場力線圖樣。求極片 X 的磁極以及作用於導線的磁力的方向。地球的磁場可以忽略不計。

	X 的磁極	磁力的方向
A	N	向右 (14%)
B	N	向左 (29%)
C	S	向右 (42%)
D	S	向左 (15%)

4.3 **15** **香港中學文憑考試 2013 年卷一甲部 Q28**

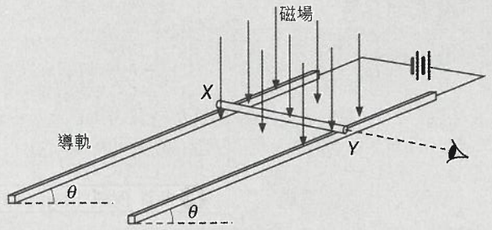
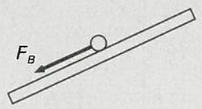


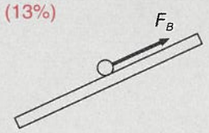
圖 i

銅棒 XY 放於一對傾斜的光滑導軌上，並處於豎直向下的磁場中。導軌跟水平成角 θ，並如上圖所示連接着電池組。倘從棒的末端 Y 觀察，以下哪一個圖顯示作用於棒的磁力 F_B？

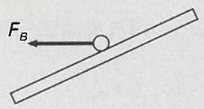
A (23%)



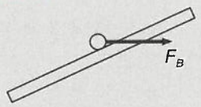
B (13%)



C (42%)



D (22%)



F-X 4.3 **16** **香港中學文憑考試 2014 卷一甲部 Q26**

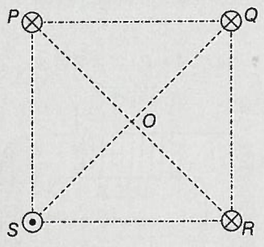


圖 j

如圖所示，四條處於正方形頂點的長直平行導線 P、Q、R 和 S 有等值的電流通過。P、Q 和 R 每條導線上的電流指入紙面，而通過 S 的電流則指出紙面，在正方形中央 O 點的合磁場方向是沿着

(A) OP。 (58%)　　B OQ。

C OR。　　D OS。

問答題

4.2 **17** W 是載有 2 A 電流的無限長直導線（圖 k）。

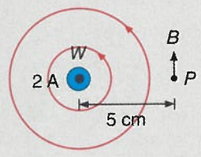


圖 k

(a) P 點與 W 相距 5 cm，那處的磁場指向上方。試在圖 k

(i) 標明電流的方向；

(ii) 繪畫圍繞 W 的磁力線。

（2 分）

F-X (b) 求 P 點的磁場量值。8×10^{-6} T （2 分）

4.3 **18** 兩條互相垂直的長導線載有大小相等的電流（圖 l）。P、Q、R 和 S 四點位於正方形的四個角上，正方形邊長 8 cm。導線與四點的距離相同。

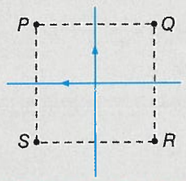


圖 l

P 和 R：沒有磁場；Q：指入頁面；S：指出頁面

(a) 指出每點上磁場的方向。（4 分）

F-X (b) 已知通過每條導線的電流是 0.5 A，試找出在 Q 點的磁場量值。5×10^{-6} T （2 分）

★ 4.2 **19** 啟宏設計了一個電磁門鎖（圖 m），它包含一片安裝在門角上的鐵塊。開關沒有按下時，門會因電磁鐵 A 的吸力而自動上鎖。啟宏認為開關按下時，吸力會大幅下降，門可以輕易推開。設電池的內電阻可略去不計。

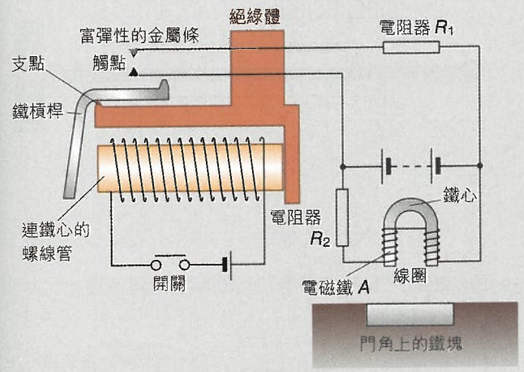


圖 m

(a) (i) 啟宏發現即使開關按下，門還是鎖上了。他的電路有甚麼問題？（2 分）

(ii) 他決定在電路中加入電阻器 R_3，以修正問題。R_3 應放在哪個位置？試解釋這項改動為甚麼有效。（3 分）

(b) 電路修正完畢。建議一個增強 A 的方法。試簡單解釋。（2 分）

★ 綜合題 **20** 假設你參加了一項比賽，要製造一個電磁鐵來把萬字夾由一個容器傳送至另一個容器，途中不可用手接觸萬字夾。傳送最多萬字夾的參賽者便獲勝。圖 n 顯示三組物料，你可在每組中選一個配件來製造電磁鐵。

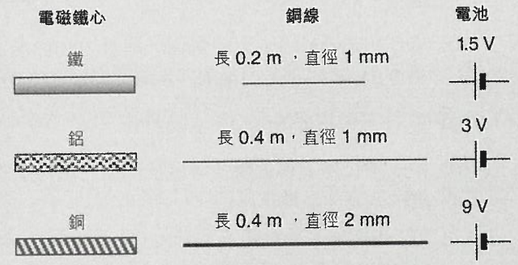


圖 n

(a) 每組的最佳選擇是甚麼？（3 分）
鐵心、長 0.4 m及直徑 2 mm的銅線、9 V 電池

(b) 試繪畫簡圖來展示你的設計，在圖中加上標籤。（2 分）

(c) 試說明你在 (a) 部的選擇。（3 分）

★ F-X 4.3 **21** 一支長 5 cm 的載電流導棒放在量值為 0.4 T 的勻強磁場內。圖 o 是俯視圖。導棒與磁場形成 30° 的夾角，並感受到指入書頁的磁力。

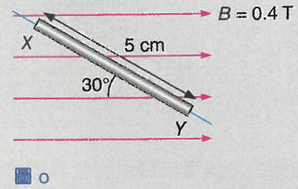


圖 o

由 Y 流向 X

(a) 電流在導棒內沿哪個方向流動？（1 分）

(b) 如果磁力是 0.01 N，求流過導棒的電流大小。
1 A（2 分）

(c) 如果導棒在書頁面上以順時針方向轉動 90°，作用在導棒的磁力，量值和方向會有甚麼變化？ 量值增加，方向不變 （2 分）

★ F-X Ext 4.4 **22** 如圖 p 所示，電子以 1.22×10^7 m s^{-1} 的速率進入磁場與電場之中，沒有偏轉；磁場量值為 1.8 mT 並指入書頁，電場方向則未知。已知電子的質量和電荷分別為 9.11×10^{-31} kg 和 1.60×10^{-19} C。

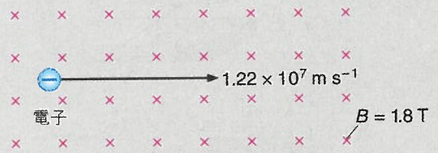


圖 p

3.51×10^{-15} N（向下）

(a) 求作用於電子的磁力的方向和大小。（3 分）

(b) 寫出電場的方向。 向下 （1 分）

(c) 求電場強度。2.20×10^4 N C^{-1} （2 分）

(d) 現關上電場。

(i) 有甚麼事情發生？（1 分）

(ii) 試量化描述電子的路徑。（3 分）

★ 23 4.2 回收廠利用電磁鐵撿起鐵和鋼。家文為回收廠設計了以下的電路（圖 q）。

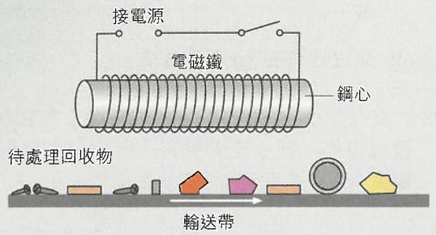


圖 q

在他的設計中，磁性物料應會受電磁鐵吸引而撿出來。

(a) 這個設計的電磁鐵吸引金屬的效率低下。試解釋原因，並提出一個改善方法。（2 分）

(b) 即使開關斷開，電磁鐵仍保留磁性。試解釋原因，並提出一個解決辦法。（2 分）

(c) 建議兩個增強電磁鐵的方法。（2 分）

★ 24 4.3 圖 r 中，一支很輕的金屬棒放在兩條水平且平行的金屬導線上，兩條導線相距 3.5 cm。金屬棒可在金屬導線上自由滾動，它所受的磁力量值為 0.04 T，方向垂直。

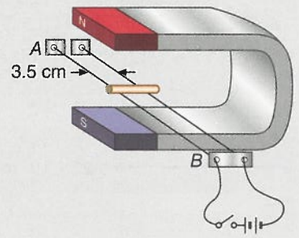


圖 r

現在，開關閉合。

(a) 有甚麼事情發生？（1 分）

F-X (b) 通過電路的電流是 5 A。找出在下列情況作用於金屬棒的磁力：

(i) 金屬棒與導線互相垂直 0.007 N（向 A）（2 分）

(ii) 金屬棒與導線形成 30° 的夾角 0.014 N（與 AB 成 60°）（2 分）

F-X (c) 如果金屬棒有較高的電阻，對磁力會有甚麼影響？試簡單解釋。減弱（2 分）

★ 25 4.2 大維用彈簧和繞在活動框架上的線圈製作下面的裝置（圖 s）。他聲稱這裝置能當作安培計來量度電流的大小。

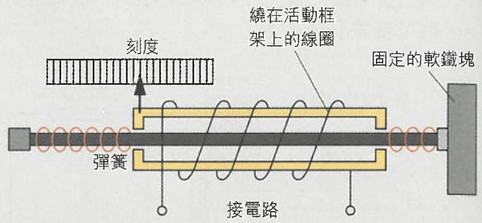


圖 s

(a) 試解釋這裝置的原理。（2 分）

(b) 建議兩個方法來增加這個裝置的靈敏度。（2 分）

(c) 應怎樣修改這個裝置，才能使它能測量到電流的方向？試解釋原因。（3 分）

★ 26 F-X 4.3 圖 t 顯示一個電流天平。U 形磁鐵產生的磁場是 0.05 T，並與 *XY* 互相垂直。電流接通前，矩形導線框平衡於支架上。當 12 A 的電流開始從 *Y* 流向 *X*，要在導線框的短邊放上質量為 2 g 的游碼，導線框才會回復平衡。

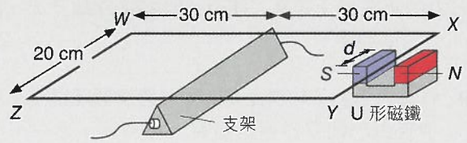


圖 t

(a) 游碼應該放在哪一邊（*XY* 還是 *WZ*）？試簡單解釋。*XY*（2 分）

(b) 求作用於 *XY* 的磁力的量值。取重力加速度 *g* 為 9.81 m s^{-2}。0.0196 N（2 分）

(c) 求 U 形磁鐵的闊度 *d*。0.0327 m（2 分）

(d) 假設要在以下情況維持導線框平衡，試寫出所需的改動，並解釋原因。

(i) 磁鐵的磁極對調了（2 分）

(ii) 磁鐵並不與 *XY* 平行擺放（2 分）

★★ 27 F-X 4.3 *AB* 和 *CD* 是兩條無限長的平行導線，它們之間相距 3 cm，通過兩者的電流分別是 I_1 和 I_2（圖 u）。*P* 點與 *AB* 之間的距離是 *r*，在 *P* 點的磁場是零。兩條導線和 *P* 點都處於頁面。

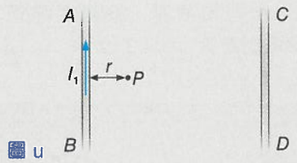


圖 u

(a) 試斷定 I_2 的方向。與 I_1 相同（1 分）

(b) 如果 I_1 增加了 3.5 A，在 *P* 點的磁場便會變為 1.4×10^{-4} T。

(i) 求 *r*。0.005 m（3 分）

(ii) 求 *P* 點的磁場方向。指入頁面（1 分）

(c) 求電流比 $\frac{I_1}{I_2}$。$\frac{1}{5}$（2 分）

(d) 如果流經 *AB* 的電流是 2 A，求導線之間每單位長度的磁力。1.33×10^{-4} N（3 分）

參看 例題 4 (p.175)

★★ 28 4.3 圖 v 顯示某學生設計的簡單直流電動機。設計使用曲面磁鐵，於是線圈總是與磁場互相平行。但他發現電動機不能運作。

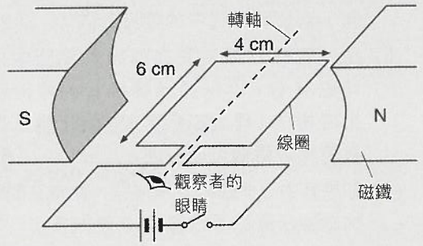


圖 v

(a) 試描述線圈的運動。（2 分）

(b) 試建議怎樣改善他的設計，使線圈能正常轉動。（1 分）

F-X (c) 流經線圈的電流是 3 A。磁鐵之間的磁場是 0.02 T。假設整個線圈都在磁場之中，試就下列情況，估算對轉軸的力矩：

(i) 線圈在水平位置 1.44×10^{-4} N m

(ii) 線圈與水平成 15° 角 1.44×10^{-4} N m（5 分）

F-X (d) 建議兩個增加線圈力矩的方法。（2 分）

參看 例題 13 (p.198)

★★ 29 4.3 建明製造了一個簡單直流電動機（圖 w）。電動機包括兩塊異極相向的平板形磁鐵，它們之間有一個繞在木心上的線圈，線圈初時垂直放置。

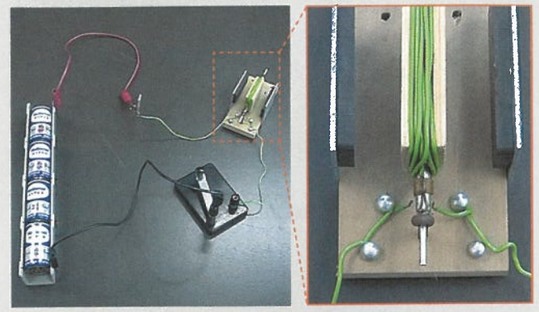


圖 w

(a) 開關閉合時線圈不能轉動，試簡單解釋原因。怎樣才能令線圈轉動？（2 分）

(b) 直流電動機內，換向器會使線圈不斷轉動。換向器是怎樣運作的？（2 分）

(c) 試寫出一個能使實用直流電動機加強轉動效應的設計。（1 分）

(d) 怎樣修改直流電動機，才能使它以交流電運作？試簡單解釋。（3 分）

參看 例題 14 (p.201)

★★ 30 F-X Ext 4.4 一個電量為 $+2e$ 的粒子在勻強磁場 *B* 中移動。粒子的初速度是 *v*，*B* 與 *v* 互相垂直（圖 x）。取 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C。

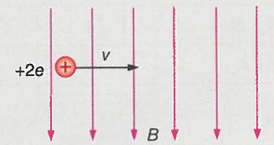


圖 x

(a) 磁力有沒有對粒子作功？試簡單解釋原因。沒有（2 分）

(b) 據此，描述粒子動能的轉變。重力的影響可略去不計。不變（1 分）

(c) 已知 *B* 是 1.6 T，粒子質量是 6.64×10^{-27} kg。假設粒子不會離開磁場的範圍。

(i) 粒子正進行哪種運動？勻速圓周運動（1 分）

(ii) 求該運動的週期。8.15×10^{-8} s（3 分）

參看 預試訓練 1 (p.211)

考試報告見第228頁。

4.3 **31** **香港中學會考 2007 年卷一 Q11**

將一根銅棒 *PQ* 用絕緣線靜止懸掛，並放置在一個指入紙面的勻強磁場中（圖 y）。線的另外兩端連接到固定於天花板的彈簧秤。銅棒兩端的接觸點 *P* 和 *Q* 可以沿兩個固定的垂直導軌 *AB* 及 *CD* 自由滑動。導軌 *AB* 及 *CD* 分別連接到直流電源的正極和負極，因此有電流 *I* 經過銅棒。

設銅棒在整個實驗中都保持水平且不會離開磁場。

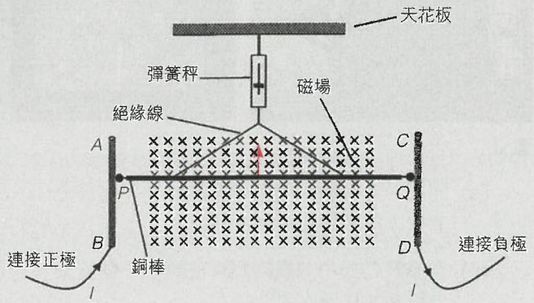


圖 y

(a) (i) 在圖 y 中，繪出銅棒因為從 *P* 至 *Q* 的電流而所受力 *F* 的方向。（1 分）

(ii) 提出**三種**方法增大該力 *F*。（3 分）

(iii) 以彈簧秤的讀數 *R* 和銅棒的重量 *W* 來表示該力 *F* 的量值。$F = W - R$（1 分）

(b) 一位教師用圖 y 的裝置進行實驗以求彈簧秤讀數 *R* 隨電流 *I* 變化的關係。表 a 顯示所得的數據。

R / N	1.4	1.1	0.8	0.5
I / A	0.0	0.5	1.0	1.5

表 a

(i) 繪出 *R* 對 *I* 的關係線圖。用 1 cm 表示 0.25 N 及 0.25 A。（4 分）

(ii) 求銅棒的重量。1.4 N（1 分）

(iii) 求 *I* 的最大值而絕緣線維持拉緊。2.35 A（1 分）

(iv) 若改用較重的銅棒做實驗，在 (i) 的圖中草繪出你所預期的 *R* 對 *I* 關係線圖，並用 *L* 作標記。（2 分）

考試報告見第228頁。

F-X 4.3 **32** **香港高級程度會考 2007 年卷一 Q3**

圖 z 顯示電流天平的銅線框 *PQRS* 以兩塊刀片承托並處於平衡。電流天平的一臂 *RS* 處於兩個相同螺線管的狹窄間隙中，兩個螺線管各有 1500 匝，作同軸放置。每個螺線管長 30 cm，其正方形截面為 3 cm × 3 cm。

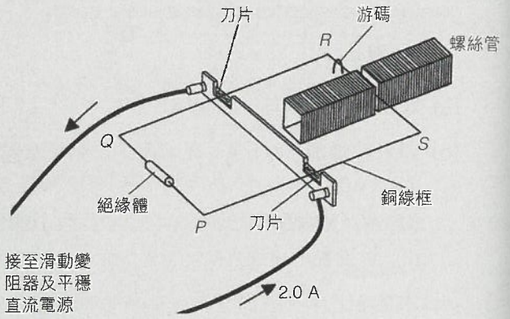


圖 z

當 2.0 A 的電流通過電流天平的 *RS* 臂以及兩個螺線管（電流方向一致而並未在圖中繪出）時，在 *RS* 臂上放置一個質量為 0.072 g 的游碼便可令天平回復平衡。

（已知：真空導磁率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T m A^{-1}）

(a) (i) 在圖 z 標示作用在 *RS* 臂上的磁力的方向，以及螺線管中的電流方向。（2 分）

(ii) 用此實驗結果估算在螺線管間隙中的平均磁場 *B*。再以通過螺線管的電流計算出磁場的「理論值」*B′*，並指出兩個數值有差異的**兩個**可能原因。（6 分）

0.012 T；0.0126 T

(iii) 如果其中一個螺線管被移開，原本在間隙中的銅線所受的平均磁場 *B* 應為多少？

0.006 T（2 分）

(b) 在實際操作上，單一個這樣的螺線管可否被視作「長螺線管」？試加說明。（1 分）

考試報告見第228頁。

F-X Ext 4.4 **33** **香港中學文憑考試 2013 年卷一乙部 Q4**

以速率 1.2×10^7 m s^{-1} 運動的一粒電子進入正方形區域 *ABCD*，區域內有指入紙面的 0.01 T 勻強磁場，如圖 aa 所示。電子從 *A* 至 *C* 走了四分一個圓形，並於 *C* 以相同速率離開。重力的影響可略去不計。

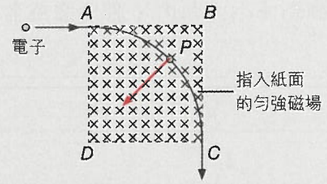


圖 aa

(a) (i) 求電子於其路徑上 *P* 點所受磁力的量值。1.92×10^{-14} N（2 分）

(ii) 在圖 aa 標示電子於 *P* 點的加速度的方向。（1 分）

(b) 電子雖受磁力影響而加速，解釋為甚麼它仍以相同速率從磁場中射出。（2 分）

(c) 如果電子改為從 *A* 至 *D* 走一個半圓形，推導電子進入磁場時應有的速率。（2 分）

0.6×10^7 m s^{-1}

實驗題

4.1 **34** 六支外表相似的棒，全部由紙張包裹，其中兩支是磁棒，兩支是鐵棒，兩支是銅棒。如果不用其他工具，也不拆開紙張，怎樣才可辨別它們？（3 分）

考試報告見第228頁。

4.1 **35** **香港中學會考 2011 年卷一 Q6**

兩塊異極相向的平板形磁鐵之間的磁場是均勻的。描述如何利用圖 ab 所示的儀器進行實驗以演示之。（5 分）

圖 ab

物理文章分析

綜合題 ★ **36** 閱讀下列一段有關接地故障斷流器的文章，然後回答隨後的問題。

接地故障斷流器

接地故障斷流器（圖 ac）是一個用來防止漏電的裝置。電器運作正常時，流經活線和中線的電流大小相同。如果活線和中線靠得很近，兩者在周圍產生的磁場應該互相抵銷。萬一出現漏電的情況，流經兩者的電流就不再相同，產生的磁場也因此無法互相抵銷。接地故障斷流器的線圈會探測到剩餘的磁場，然後向開關傳送要立時截斷電源的訊號，避免造成更大損壞。

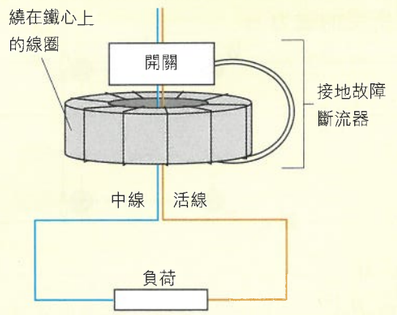


圖 ac

(a) 試比較活線和中線內的電流方向。相反（1 分）

(b) 電器使用直流電或交流電會否影響接地故障斷流器的表現？試簡單解釋。不會（2 分）

(c) 指出在電器中使用地線和使用接地故障斷流器的一項差異。（1 分）

(d) 接地故障斷流器可以代替保險絲嗎？為甚麼？不可以（2 分）

自我評核 4

時間：25 分鐘　　總分：17 分

答題須知

1 全部題目均須作答。
2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
3 答案須寫在預留的空位內。
4 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

4.1 **1** 指南針的磁針以磁性金屬製造。下列有關磁針的敘述，哪些是正確的？

(1) 鐵棒可干擾磁針的偏轉。
(2) 磁針的南極總是指向磁鐵的北極。
(3) 磁針的南極總是指向地球的地理北極。

A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

B

F-X 4.3 **2** 如圖 a 所示，四條平行的長導線 W、X、Y 和 Z 分別位於邊長為 r 的正方形的四個角上。每條導線載有相同的電流 I。求導線 Z 每單位長度所受的磁力。

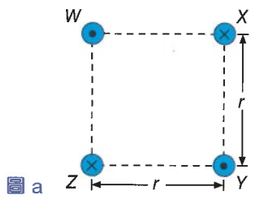


圖 a

A 0
B $\frac{\mu_0 I^2}{\pi r\sqrt{2}}$
C $\frac{\mu_0 I}{\pi r 2\sqrt{2}}$
D $\frac{\mu_0 I^2}{\pi r 2\sqrt{2}}$

D

4.2 **3**

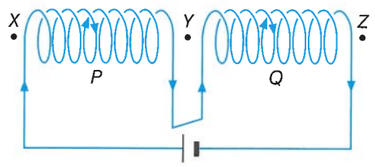


圖 b

圖 b 中，兩個相同的螺線管 P 和 Q 以串聯方式連接。求在 X、Y 和 Z 點的磁場方向。

	X	Y	Z
A	向左	向左	向左
B	向左	沒有磁場	向右
C	向右	沒有磁場	向左
D	向右	向右	向右

D

F-X Ext 4.4 **4**

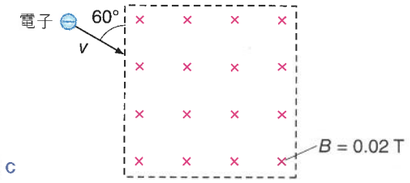


圖 c

如圖 c 所示，一粒電子以速率 v 進入強度為 0.02 T 的勻強磁場。電子在磁場內沿半徑為 2.5×10^{-3} m 的圓形路徑移動。重力和地球磁場的效應可略去不計。已知電子的電荷和質量分別是 -1.60×10^{-19} C 和 9.11×10^{-31} kg。求 v。

A 4.4×10^{6} m s^{-1}　　B 7.6×10^{6} m s^{-1}
C 8.8×10^{6} m s^{-1}　　D 17.6×10^{6} m s^{-1}

C

乙部

F-X 4.2 **5** X 和 Y 是兩個同軸的長螺線管（圖 d），長度都是 25 cm，X 有 2000 匝，Y 有 2500 匝，通過 X 的電流是 2 A。從 E 點觀察，通過 X 的電流以逆時針方向流動。兩個螺線管中心的合磁場是零。

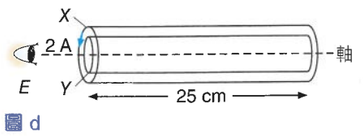


圖 d

(a) 找出電流在螺線管 Y 內的大小和流動方向。 (3 分)

1.6 A（順時針方向）

(b) 一支銅棒插入了螺線管 Y 內。試解釋這對螺線管產生的磁場有甚麼影響。 (2 分)

沒有影響

4.3 **6** 簡單電動機內有一個 N 匝的扁平矩形線圈 $PQRS$（圖 e），線圈置於強度為 0.15 T 的勻強磁場 B 內。線圈的面積是 0.01 m^2，並載有 2 A 的電流。電動機驅動直徑為 12 cm 的滑輪，而滑輪兩邊的 X 和 Y 點都可以懸掛重物。

(a) 在圖 e 中標示作用於線圈的磁力方向。 (1 分)

(b) 要停止線圈轉動，重物應該掛在滑輪的哪一點？ (1 分)

X

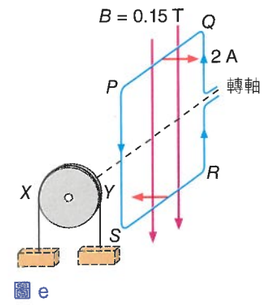


圖 e

F-X (c) 在圖 e 所示的一刻，質量為 51 g 的重物正掛在 (b) 部提及的那點後，線圈便停止轉動。找出作用於線圈對轉軸的力矩大小。滑輪的質量可略去不計。 (2 分)

0.0300 N m

F-X (d) 求線圈的匝數。 (2 分)

10

F-X (e) 設磁場 B 的強度增至原來的兩倍，且線圈的面積減半，求令線圈停止轉動所需懸掛重物的質量。簡單解釋你的答案。 (2 分)

51 g

❑ Q31 考試報告：本題透過一個不常見的實驗要求考生應用載電流導體在磁場中產生力的知識和理解，考生一般表現頗令人滿意。

(a) (i) 大部分考生能正確繪出載電流銅棒所受力*F*的方向。

(ii) 大部分考生能正確提出最少兩種方法增大銅棒所受的力*F*，但只有能力較高的考生知道擴寬磁場亦會增大力*F*。很多考生錯誤提出改變銅棒的長度或厚度，這些考生不知道銅棒為裝置的一部分是不能被改變。

(iii) 只有能力較高的考生了解到力*F*、彈簧秤讀數和銅棒重量的關係，很多考生未能寫出該關係的正確方程式（並以*F*為主體）。

(b) 部分考生在 (i) 部能繪出最佳直線的關係線圖，而考生在 (ii)、(iii) 和 (iv) 部的整體表現頗佳。

❑ Q32 考試報告：表現令人滿意。(a) 部答得不錯，但有的考生沒有在螺線管上標出電流方向，卻標在導線框上。在 (a)(ii) 中，有些考生不會區別理論值 *B*′ 和實驗值 *B*，有的在計算中將螺線管長度 (30 cm) 用它的寬度 (3 cm) 代入了。*B* 和 *B*′ 的混淆甚至延續到 (a)(iii) 部。在 (b) 部，只有少數考生在討論是否視作長螺線管時懂得用它的寬度跟其長度相比較。

❑ Q33 考試報告：考生在 (a)(i) 部表現良好。部分考生在 (a)(ii) 未能標出電子於 *P* 點的加速度方向。考生多能在 (b) 部指出磁力與電子的位移 / 速度垂直，但極少提及並無作功或動能保持不變。在 (c) 部，部分考生能推導出 $r = \frac{mv}{qB}$，但仍不能根據計算或推論導出電子速率 *v* 減半。

❑ Q35 考試報告：本題要求考生利用指定的儀器以演示兩塊異極相向平板形磁鐵之間的均勻磁場。考生表現欠佳。很多考生並不知道紙板應放於磁鐵之上，以及撒上鐵粉後須輕敲紙板。只有少數考生正確指出，鐵粉會在兩磁鐵之間形成間距相同平行線。

5 電磁感應

我們在這一課會學到

- 由磁場所產生的電
- 怎樣闡釋和檢測磁場
- 簡單直流發電機和交流發電機的運作原理
- 電磁感應的應用

5.1 磁場產生的電流

✔ 本節重點
1 感生電動勢和電流的產生
2 楞次定律
3 弗林明右手定則

只須利用一條鋁/銅管和一塊強力磁鐵，便可在家中試做這個反重力的小把戲。

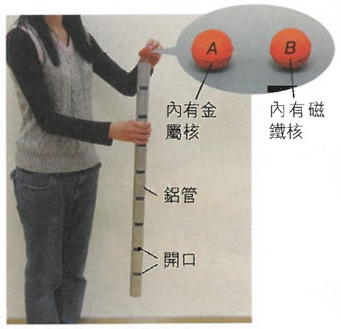
https://www.youtube.com/watch?v=5BeFoz3Ypo4

→ 錄像片段 5.1 示範兩個小球穿過鋁管落下。

起 點 不同的下墜速率

錄像片段 5.1

兩個質量和大小相若的物體，下墜速率應該差不多。但是，圖中的球 B 明顯比球 A 需要較長的時間才能通過鋁管。為甚麼呢？ 參見第 236 頁。



示範套件可從香港數理教育學會購得。

可用強力磁鐵和銅球作類似的示範。

第 4 課提到電流會產生磁場，這關係反過來又能否成立？磁場能否產生電流呢？

1 感生電動勢和電流

可以用以下口訣概括電和磁的關係：電動磁生，磁動電生。

1831 年，**法拉第**和**亨利**各自發現，變化的磁場能產生電流。這種現象稱為**電磁感應**。電從此成為日常生活中不可或缺的部分。

a 導體感應磁場變動

錄像片段 5.2

→ 錄像片段 5.2 示範實驗 5a。

實驗 5a 導體和磁鐵的相對運動

1 用導線繞一捆 10 匝的線圈，然後把線圈連接到光束檢流計。

2 讓磁棒進出線圈，觀察檢流計光標怎樣偏轉（圖 a）。如果磁棒移動得更快，或用更強的磁鐵，又或用更多匝的線圈，光標會怎樣偏轉？

3 磁棒保持不動，把線圈移向或移離磁棒，光標會怎樣？

圖 a 把小磁鐵插入和拉出線圈

討 論

電流會在甚麼情況下產生？ 線圈感受到磁場改變的時候

法拉第 Michael Faraday　亨利 Joseph Henry　電磁感應 electromagnetic induction

在單元 2.2，已討論過電動勢。

強調線圈和磁鐵有**相對運動**時，感生電壓才會產生。

提醒學生線圈接入閉合電路時，才會產生感生電流。

以上實驗顯示，如果線圈與磁鐵之間有相對運動，線圈兩端便會出現電動勢，稱為**感生電動勢**（圖 5.1a 和 c）。如果磁鐵和線圈相對靜止，就不會出現感生電動勢（圖 5.1b）。

所謂相對運動，可以是兩者互相靠近，亦可以是互相遠離，而結果都會令導體所處的位置出現**磁場變化**，這個變化就會產生感生電動勢。感生電動勢如果在**閉合電路**出現，就可以驅動電流環繞電路流動，這電流稱為**感生電流**。

圖 5.1a 磁鐵移近線圈時有電流產生

圖 5.1b 磁鐵靜止不動時沒有電流產生

圖 5.1c 磁鐵移離時電流向另一方向流動

歷史點滴 電磁感應的發現

發現電磁感應的人包括英國科學家法拉第（圖 a），他做過大量電磁感應的實驗，其中一個與實驗 5a 類似（圖 b）。在這個實驗裏，他把載電流線圈 A 移進和移出另一個線圈 B，線圈 B 連接着檢流計。結果他發現當線圈 A 移動時，便測得有電流通過線圈 B。

法拉第也發明了發電機和變壓器，這些發明徹底改變了整個世界。

圖 a 法拉第 (1791–1867)

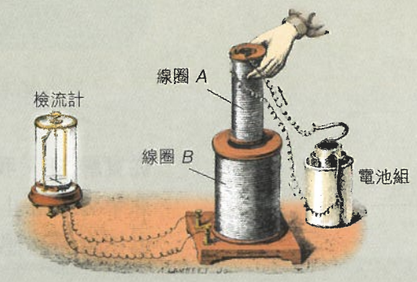


圖 b 法拉第的電磁感應實驗

美國科學家亨利（圖 c）比法拉第早幾個月觀察到電磁感應現象，但是法拉第比他更早發表自己的成果。亨利對物理學貢獻良多，他改良了電磁鐵的設計，並且創造出交流電動機的原型。

圖 c 亨利 (1797–1878)

感生電動勢 induced e.m.f.　感生電流 induced current

b 導體切割磁力線

錄像片段 5.3

→ 錄像片段 5.3 示範實驗 5b。

實驗 5b 在恆定磁場中移動導體

1 把導線連接到光束檢流計，然後把導線置於一對平板形磁鐵之間，用下列方式移動導線，觀察檢流計光標怎樣偏轉。

(a) 垂直上下移動（圖 a）

(b) 前後移動

(c) 左右移動

把導線繞成數匝能增加磁場內的導線長度。 ▶

2 讓導線加快移動，改用更強的磁鐵，或把導線繞成數匝的線圈（圖 b），找出這幾種變化怎樣影響檢流計光標偏轉。

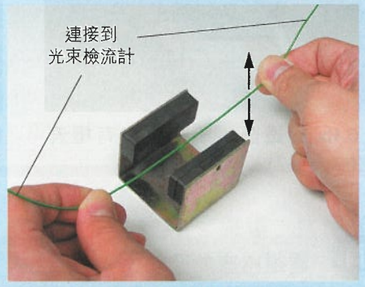


圖 a 在磁鐵間垂直移動導線

圖 b 在磁鐵間移動數匝的線圈

討論

導線要在磁場內怎樣移動才能產生感生電流？ 以垂直於磁力線的方向移動（讓導線切割磁力線）

從實驗 5b，我們得知導體切割磁力線時，會產生感生電動勢（圖 5.1d）。如果導體靜止或移動方向與磁力線平行（圖 5.1e），便不會切割磁力線，也不會產生感生電動勢。

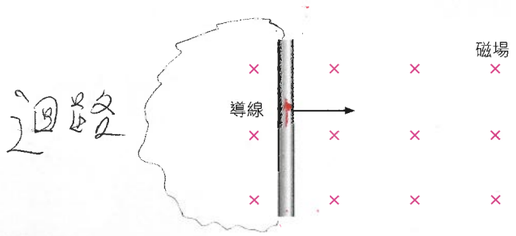


圖 5.1d 導線的移動方向垂直於磁力線：產生感生電動勢

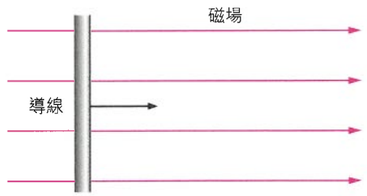


圖 5.1e 導線的移動方向平行於磁力線：不會產生感生電動勢

c 法拉第電磁感應定律

我們現可推斷出當 (a) 通過線圈的磁場不斷變化，或 (b) 導體切割磁力線，便會感生出電動勢。無論是哪一個情況，感生電動勢的量值都可用以下方法增加：

1 加快移動線圈 / 導體或磁鐵

提醒學生較大的磁鐵不表示有較強的磁場。

2 使用更強的磁鐵（即增加磁場強度）

3 增加磁場中的線圈匝數 / 導體長度

單元 5.2 會介紹法拉第定律的數學表達式。 ▶

法拉第電磁感應定律總結了以上各點：

> **感生電動勢的大小，與通過線圈的磁場變化率，或導體切割磁力線的快慢成正比。**

進度評估 1

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.230）。

1 **1** 在下列哪種情況，感生電流**不會**在線圈內產生（圖 a）？

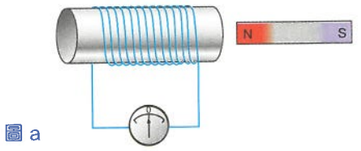


圖 a

A 磁鐵向左移動

B 線圈向左移動

C 磁鐵和線圈以同一速率向右移動

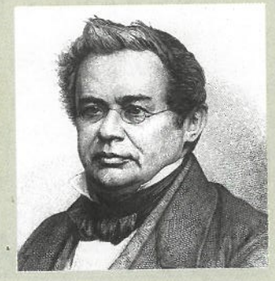
1 **2** 判斷在下列各情況下有沒有感生電動勢出現。

(a) 通過線圈的磁場減弱 有

(b) 線圈沿勻強磁場的方向移動 沒有

歷史點滴 楞次 (1804–1865)

俄羅斯物理學家**楞次**以電磁感應的楞次定律（見 p.234）而聞名。他也發現通過導體的電流與所產生的熱，兩者互有關連（$P = I^2R$），這關係也稱為焦耳定律（楞次並沒有與焦耳一同研究，他是獨立發現這定律的）。



法拉第電磁感應定律 Faraday's law of electromagnetic induction　楞次 Heinrich Lenz

2 感生電動勢和感生電流的方向

在實驗 5a 和 5b 中，磁鐵和線圈或導體的相對運動方向，會影響感生電流的方向。我們可用兩種方法來推斷感生電流的方向。

模擬程式 5.1

→ **模擬程式 5.1** 展示磁鐵進出線圈時，怎樣感生出電流。

a 楞次定律

把磁鐵的北極推向線圈，線圈便感生電流，變成電磁鐵（圖 5.1f）。感生電流會沿特定方向流動，使線圈靠近磁鐵的一端變成北極，以排斥磁鐵，阻礙它的運動。

反過來說，如果把磁鐵的北極移離線圈，感生電流會把線圈靠近磁鐵的一端變成南極（圖 5.1g），以吸引磁鐵，結果也阻礙磁鐵的運動。

光束檢流計的電路符號可以是

磁鐵的北極推向線圈時，線圈接近磁鐵的一端會感生出北極，利用螺線管的右手握拳定則便能找出線圈上電流的方向。利用同樣的方法，便可找出磁鐵的北極移離線圈時電流的方向。

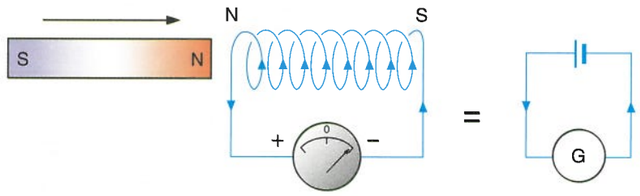


圖 5.1f 感生電流阻礙磁鐵進入線圈

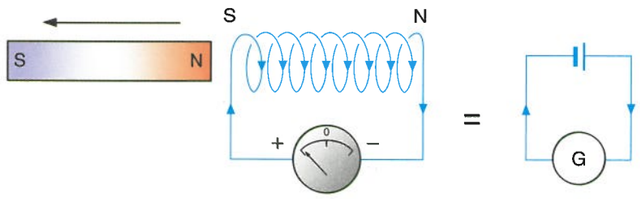


圖 5.1g 感生電流阻礙磁鐵離開線圈

在上述兩種情況下，磁鐵移動時須抵抗磁力，過程中須要作功（由移動磁鐵的手作功），能量轉換成電能。整個能量轉換過程遵從能量守恆定律。

楞次定律其實是能量守恆定律的結果。可參閱例題 8 (p.249)，欣賞物理學的連貫和一致性。

以上例子演示了**楞次定律**，該定律指出：

> **感生電流（或電動勢）總是與產生它的變化抗衡，或傾向與這個變化抗衡。**

感生電動勢會隨着磁場的變化率而增加。在閉合電路中，磁場的變化率增加，感生電流也會增大。磁場變化得愈快，抗衡的程度就愈大。

楞次定律 Lenz's law

b 弗林明右手定則

圖 5.1h 顯示，導線切割磁力線時，感生電流的方向可用**弗林明右手定則**推斷出來。

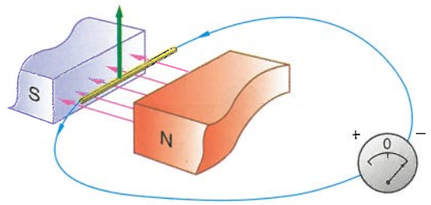
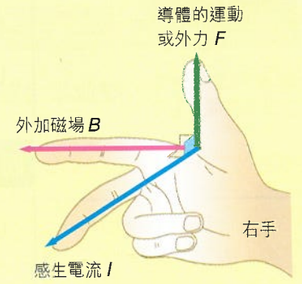


圖 5.1h 導線在磁場中移動所產生的感生電流

提醒學生這定則提供了一個找出力、磁場和感生電流方向的方法，但卻不是定理。

> **弗林明右手定則：**
>
> **伸出右手的拇指、食指和中指，讓三者互相垂直。如果拇指指向導體運動或外力 *F* 的方向，而食指指向外加磁場 *B* 的方向，那麼，中指指向的就是感生電流 *I* 的方向。**



「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

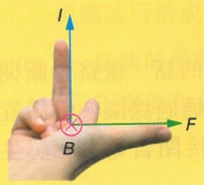
技巧分析

應用弗林明右手定則

① 將矩型線圈 *ABCD* 分成四段：*AB*、*BC*、*CD* 和 *DA*。

② 在所有線段中，只有 *AB* 會切割磁力線，因此，只有 *AB* 有感生電流產生。

③ 應用弗林明右手定則便可判別線圈中感生電流的方向。



例題 1 判別感生電流的方向

如圖 a 所示，矩形導電線圈 *ABCD* 正進入一個勻均磁場，磁場方向指入書頁。根據以下定律或定則，判斷感生電流的方向：

(a) 楞次定律

(b) 弗林明右手定則

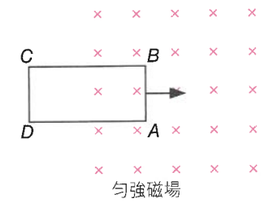
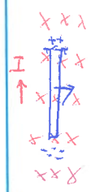


圖 a



題解

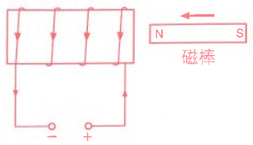
(a) 線圈移動時，穿過它的磁力線變得愈來愈多，全部都指入書頁。根據楞次定律，感生電流會與這個變化抗衡，因而產生指出書頁的磁力線。根據右手握拳定則，感生電流會以逆時針方向流動。

(b) 根據弗林明右手定則，在線圈 *AB* 一邊感生的電流由 *A* 流向 *B*，因此，感生電流會以逆時針方向流動。

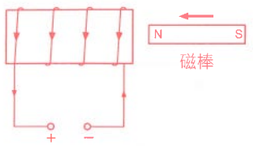
習題與思考 5.1 Q6 (p.240)

弗林明右手定則 Fleming's right-hand rule

可着學生標出線圈兩端的極性。學生一般認為感生電流會由正極流出，所以：



然而，由於線圈在這情況下就如一個電池，正極應為：



例題 2 線圈的感生電流

一支磁棒穿過連接了檢流計的線圈。

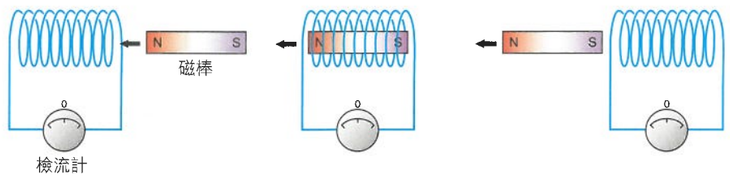


圖 a　圖 b　圖 c

試指出下列各情況下感生電流的方向，並解釋原因。

(a) 磁棒移近線圈（圖 a）

(b) 磁棒在線圈內移動（圖 b）

(c) 磁棒移離線圈（圖 c）

題解

(a) 根據楞次定律，磁棒的北極移近線圈時，感生電流會在線圈靠近磁棒那端產生北極，阻礙磁棒接近。根據右手握拳定則，就可斷定感生電流的方向如圖 d 所示。

(b) 感生電流變為零，因為這時通過線圈的磁場沒有變化（圖 e）。

(c) 磁棒的南極離開線圈時，感生電流會在線圈向着磁棒那端產生北極，阻礙磁棒離開。電流方向與 (a) 部的方向相反，如圖 f 所示。

在**起點**中，兩個小球看起來雖然一模一樣，可是藏有磁鐵核的小球在鋁管中下墜時，感生電流會在鋁管中流動，以阻礙磁鐵下墜，小球因而下墜得較慢。

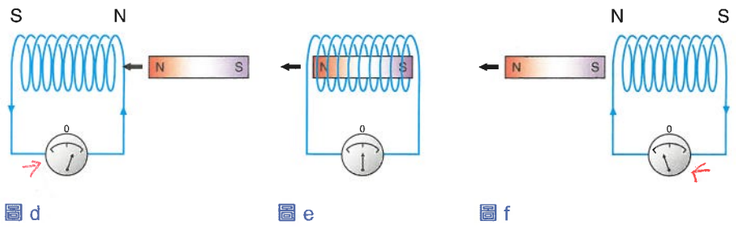


圖 d　圖 e　圖 f

習題與思考 5.1 Q5 (p.239)

如果把例題 2 的檢流計移除，情況會怎樣？這樣做的話，電路會斷開，雖然線圈兩端仍有感生電動勢，但卻沒有感生電流通過線圈。導體置於變化磁場中，兩端會出現感生電動勢；但導體要連接**閉合電路**，感生電流才會產生。

錄像片段 5.4

→ 錄像片段 5.4 示範實驗 5c。

實驗 5c 利用數據記錄器研究線圈內的感生電動勢

1 如圖 a 所示，在垂直的塑膠筒上繞 20 匝線圈，然後把線圈連接到電壓感應器。

2 啟動數據記錄程式。在線圈上方 20 cm 處釋放磁棒。記錄並儲存所得的電壓—時間關係線圖。

3 改變釋放磁棒的高度，或改用 40 匝的線圈重複步驟 2。比較所得的線圈。

圖 a

討論

磁鐵移近和移離線圈時的速率，怎樣影響感生電動勢？

磁鐵移動得愈快，感生電動勢就愈大。

例題 3 磁鐵穿過線圈下墜

學生用數據記錄器研究一個 20 匝線圈所產生的感生電動勢 ε。他在線圈上方 20 cm 處放開一塊磁鐵，讓磁鐵下墜並穿過線圈。圖 a 是 ε 對時間 t 的關係線圖。

(a) 下墜過程中 ε 的正負值改變了，試說明原因。

(b) 解釋為甚麼圖 a 中的負峯值會比正峯值大。

(c) 在下列情況，線圖會有甚麼改變？

(i) 磁鐵的兩極對調了

(ii) 改用 40 匝的線圈

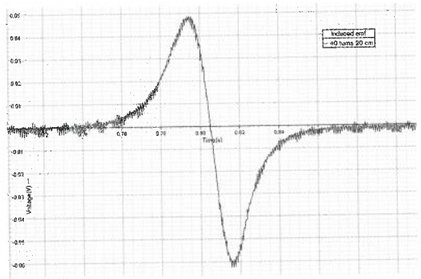


圖 a

題解

(a) 磁鐵靠近線圈時，通過線圈的磁場增強，線圈便感生出一個正電動勢，所產生的感生電流與正在增強的磁場抗衡。然後，磁鐵離開線圈，通過線圈的磁場減弱，感生電動勢便產生一個相反的感生電流，以抗衡正在減弱的磁場，這時，電動勢變為負值。因此，ε 的正負值改變。

(b) 磁鐵受重力作用而加速下墜，因此磁鐵離開線圈時，速率會較進入時高。如此，磁鐵在離開線圈時所造成的磁場變化率較高，因此 ε 的量值較大。

(c) (i) 線圖的形狀會上下倒轉。

(ii) 正峯值和負峯值都會增大。

習題與思考 5.1 Q4 (p.239)

預試訓練 1　感生電流的影響 ☆ 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q27

圖 a 中，一個垂直的螺線管接駁到電池組，一個水平的方形線圈正以恆速度 v 向右移動。試從 P 點的角度，找出線圈中感生電流 I 的方向，以及作用在線圈上合磁力 F 的方向。

	I 的方向	F 的方向
A	順時針	向左
B	逆時針	沒有方向（F 為零）
C	順時針	沒有方向（F 為零）
D	逆時針	向左

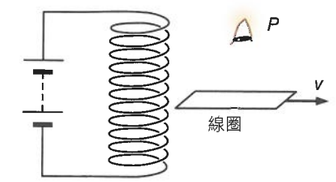


圖 a

題解

線圈向右移時，所切割的磁力線愈來愈少（圖 b）。

根據楞次定律，從 P 點的角度觀察，I 應以逆時針方向流動以抗衡這個變化。

考慮線圈的 CD 和 FE 段。根據弗林明左手定則，CD 會感受到一道向左的磁力，EF 則會感受到一道向右的磁力。由於 CD 所處的磁場較 EF 所處的強，作用在 CD 上的磁力亦較強。因此，F 是向左的。

∴　答案是 D。

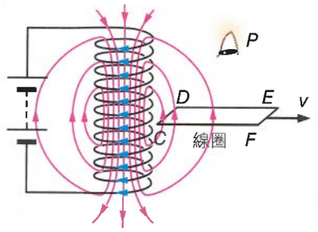


圖 b

學生或不知道應先判斷螺線管兩端的極性，而極性可利用右手握拳定則來斷定。

複習 Q16 (p.273)

進度評估 2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.230）。

3 1　是非題：弗林明右手定則可判斷作用在磁場內的載電流導體的磁力。（對 / 錯）

2 2　一個螺線管與直流電源連接，旁邊的方形線圈移動時出現感生電流，流動方向如圖 a 所示。線圈向哪個方向移動？向右

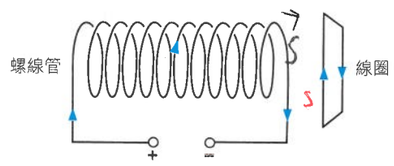


圖 a

習題與思考 5.1

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.230）。

2 1　一支磁棒正以速率 v 移離一個接駁了檢流計的螺線管（圖 a）。

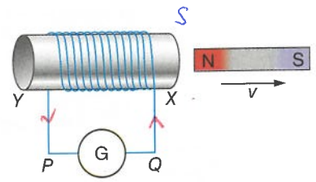


圖 a

下列哪些描述是正確的？

(1) X 端變為北極。

(2) 感生電流經檢流計由 P 流向 Q。

(3) 如果磁鐵和螺線管同時以速率 v 互相遠離，感生電流會增大。

A　只有 (2)

B　只有 (3)

C　只有 (2) 和 (3)

D　(1)、(2) 和 (3)

1 2　下列哪些是在導體中產生感生電流的必要條件？

(1) 導體要接駁閉合電路。

(2) 導體置於由永久磁鐵產生的磁場內。

(3) 導體感受到變化的磁場。

A　只有 (1)

B　只有 (1) 和 (3)

C　只有 (2) 和 (3)

D　(1)、(2) 和 (3)

2 ★3　圖 b 中，導電環正移離載電流長直導線。

圖 b

導電環中的感生電流向哪個方向流動？

A　順時針

B　逆時針

C　無法確定

D　沒有感生電流

★4 2　鋁環從靜止開始下墜，由位置 P 穿過磁棒到達位置 Q（圖 c）。

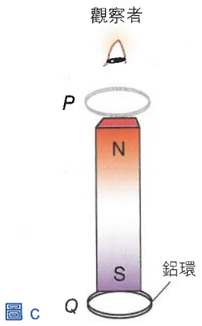


圖 c

對觀察者來說，下列哪些描述是正確的？

(1) 鋁環下墜經過位置 P 時，環中的感生電流以順時針方向流動。

(2) 鋁環下墜到達位置 Q 時，環中的感生電流以逆時針方向流動。

(3) 如果沒有磁棒，鋁環下墜時速率的變化率會增加。

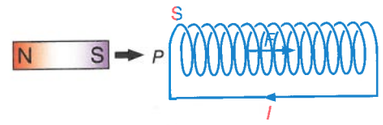
A　只有 (1)

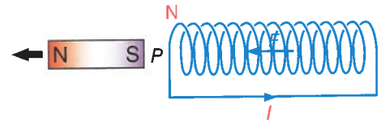
B　只有 (1) 和 (2)

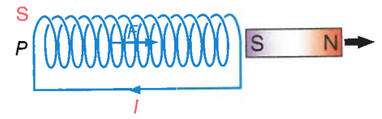
C　只有 (2) 和 (3)

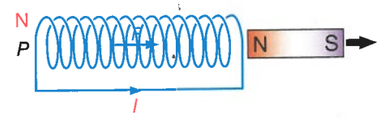
D　(1)、(2) 和 (3)

2 5　磁棒在下列不同情況下移動。試找出在螺線管 P 端所感生的磁極，並標示出感生電流 I 的方向，以及作用於螺線管的磁力 F 的方向。

(a)


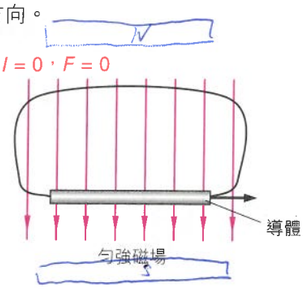
(b)


(c)


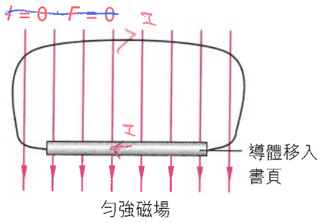
(d)


3 **6** 下列各圖中，電路沿不同方向移動。試在圖中標示導體中感生電流 *I* 的方向，以及作用在導體上的磁力 *F* 的方向。

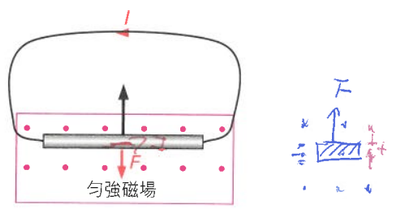
(a) $I = 0$，$F = 0$



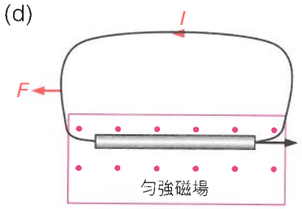
(b) ~~$I = 0$，$F = 0$~~



(c)



(d)



2 **7**

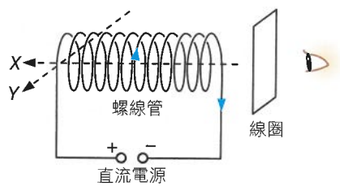


圖 d

在下列各情況，圖 d 中的觀察者會看到線圈中的感生電流向哪個方向流動？

(a) 螺線管沿 *X* 方向移動 順時針方向

(b) 螺線管沿 *Y* 方向移動 順時針方向

3 ★ 1 **8** 一個有 1100 匝的線圈連接到檢流計，附近並**沒有**放置磁鐵。線圈如圖 e 所示翻轉時，檢流計竟然測得電流。為甚麼呢？

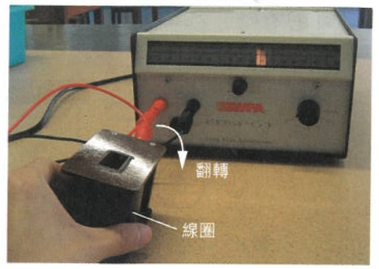


圖 e

3 ★ **9** 導線如圖 f 所示穿過磁場向下移動。

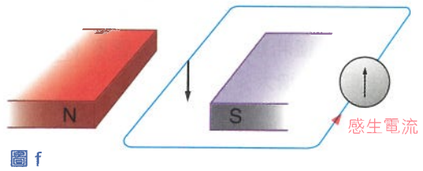


圖 f

(a) 試在圖中標示感生電流的方向。

(b) 下列改變對感生電流造成甚麼影響？

(i) 導線加快移動 增加

(ii) 導線向上移動 方向相反

(iii) 導線橫向移動 消失

2 ★ **10** 磁鐵如圖 g 所示掉向線圈。已知電流經檢流計由 *B* 流向 *A* 時，檢流計指針會向 *A* 偏轉。

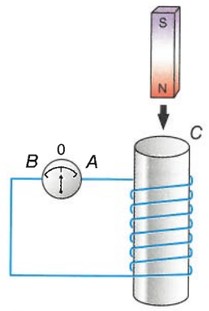


圖 g

考慮圖 d 所示的一刻。

(a) 解釋 *C* 端會感生出甚麼磁極。北極

(b) 電流沿哪個方向通過檢流計？由 *A* 流向 *B*

(c) 檢流計指針向哪個方向偏轉？*B*

5.2 法拉第定律和磁通量

✔ 本節重點

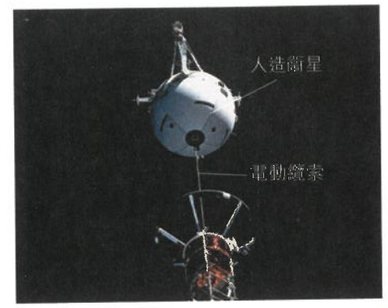
1 磁通量和磁通量密度

2 以數學形式表達法拉第定律和楞次定律

3 探察線圈

起 點 把導體變成電源

圖中由人造衛星底部伸展出來的導線，稱為電動纜索。衛星環繞地球運行時，纜索兩端就會產生電壓。你知道纜索的運作原理嗎？參看第 244 頁。



本單元展示怎樣以數學形式表達的法拉第定律和楞次定律，從而找出感生電動勢的大小和方向。

1 磁通量和磁通量密度

a 磁通量

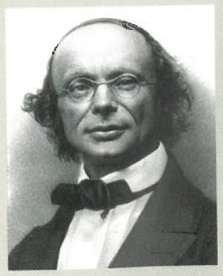
法拉第為了更詳盡解釋法拉第定律，引入一個以磁力線為基礎的模型。他提出通過線圈的磁力線數量改變，或導體「切割」磁力線時，線圈或導體便會出現感生電動勢。

希臘字母 Φ 念作「phi」。

為此，他引入了稱為**磁通量**的物理量，磁通量以希臘字母 Φ 作為符號，用於量度通過某個面積的磁力線數量，單位是**韋伯**（簡寫是 **Wb**）。

歷史點滴 韋伯 (1804–1891)

1846 年，德國物理學家**韋伯**以基本力定律，闡釋電和磁的統一理論。他還找出原子間的作用力與勢能的關係，又發明了力測電流計來測量微弱的電流。磁通量的單位就是以他的名字命名的。



磁通量 magnetic flux　韋伯 (Wb) weber　韋伯 Wilhelm Weber

圖 5.2a 中，磁場 B 垂直通過一個只有一匝的線圈，線圈的面積是 A（以 m^2 為單位）。通過線圈的磁通量 Φ 是：

$$\Phi = BA \quad \text{..... (1)}$$

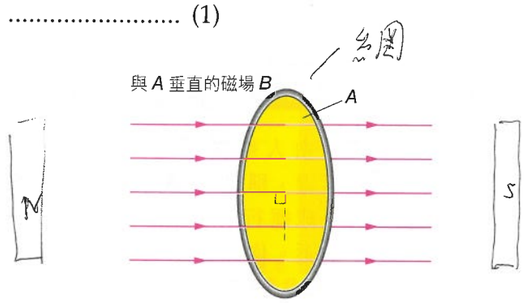


圖 5.2a 磁場 B 垂直通過面積為 A 的一匝線圈

計算垂直於 B 的有效面積，也可得到相同的結果。用這個方法計算，磁通量是

$$\Phi = B(A\cos\theta) = BA\cos\theta$$

如果磁場 B 與線圈並非垂直（圖 5.2b），則只有垂直於線圈的分量（$B\cos\theta$）才會影響磁通量（圖 5.2c），磁通量就變為 $\Phi = (B\cos\theta)A$。

因此，

$$\Phi = BA\cos\theta$$

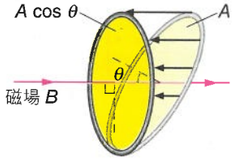
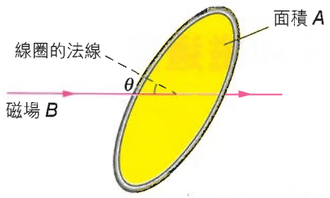


圖 5.2b 磁場 B 斜向穿過面積 A



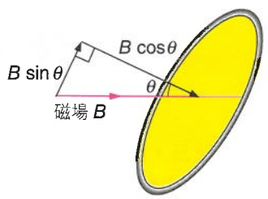


圖 5.2c 只有垂直於線圈的磁場分量才會影響磁通量

文意清晰時，這些量可簡稱為通量及通匝鏈數，省去「磁」字。

如果線圈有 N 匝，通過線圈的總磁通量就稱為**磁通匝鏈數**，大小等於 $N\Phi$。

$$\text{磁通匝鏈數} = N\Phi$$

b 磁通量密度

重組方程 $\Phi = BA$，得出 $B = \dfrac{\Phi}{A}$。

從這條方程可見，磁場 B 也可定義為每單位面積的磁通量，因此磁場也可稱為**磁通量密度**。磁通量密度的單位是**韋伯每平方米 (Wb m^{-2})**，或式斯拉 (T)。

磁通匝鏈數 magnetic flux linkage　磁通量密度 magnetic flux density

例題 4 計算通量及通匝鏈數

兩塊平板形磁鐵極面的尺寸都是 2 cm × 1 cm，它們之間的磁通量密度 B 是 1.8 mT（圖 a）。

(a) 離開極面的磁通量是多少？

(b) 該磁場全都通過一個 200 匝線圈，而線圈與磁力線垂直。求通過線圈的磁通匝鏈數。

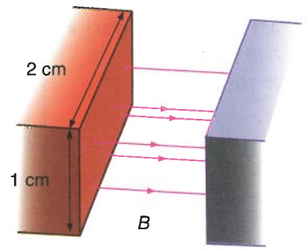


圖 a

題解

緊記要轉換長度的單位。

(a) 磁通量 $\Phi = BA$
$= (1.8 \times 10^{-3}) \times (0.02 \times 0.01) = 3.6 \times 10^{-7}$ Wb

若線圈比磁鐵極面小，情況會怎樣？別忘記只有處於磁場內的線圈面積才會影響磁通量。

(b) 磁通匝鏈數 $= N\Phi$
$= 200 \times (3.6 \times 10^{-7}) = 7.2 \times 10^{-5}$ Wb

進度評估 3 Q1 (p.246)

在這個情況，磁通匝鏈數會變為 NBA'（A'為線圈的面積）。

2 以數學形式表達法拉第定律和楞次定律

利用磁通量，可以更準確寫出法拉第定律。

導體內的感生電動勢相等於磁通量的變化率，或磁通量的切割率。

以數學方程表達，就是 $\varepsilon = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$。為顧及楞次定律，我們會在這條方程加入負號，以顯示由感生電動勢引致的電流，總是與產生電流的磁通量變化抗衡。因此，法拉第定律的方程是：

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

對於 N 匝的線圈，

$$\varepsilon = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t}$$

這相等於磁通匝鏈數的變化率。

在大部分情況下，我們只須找出感生電動勢的大小，因此，往後的計算將略去方程中的負號。

F.X. Ext

單元 4.1 已指出，地球的磁場力線由南指向北，詳情見第 165 頁。

例題 5 從磁通量的切割率找出感生電動勢

圖 a 中，人造衛星沿圓周軌道繞地球運行，並伸出長度為 l 的導電索 XY。XY 以穩定的速率 v 由西向東垂直切割地球磁場 B。假設在 XY 通過的區域中，B 都是勻強的。

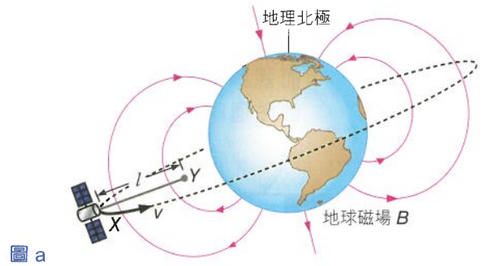


圖 a

(a) 考慮磁通量的切割率，估算 XY 兩端的感生電動勢，以 B、v 和 l 來表示答案。

(b) X 和 Y，哪一端帶負電？

題解

(a) 參看圖 b。在時距 Δt，

經過的距離 $d = v\Delta t$

掃過的面積 $A = dl = v\Delta tl$

切割的磁通量 $\Delta\Phi$

$= BA = Bv\Delta tl$

磁通量的切割率 ← 即是問

$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{Bv\Delta tl}{\Delta t} = Bvl$

因此，感生電動勢是 Bvl。

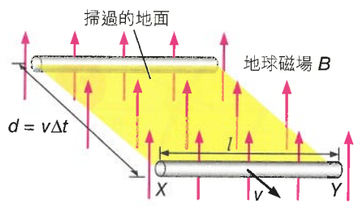


圖 b

(b) 假設從圖 c 所示的位置觀察導電索。根據弗林明右手定則，應有感生電流從 Y 流向 X，而電子則以相反方向流動。由於導電索不在閉合電路之中，電子會積聚在 Y 端，使 Y 端帶負電（圖 d）。

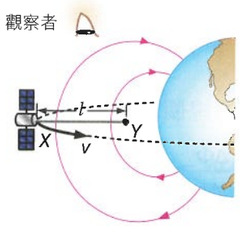


圖 c

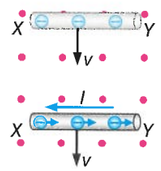
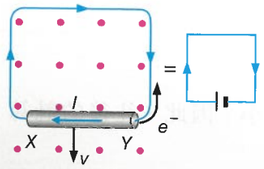


圖 d

習題與思考 5.2 Q7 (p.253)

導電索就像一顆乾電池，起點中的電動纜索也是以類似的原理運作。電子會從纜索底端的電子槍射出，並由頂端的衛星收集。如此，就形成一個完整的回路。纜索兩端的電壓可高達幾千伏特。



預試訓練 2 從 ε–t 線圖找出磁通量密度 ☆ 香港高級程度會考 2009 年卷二 Q3

圖 a 中，一個長度為 16 cm、闊度為 10 cm 的矩形金屬框 $PQRS$ 受外力作用，以恆速度 v 移向勻強磁場。圖 b 顯示金屬框中的感生電動勢 ε 怎樣隨時間 t 變化。

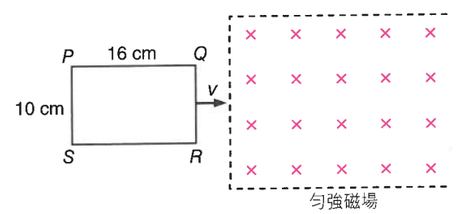


圖 a

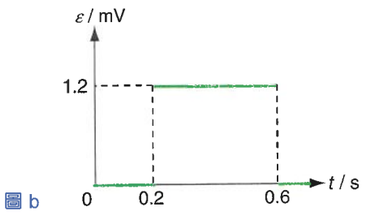


圖 b

(a) 在 $t = 0.2$ s 和 0.6 s 時，金屬框在甚麼位置？ (2 分)

(b) ε–t 線圖下的面積有甚麼物理意義？ (1 分)

(c) 求磁通量密度的量值。 (2 分)

(d) 試描述從 $t = 0.2$ s 至 0.6 s 之間的能量轉換。 (2 分)

題解

(a) 在 $t = 0.2$ s 時，QR 段剛進入磁場。 1A

在 $t = 0.6$ s 時，PS 段剛進入磁場。 1A

(b) ε–t 線圖下的面積是某時段內通過金屬框的磁通量變化。 1A

考慮法拉第定律的方程 $\varepsilon = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$（略去負號），$\varepsilon$ 和 t 的乘積就等於某時段內 Φ 的變化（即 $\Delta\Phi$）。

(c) 根據 $\Phi = BA$， 1M

$$B = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A}$$
$$= \frac{\varepsilon\text{–}t \text{ 線圖下的面積}}{\Delta A}$$
$$= \frac{(1.2 \times 10^{-3})(0.6 - 0.2)}{0.16 \times 0.1}$$
$$= 0.03 \text{ Wb m}^{-2}$$ 1A

常見錯誤
學生或會混淆磁通量密度 B 和磁通量 Φ。

(d) 外力對金屬框所作的功轉換為金屬框中的電能。 1A

電能再轉換為金屬框的內能，最終以熱的形式散失到周圍環境。 1A

常見錯誤
學生可能沒有察覺根據楞次定律，會有一道磁力作用於金屬框以阻礙它的運動，因此必須施加外力才能保持金屬框以恆速度移動。

複習 Q31 (p.277)

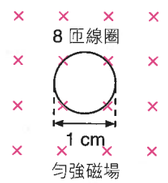
進度評估 3

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.241）。

1 1 下列各情況中的磁場都相同，哪一個線圈有最大的磁通匝鏈數通過？

A

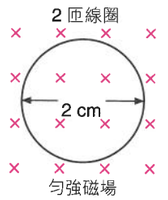
B



$N\phi = NBA$

C

D



1 2 圖 a 中，一個豎直、邊長為 10 cm 的方形線圈放置在 0.5 T 的勻強磁場內，磁場水平指向右。線圈平面最初與磁場成直角，然後沿轉軸轉動 15° 角。求轉動後通過線圈的磁通量。 4.83×10^{-3} Wb

[提示：$\Phi = BA\cos\theta = ?$]

$\phi = 0.5 \times (0.1)^2 \cos(15)$ $0° \to 15°$

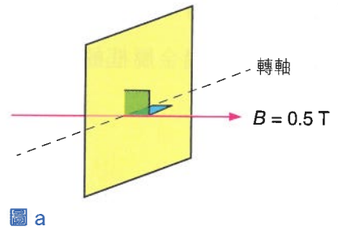


圖 a

2 3 圖 b 顯示在強度為 5 T 的磁場內，一支導電棒沿兩條平滑金屬軌道移動。

$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta NBA}{\Delta t} = -\frac{B\Delta A}{\Delta t}$

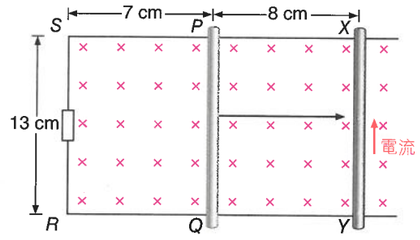


圖 b

$\varepsilon = \frac{5 \times (0.13 \times 0.08)}{0.5} = 0.104$ V

(a) 導電棒在 0.5 s 內以恆速率由 *PQ* 移到 *XY*。求導電棒中感生電動勢的大小。 0.104 V

(b) 判斷感生電流的方向。在圖 b 中以箭號表示答案。

3 應用法拉第定律的其他例子

以下是一些應用法拉第定律來解題的例子。

例題 6 計算感生電動勢

一個 10 匝的扁平線圈放在磁通量密度為 0.01 Wb m^{-2} 的勻強磁場內，磁場與線圈互相垂直，線圈的面積為 0.04 m^2（圖 a）。

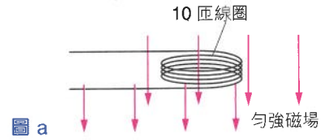


圖 a

(a) 假設磁通量密度在 0.5 s 內均勻地減少至零，計算線圈內感生電動勢的大小。

(b) 如圖 b 所示，線圈在磁場內轉動 60°，過程需時 0.2 s 。計算平均感生電動勢的大小。

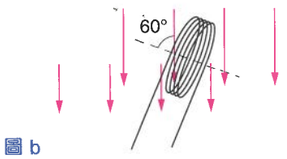


圖 b

題解

(a) $\varepsilon = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = NA\frac{\Delta B}{\Delta t}$

$= 10 \times 0.04 \times \frac{(0 - 0.01)}{0.5}$

$= -0.008$ V

因此，線圈內感生電動勢的大小是 0.008 V。

可略去 $\varepsilon = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 中的負號。

由於我們要找的只是感生電動勢的大小，答案會略去計算時所得出的負號。

(b) 平均感生電動勢 $\varepsilon = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

$= N\frac{BA\cos\theta - BA\cos 60°}{\Delta t}$

$= N\frac{BA(\cos\theta - 1)}{\Delta t}$

$= 10\left[\frac{(0.01)(0.04)(\cos 60° - 1)}{0.2}\right]$

$= -0.01$ V

因此，平均感生電動勢的大小是 0.01 V。

▶ 複習 Q30 (p.277)

F.X. Ext

例題 7 飛機機翼兩端的感生電動勢

一架飛機從北美洲以 270 m s^{-1} 的速率向東飛往歐洲。飛機雙翼總長度 l 為 60 m。在某刻，飛機所在位置的地球磁場與機翼（水平）成 70° 角，強度為 1.70×10^{-4} T（圖 a）。

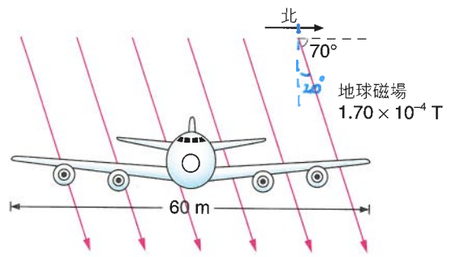


圖 a

隨着飛機飛過磁場，指向一方的翼尖變成帶正電，指向另一方的翼尖則變成帶負電。

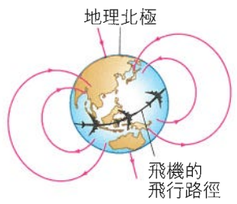
(a) 解釋兩邊翼尖帶電的原因。假設兩片機翼是一個連續的導體。

(b) 求機翼兩端之間感生的電勢差 V。

(c) 設地球磁場作用於機翼內電子的磁力為 F_B。計算 F_B 的水平分量，取電子的電量 = -1.60×10^{-19} C。

在這個情況，向北的翼尖帶正電，向南的帶負電。

飛機若沿下圖路徑飛行，機翼就不會切割或只會切割非常少量的磁力線，因此，機翼兩端不會感生明顯的電動勢。



題解

(a) 機翼切割地球磁場的磁力線，機翼兩端之間便感生電動勢。

另解：

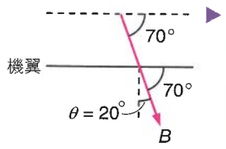
機翼上的電荷在地球磁場內移動，因此感受到磁力，電荷的分佈便改變。

(b) $\varepsilon = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{\Delta BA\cos\theta}{\Delta t} = B\cos\theta\dfrac{\Delta A}{\Delta t} = Bvl\cos\theta$

$\Rightarrow V = Bvl\cos\theta$

$= (1.70 \times 10^{-4}) \times 270 \times 60 \times \cos 20°$

$= 2.59$ V



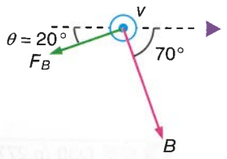
(c) F_B 的水平分量

$= F_B\cos\theta$

$= BQv\cos\theta$

$= (1.70 \times 10^{-4}) \times (-1.60 \times 10^{-19}) \times 270 \times \cos 20°$

$= -6.90 \times 10^{-21}$ N



F_B 的水平分量是 6.90×10^{-21} N。

複習 Q26 (p.275)

例題 8 電磁感應中的能量守恆

矩形線圈 $ABCD$ 正以恆速度 0.4 m s^{-1} 移離勻強磁場，磁場的強度為 2 T（圖 a）。已知 $ABCD$ 每單位長度的電阻是 2 Ω m^{-1}。

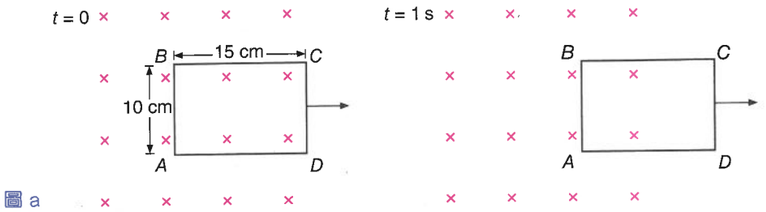


圖 a

(a) 考慮磁通量。找出線圈移離磁場時，AB 兩端的感生電動勢的大小。

(b) 求線圈中的感生電流，並指出它的方向。

(c) (i) 為甚麼要施加外力 F 線圈才可保持以恆速度 v 移動？

(ii) 根據能量守恆定律，計算線圈內的感生電動勢。這個結果與 (a) 部的答案相符嗎？

題解

(a) 線圈的磁通量變化率

$= \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{\Delta BA}{\Delta t} = B\dfrac{\Delta A}{\Delta t} = B\left(\dfrac{v\Delta tl}{\Delta t}\right) = Bvl$

$= 2 \times 0.4 \times 0.1 = 0.08$ T m^2 s^{-1}

由於 $\varepsilon = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，感生電動勢的大小是 0.08 V。

感生電動勢也可從方程 $\varepsilon = Bvl$ 得出。

(b) $ABCD$ 的總電阻是

$R = 2\ \Omega\ m^{-1} \times (0.1 \times 2 + 0.15 \times 2)$ m $= 1\ \Omega$

感生電流 $= \dfrac{\varepsilon}{R} = \dfrac{0.08}{1} = 0.08$ A

根據楞次定律，感生電流以順時針方向流動。

作用在載電流導線上的磁力 $F = BIl\sin\theta$。

(c) (i) 因為 AB 內有感生電流 I 流動，所以會有磁力 F' 作用於 AB。根據弗林明左手定則，F' 的量值為 BIl（l 為 AB 的長度），指向左。因此，需要一道外力 F 來平衡 F'，線圈才能以恆速度移動。

(ii) 外力產生的功率 $= Fv = BIlv$

輸出的電功率 $= \varepsilon I$

根據能量守恆定律，

$BIlv = \varepsilon I$

$\varepsilon = Blv = 2 \times 0.1 \times 0.4 = 0.08$ V

這支持我們的說法：楞次定律是能量守恆的結果。

結果與 (a) 部的答案相符。

習題與思考 5.2 Q6 (p.253)

F.X. Ext

4 探察線圈

在第 4 課，我們學過用電流天平來量度恆定的磁場，但怎樣才可以量度不斷變化的磁場呢？

探察線圈（圖 5.2d）是一種應用電磁感應的儀器，可以量度變化不定的磁場。這種儀器有一個多匝的細小圓形線圈，常見的類形約有 5000 匝，面積約為 1 cm^2。線圈通常安裝在長手柄的末端，以便放在不同的位置量度。圖 5.2e 顯示軸向型和橫向型兩種手柄。

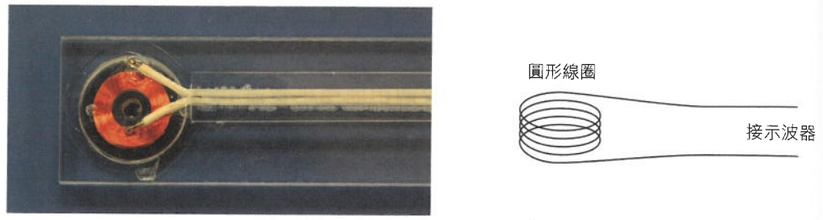
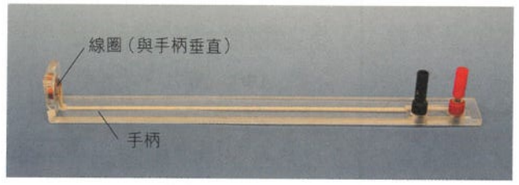


圖 5.2d 某款式探察線圈的內置圓形線圈有 5000 匝，面積約為 1 cm^2

(i)



(ii)

圖 5.2e (i) 軸向型及 (ii) 橫向型探察線圈

當探察線圈置於變化的磁場之中，除非線圈與磁場平行，否則線圈兩端便會出現感生電動勢。感生電動勢與磁場的變化率成正比。磁場 B 垂直於線圈時，

$$\text{感生電動勢的大小 } \varepsilon = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = NA\frac{\Delta B}{\Delta t}$$

由此可見，有較多匝數和較大截面積的探察線圈，能產生較大的感生電動勢，亦即代表有較高的靈敏度。

若探察線圈量度的磁場強度隨時間改變，線圈上的感生電動勢也會出現相應變化。如果把探察線圈連接到示波器，就能從示波器上顯示的波形，推算出感生電動勢的大小和頻率。

感生電動勢隨交流電的頻率增加，因此，使用較高頻的交流電能提高探察線圈的靈敏度。

探察線圈 search coil

錄像片段 5.5

→ 錄像片段 5.5 示範實驗 5d。

轉動探察線圈，直至示波器錄得最大的峯值，以確保探察線圈與磁場互相垂直。

實驗 5d 以探察線圈研究磁場

1 把探察線圈連接到示波器。

2 把長直導線接至訊號產生器（圖 a），把輸出電壓的頻率設定為 5 kHz，用探察線圈量度離開導線不同距離的磁場，以及不同大小的電流通過導線時的磁場。

圖 a

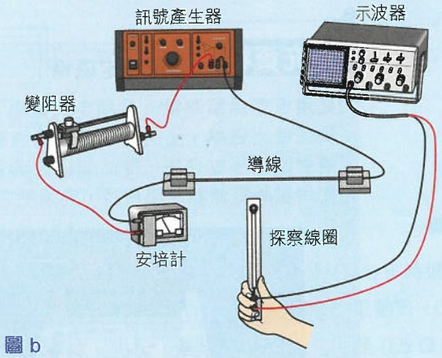


圖 b

3 用軟螺線管取代長直導線（圖 c），並重複步驟 2。按壓軟螺線管，磁場會怎樣改變？

4 用方形螺線管取代長直導線（圖 d），並重複步驟 2。使用不同截面積的方形螺線管，磁場會怎樣改變？

圖 c

圖 d

討論

1 電流增大時磁場強度會怎樣改變？增加

2 螺線管產生的磁場怎樣隨每單位長度的線圈數目而改變？又怎樣隨螺線管截面積而改變？磁場隨每單位長度的線圈匝數而增加，但與螺線管的截面積無關。

實驗 5d 中，變化不定的電流通過導線及螺線管時，產生一個不斷變化的磁場，這個磁場可用探察線圈來測量。只要電流的大小及頻率保持不變，我們就能研究磁場強度怎樣受不同因素影響。

進度評估 4

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.241）。

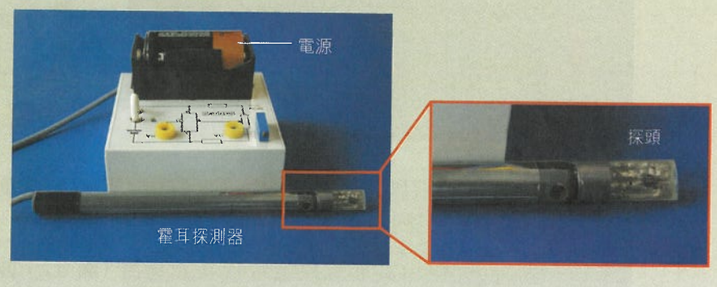
3 **1** 以下哪些改變會使探察線圈的讀數上升？

(1) 增加線圈的匝數
(2) 增加線圈的截面積
(3) 提高磁場的變化率

A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

補充資料 測量穩定磁場

要用探察線圈測量一個穩定的磁場，就不能把線圈放在固定的位置，而是要讓它快速進出磁場，使通過線圈的磁通量產生變化。如果以電動機驅動線圈，就能知道線圈的移動速率，從而知道磁通量的變化。另一個測量穩定磁場的方法，就是使用霍耳探測器。使用時，只須把它的探頭固定在磁場中便可。



習題與思考 5.2

1 **1** 下列哪些是磁通量密度的單位？

(1) 忒斯拉
(2) 韋伯
(3) 韋伯每平方米

A 只有 (1)
B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

3 **2** 某探察線圈置於一個不斷變化的磁場時感生出電動勢，最大值是 R。以下哪項改變**不會**把感生電動勢的最大值增加至 $2R$？

A 磁場的變化率增至原來的兩倍
B 探察線圈的線圈面積增至原來的兩倍
C 探察線圈的匝數增至原來的兩倍
D 探察線圈的直徑增至原來的兩倍

2 ★**3** 一個面積為 A 的導電環在勻強磁場中轉動90°，變成與磁場平行（圖 a）。整個過程歷時 0.2 s，導電環可讓磁場通過的面積，變化率為恆定。在導電環感生的平均電動勢為 ε。試估算在轉動之前，通過環的磁通量。

A $\frac{\varepsilon}{5A}$
B $5\varepsilon A$
C $\frac{\varepsilon}{5}$
D 5ε

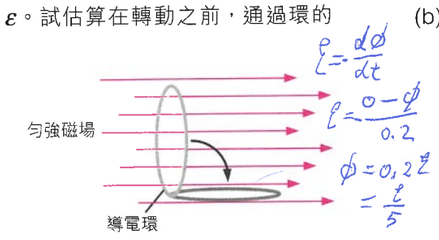


圖 a

3 **4** 圖 b 顯示一個彈簧連接直流電源後，便有穩定的電流通過。探察線圈連接到示波器的 Y 輸入端，並放置在彈簧的中心。

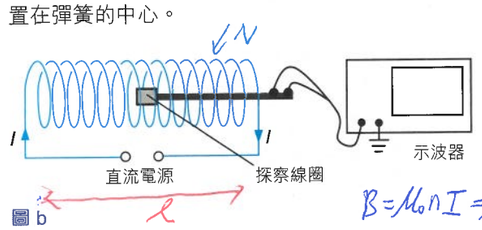


圖 b

如果突然拉開彈簧的兩端，示波器顯示屏便會出現一個波尖（圖 c）。

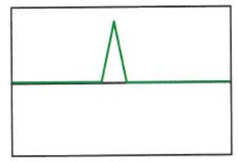


圖 c

(a) 為甚麼顯示屏出現了一個波尖？試扼要解釋原因。
(b) 所用的探察線圈屬於哪個類型？軸向型
(c) 建議產生波尖 / 波谷的另一個方法。

1, 2 ★**5** 如圖 d 所示，金屬棒以固定速率 3 cm s^{-1} 沿着兩條光滑的平行金屬路軌移動，穿過指入書頁的磁場。磁場的磁通量密度是 1.8 T。AB 的距離是 10 cm。

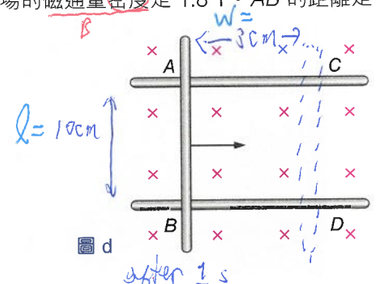


圖 d

(a) AB 間會產生感生電動勢和感生電流嗎？試扼要解釋原因。如有感生電動勢或感生電流產生，求它們的大小。5.4 × 10^{-3} V；沒有感生電流
(b) 一個電阻為 2 Ω 的燈泡連接到 CD 兩端。
(i) 電流會朝哪個方向流動？順時針方向
(ii) 求燈泡消耗的功率。1.46 × 10^{-5} W
(iii) 是否要施加外力來保持金屬棒以勻速移動？試簡略解釋原因。如果需要外力，這個力的量值是多少？是；4.86 × 10^{-4} N
(iv) 建議兩個增加燈泡亮度的方法。

1, 2 ★**6** 一個邊長為 5 cm 的方形線圈置於勻強磁場內，磁場由 1.2 T 開始以恆定的率逐漸增強（圖 e），在 5 s 後增至 2.4 T（圖 f）。

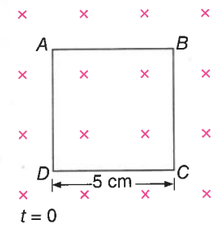


圖 e

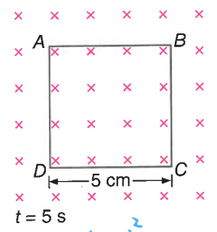


圖 f

(a) 求在 t = 0 及 t = 5 s 時通過線圈的磁通量。
(b) 求線圈中的感生電動勢。6 × 10^{-4} V
(c) 若線圈的總電阻是 0.5 Ω，求線圈中電流的大小和方向。1.2 × 10^{-3} A（逆時針方向）

2 ★**7** 參閱例題 5 (p.244)。假設在 XY 兩端量度得到的最大電勢差是 4800 V，XY 的長度是 20 000 m，在導電索位置的地球磁場強度是 32 μT。

(a) 人造衛星的速率是多少？7500 m s^{-1}
(b) 求人造衛星離地球表面的高度。已知萬有引力常數 G 是 6.67 × 10^{-11} N m^2 kg^{-2}，地球的質量 M_E 和半徑 R_E 分別是 5.97 × 10^{24} kg 和 6370 km。709 km
(c) 在大部分時間，在 XY 兩端量度得到的電勢差一般都少於 4800 V，試說出一個理由。
(d) 在 XY 兩端量度得到的電勢差為 3500 V 時，XY 和地球磁場之間的角度是多少？46.8°

5.3 電磁感應的應用

✔ 本節重點
1 轉動線圈中的感生電動勢和電流
2 簡單交流發電機
3 簡單直流發電機
4 實用發電機
5 渦電流
6 電磁感應的應用

起 點 數碼筆

不斷重複按動鍵盤和滑鼠，雙手必定變得疲累不堪。不想十根指頭再受折磨，可改用數碼筆。它的用法跟平常用筆寫字畫圖一樣，只不過並非寫在紙上，而是在感應板上。有些數碼筆是無線且不用安裝電池，它們究竟是怎樣運作的？參看第265頁。

電磁感應用途廣泛，以下舉出一些例子。

1 發電機

發電機的規模有大有小。小型發電機可用作單車頭燈的電源（圖 5.3a），發電站內的巨型發電機則可供應市電給住所、辦公室和工廠（圖 5.3b）。所有發電機的原理都大同小異，都是利用電磁感應現象，在磁場中轉動線圈以產生電流。

發電機基本上是個能量轉換器，能把其他形式的能量轉換成電能。它運作起來就像是一台反向操作的電動機。

生活中的物理

手搖電筒

這種電筒內置了「發電機」。搖動電筒，內裏的磁鐵就會快速進出線圈，因而感生出電壓，替電池充電。

錄像片段 5.6

→ 錄像片段5.6演示怎樣操作手搖電筒。

圖 5.3a 小型單車發電機

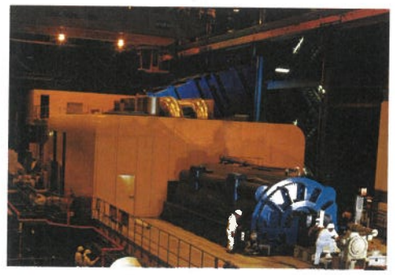


圖 5.3b 發電站內的大型發電機

發電機 generator / dynamo

模擬程式 5.2

→ 模擬程式5.2展示在磁場中轉動的線圈怎樣產生感生電流。

a 線圈轉動時的感生電動勢和電流

讓我們看看在磁場中轉動的線圈，所產生的感生電動勢和感生電流會怎樣變化（圖 5.3c）。

① 線圈從水平位置開始轉動，*AB* 和 *CD* 兩邊分別向上和向下移動。結果兩邊都感生出電動勢，就像兩顆串聯的電池一樣，驅動電流流過線圈以及外電路。

② 線圈轉動四分之一周後便經過垂直位置。在這一刻，*AB* 和 *CD* 兩邊的運動方向正好與磁場平行，因此兩邊並沒有切割任何磁力線，線圈中的感生電動勢和感生電流下降至零。

③ 線圈剛好轉動半周。在外電路中，感生電流的方向與 ① 相反，這是因為 *AB* 和 *CD* 兩邊本來在 ① 分別向上和向下移動，現在變成以反方向移動，而導線開始在 *E* 處纏繞。

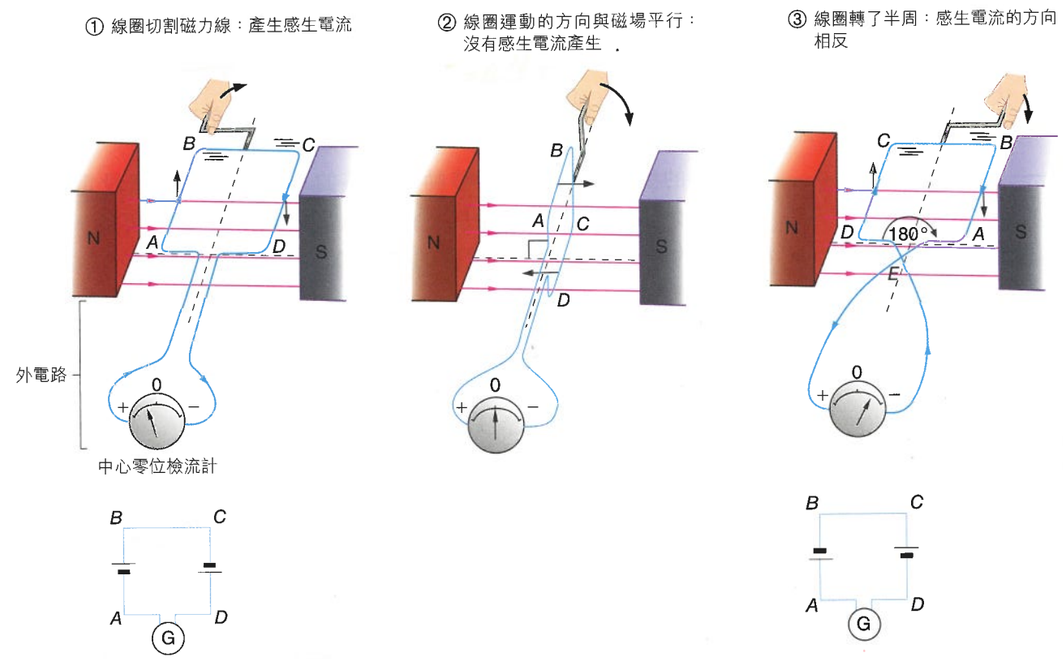


圖 5.3c 線圈轉動時產生的感生電動勢和感生電流

線圈轉動四分之三周後，再次處於垂直位置，感生電流再次消失；轉動一周後，情況又與 ① 一樣。如果線圈一直在轉，通過它的電流就會不斷前後交替流動（交流電），但另一方面導線卻會繞在一起。以下部分會討論讓線圈不斷轉動的方法。

→ **模擬程式 5.3** 展示一個簡單交流發電機的運作情況，並說明線圈轉動時，交流電的大小怎樣隨時間而變化。

模擬程式 5.3

b 簡單交流發電機

圖 5.3d 展示簡單**交流發電機**的基本結構。發電機內的線圈安裝在軸承上，並置於磁鐵的兩極之間。兩個銅製的**匯電環**附於線圈的末端，隨線圈一起轉動。兩個碳電刷輕輕壓住匯電環，把它們連接到外電路。

匯電環這個裝置與轉動部分連接，作用是避免導線互相纏繞，讓線圈可以不斷轉動。

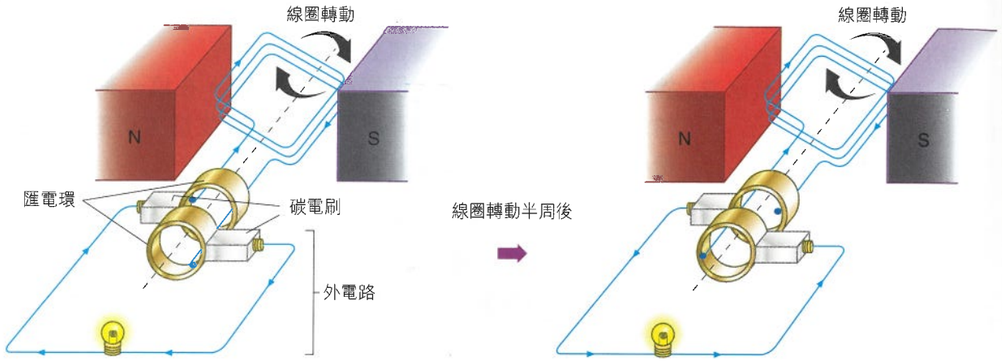


圖 5.3d 簡單的交流發電機。外電路的電流會在線圈轉動半周之後倒轉方向

線圈轉動時，線圈中會感生出交變電動勢，驅動交流電通過外電路。

圖 5.3e 的線圖顯示，線圈轉動一周時的電流變化。線圖設電流以某一方向流動時為正 (+)，以相反方向流動時為負 (–)。從中可見，交流發電機輸出的交流電頻率，與線圈的轉動頻率必定相同。

線圈的轉動頻率就是每秒內完成的周數。

之前提及，感生電動勢與磁力線的切割率成正比。線圈與磁場互相平行時，磁力線的切割率最高，因此電流最大；線圈與磁場互相垂直時，磁力線的切割率為零，因此電流也為零 (圖 5.3f)。

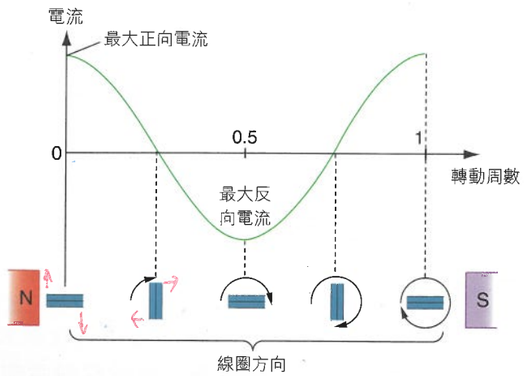


圖 5.3e 交流發電機產生的電流

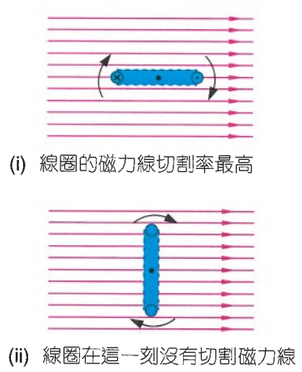


圖 5.3f 線圈處於不同角度時，磁力線的切割率並不相同，因而產生大小不同的電流

交流發電機 a.c. generator / alternator　匯電環 slip ring

試利用法拉第定律去了解這些增加感生電動勢與感生電流的方法。

發電機產生的感生電動勢與感生電流可用以下方法增加：

1. 改用更強的磁鐵
2. 增加線圈的匝數
3. 增加線圈在磁場內的面積
4. 把線圈繞在軟鐵心上
5. 加快線圈轉動的速率 (即增加頻率)

例題 9 交流發電機的電流

圖 a 顯示一部簡單交流發電機所產生的交流電，怎樣隨時間變化。

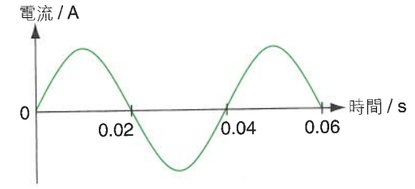


圖 a

(a) 這台發電機產生的交流電，頻率是多少？

(b) 如果線圈的轉速提高至原來的兩倍，交流電的 (i) 頻率；(ii) 最大值有甚麼變化？試草繪轉速改變後的電流與時間關係線圖。

題解

(a) 線圈用 0.04 s 轉動 1 周。

∴ 週期 $T = 0.04$ s。

頻率 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.04} = 25$ Hz

(b) 如線圈轉速提高至原來的兩倍：

(i) 交流電的頻率也增加至原來的兩倍，即為 50 Hz 。

(ii) 交流電的最大值會增大，原因是線圈加快切割磁力線。

圖 b 顯示轉速改變後的電流與時間關係線圖。

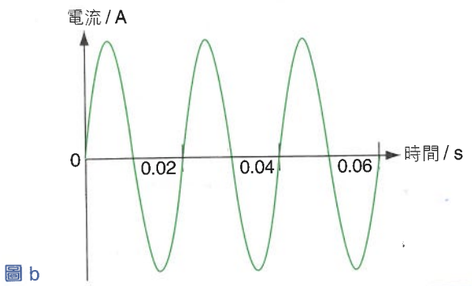


圖 b

進度評估 5 Q1 (p.260)

提醒學生他們已在 3B 冊第 4 課學過 $f = \frac{1}{T}$ 這個關係。

模擬程式 5.4

換向器由兩個半環組成，和交流發電機中所用的匯電環不同。

→ **模擬程式 5.4** 展示一個簡單直流發電機的運作情況，並說明線圈轉動時，直流電的大小怎樣隨時間而變化。

c 簡單直流發電機

▶ 如果以電動機的換向器取代匯電環，交流發電機就會變為**直流發電機**（圖 5.3g）。

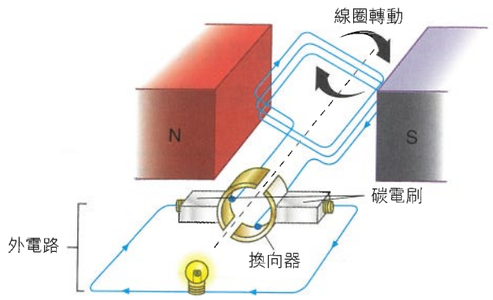


圖 5.3g 簡單的直流發電機

線圈每當經過垂直位置，換向器就改變線圈與線圈外電路的連接方向，使外電路的電流總是以同一方向流動。

圖 5.3h 顯示線圈轉動一周時電流的變化。雖然電流的大小不斷改變，但方向始終不變，因此所產生的是直流電。線圈每轉動一周，電流會經過兩個週期的改變。

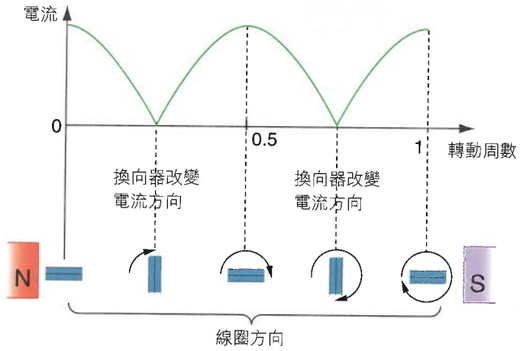
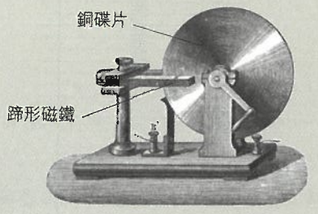


圖 5.3h 直流發電機產生的電流

歷史點滴 第一台直流發電機

1831 年，法拉第製造了直流發電機的原始模型，這個模型稱為法拉第碟片。模型的結構很簡單，基本上是把一個可轉動的銅碟片放在蹄形磁鐵的兩極之間，所產生的直流電壓非常低。



法拉第碟片

直流發電機 d.c. generator

d 實用發電機

i 單車發電機

單車發電機與簡單交流發電機的構造不同，它有一捆套在 C 形軟鐵心上的線圈，以及一塊可**轉動**的永久磁鐵（圖 5.3i），這樣電路就不必透過移動觸頭來連接。磁鐵轉動時產生感生交流電，使單車頭燈發亮。

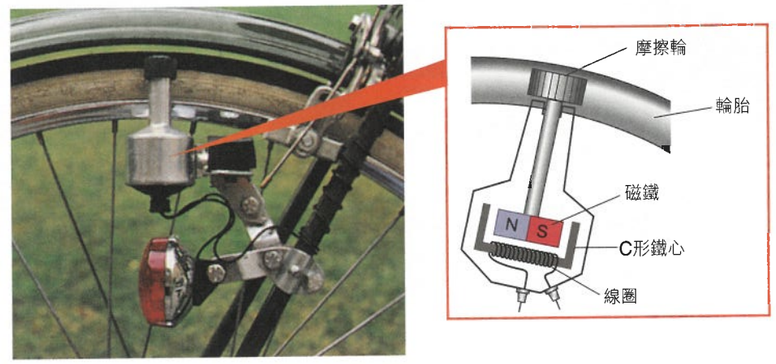


圖 5.3i 單車發電機的內部結構

ii 交流發電機

實用交流發電機一般內置電磁鐵，以產生變化不定的磁場。電磁鐵可以轉動（稱為轉子），外圍則放置幾組固定的線圈（稱為定子）。

圖 5.3j 為交流發電機內部結構的示意圖。轉子安裝在定子之內，要轉動轉子，只須對它施加一個很小的力矩。而轉子的場線圈通電後，換向器和碳電刷也只會有相對較小的電流通過。在定子感生的強大電流會經固定的連接線路流到負荷，這樣就可以減少產生火花。

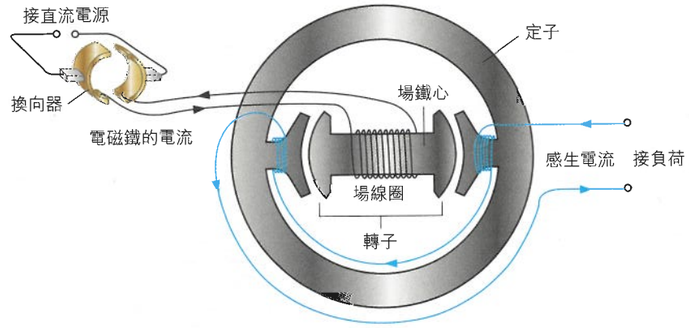


圖 5.3j 交流發電機的結構

發電站使用巨型的交流發電機來發電（圖 5.3k），發電機通常由蒸汽渦輪機推動（圖 5.3l），動力來源可以是化石燃料或核反應堆。交流發電機所產生的交流電會經由市電的電路到達我們家中。

市電已在單元3.2討論過。 ▶

圖 5.3k 青山發電廠內的發電機，每台功率為 350 MW

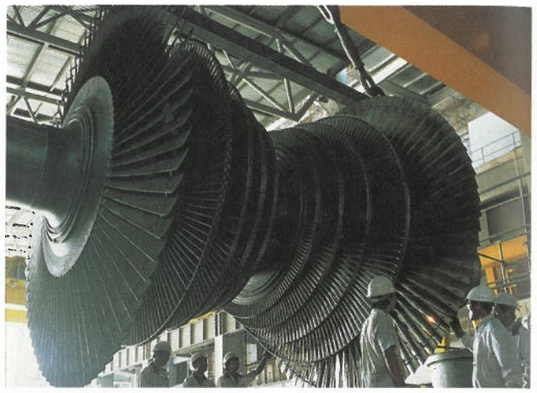


圖 5.3l 青山發電廠內的蒸汽渦輪機

進度評估 5

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.254）。

1 (a) 交流發電機內的線圈每轉動多少周，電流便換向一次？半周

2, 3

(b) 直流發電機內的線圈每轉動一周，電流便出現多少個峯值？2

(c) 圖 a 和 b 分別顯示簡單交流和直流發電機所產生的電流，怎樣隨時間變化。求每台發電機的線圈轉動一周的時間。據此，找出它們的頻率。

兩者都是0.1 s、10 Hz。

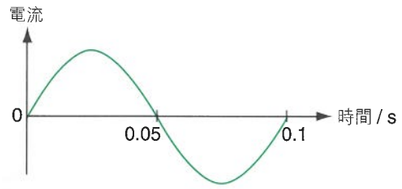


圖 a

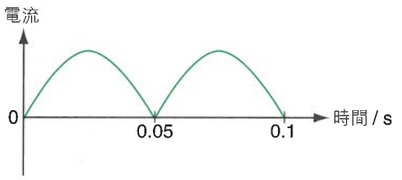


圖 b

生活中的物理

風能

風力渦輪機利用風能發電。風推動渦輪機的扇葉，轉動發電機巨型磁鐵內的銅線圈，電力於是由電磁感應產生。詳細討論見 E3冊單元4.2。

南丫島南丫風采發電站的風力渦輪機

2 渦電流

電磁感應會產生一些有趣的現象，實驗 5e 介紹部分例子。

錄像片段 5.7

→ 錄像片段5.7示範實驗 5e。

實驗 5e 渦電流

1 把 1100 匝的線圈放在鐵支架底部。在線圈頂部插入鋁環（圖 a），再把線圈連接到直流電源。

2 開啟電源，觀察鋁環的反應。

3 改用一個有開口的鋁環（圖 b），重複步驟 2。

4 以交流電源取代直流電源，重複步驟 2 至 3。

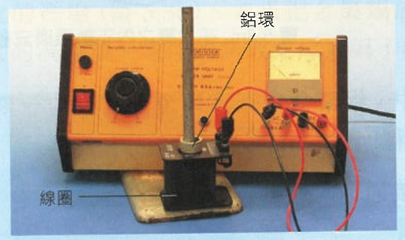


圖 a

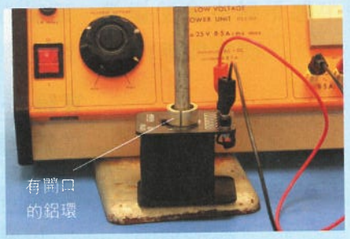


圖 b

5 把一塊鋁片懸起，確保它可以沿支點自由搖擺。把鋁片置於一對平板形磁鐵之間（圖 c）。

6 把鋁片拉到一側，然後放開，觀察鋁片的運動。以有縫的鋁片重複實驗（圖 d）。

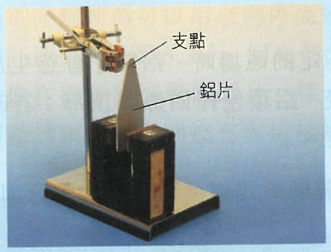


圖 c

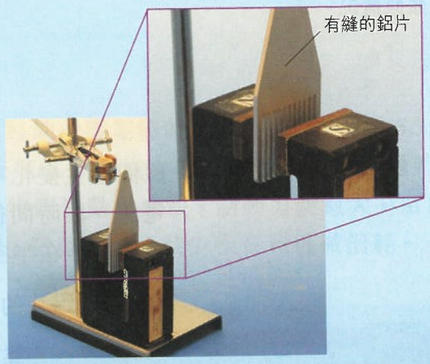


圖 d

討 論

直流電源：鋁環在接通電源和切斷電源的一刻彈起；
交流電源：鋁環彈起並一直懸浮在半空

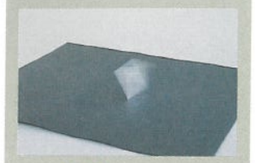
1 使用直流電源和交流電源時，兩個鋁環有甚麼反應？

2 為甚麼要使用有開口的鋁環和有縫的鋁片？防止感生電流流過整個導體

物理 DIY

舞動的鋁箔

相信你也知道磁鐵可以吸引鐵但不能吸引鋁，但你又知不知道磁鐵可用來移動鋁箔？



牛津物理網

金屬在磁場中移動或置於變化的磁場時，感生電動勢便會產生，並在**金屬之內**形成不斷循環流動的感生電流，這種電流稱為**渦電流**（圖 5.3m）。

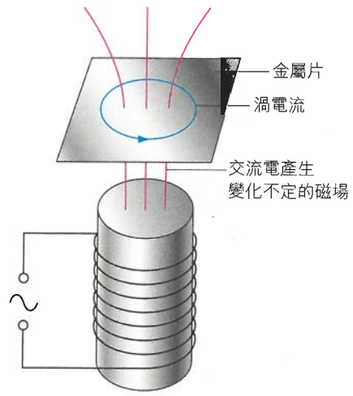


圖 5.3m 在金屬之內不斷循環流動的渦電流

實驗 5e 中，鋁環會在直流電源開或關的一刻彈起，這個現象可以用渦電流來解釋（圖 5.3n）。

① 電源接通時，通過鋁環的磁場會增強。

② 這個變化使鋁環感生出渦電流。

③ 渦電流產生的磁場，與線圈那個正在增強的磁場抗衡。

④ 鋁環被推向上。

電源關閉那一刻，也會發生類似情況。 ▶

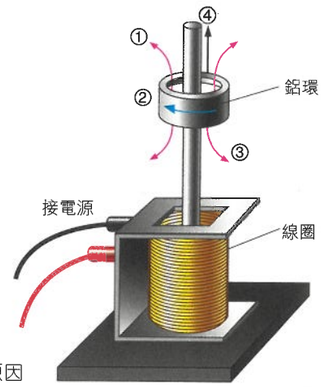


圖 5.3n 鋁環彈起的原因

線圈產生變化不定的磁場時，鋁環才會感生出渦電流。因此，接通直流電源一段時間後，鋁環便掉回線圈頂部；若改用交流電源，鋁環便可以一直懸浮在半空。

實驗 5e 鋁片的擺動方式也可以用類似的原因解釋（圖 5.3o）。

① 隨着鋁片靠近磁鐵，通過鋁片的磁場增強。

② 這個變化使鋁片感生出渦電流，渦電流的流動方向會阻礙鋁片的運動，產生制動力，迅速遏止鋁片擺動。

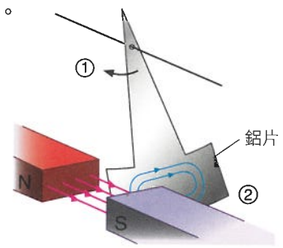


圖 5.3o 鋁片迅速停止擺動的原因

渦電流 eddy current

渦電流通常都選取低電阻的路徑，所以即使感生電動勢很小，電流也可以很大。渦電流能產生熱效應和磁效應，這些效應可以應用於日常生活，但有時卻會帶來不便。

3 渦電流的實際應用

渦電流有不少用途，下面介紹一些例子。

→ **錄像片段 5.8** 展示一個探究感應生熱的實驗，能解釋電磁爐的運作原理。

錄像片段 5.8

a 電磁爐

關於電磁爐，E3 冊有更詳細的討論。 ▶

電磁爐（圖 5.3p）內有多組線圈。高頻交流電通過線圈時，產生高速變化的磁場（圖 5.3q）。如果把金屬鍋放在爐面，磁場便會在鍋子感生強大的渦電流。電流的熱效應導致鍋子變熱，並煮熟內裏的食物。

物理 DIY

飄浮的鋁片

把鋁片放在電磁爐上，會有甚麼事情發生？

牛津物理網

圖 5.3p 電磁爐

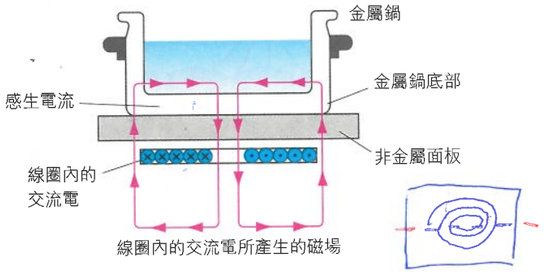


圖 5.3q 電磁爐的運作原理

b 渦電流制動器

物體的動能轉換為渦電流的電能，最後以熱的形式散失。 ▶

渦電流制動器可以用來剎停高速移動的導電物體，例如過山車（圖 5.3r）和高速列車（圖 5.3s）。制動器安裝了一組強力磁鐵，導電物體經過時，就像在磁極間擺動的鋁片一樣。物體移動得愈快，制動力便愈大。由於制動器與物體之間沒有直接接觸，這種設計可減少噪音和機械損耗。

圖 5.3r 過山車使用的渦電流制動器

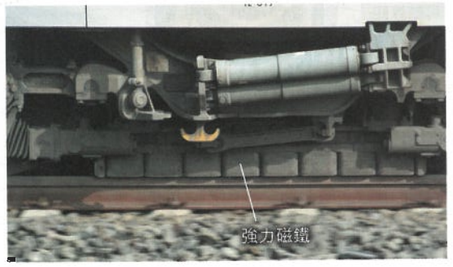


圖 5.3s 高速列車使用的渦電流制動器

c 感應爐

感應爐（圖 5.3t）是一種能熔化金屬的機器。爐內有一個坩堝，用來盛載金屬，外圍繞了一匝匝線圈。交流電通過線圈時，產生高速變化的磁場，繼而在金屬內感生渦電流（圖 5.3u），金屬便因受熱而熔化。只要改變交流電的大小，便可準確調節加熱的溫度。用這種方法熔化金屬，既清潔又具能源效益，而且沒有物質燃燒，因此不會產生灰塵和污染物。

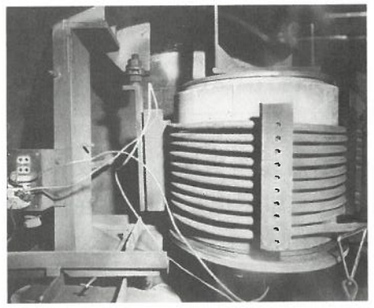


圖 5.3t 感應爐

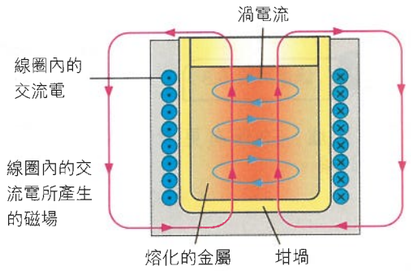


圖 5.3u 感應爐的運作原理

4 電磁感應的其他應用例子

a 動圈式微音器

動圈式微音器由一捆與膜片相連的小線圈，以及圓柱形的永久磁鐵組成（圖 5.3v）。線圈可在圓柱形磁鐵內自由上下運動。我們對着微音器唱歌或說話時，膜片就會隨聲波振動，帶動線圈在磁鐵兩極之間上下移動，並產生感生交流電（圖 5.3w）。

線圈會以垂直於磁場的方向運動。

感生交流電會隨着聲波的頻率和振幅而變化，可用揚聲器放大，並還原為聲音。

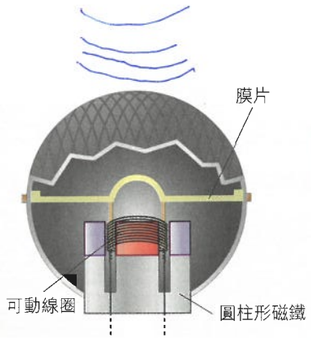


圖 5.3v 動圈式微音器的結構

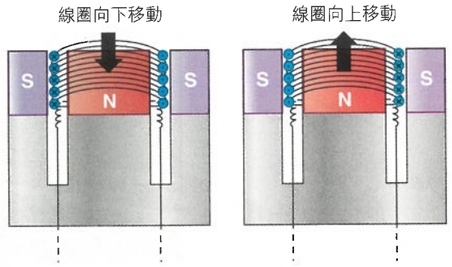


圖 5.3w 動圈式微音器內的感生交流電

b 數碼筆

數碼筆（圖 5.3x）是一種電腦的輸入裝置，可以記錄字跡和筆觸。這種裝置要配合感應板使用，而感應板須接駁電腦。某些款式的數碼筆無須接駁電源，僅靠電磁感應來運作。

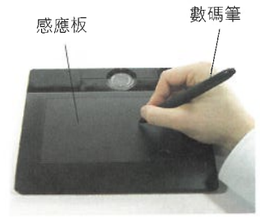


圖 5.3x 數碼筆

該款數碼筆內置一組線圈；感應板也安裝了一列列的線圈，所產生的變化磁場會在數碼筆的線圈內感生出一道弱電流（圖 5.3y）。感應板的線圈還可以探測上述弱電流所產生的弱磁場（圖 5.3z），從而找出筆尖在感應板上的位置，並把資料傳送到電腦。

在**起點**中的問題，你現在回答得到嗎？

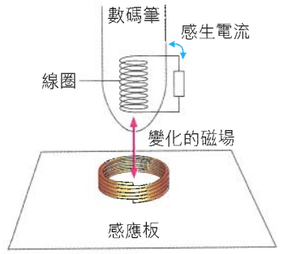


圖 5.3y 感應板中的線圈產生變化的磁場為數碼筆提供能源

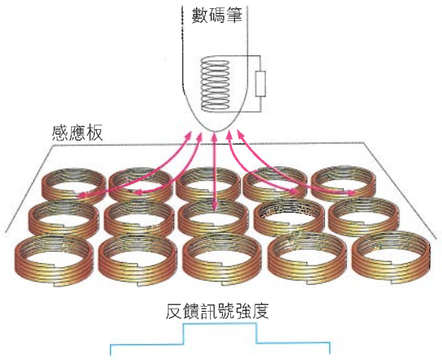


圖 5.3z 感應板內的線圈可以探測數碼筆的位置

c 電腦硬碟

電腦硬碟由數片可旋轉的磁碟組成（圖 5.3aa），每片的表面都有一層薄薄的磁性微粒，這些微粒的作用就像許多細小的磁鐵一般。

磁碟的每一面都有個讀寫磁頭，會在磁碟間以平行磁碟的方向移動。每個磁頭基本上是個小軟鐵心，上面繞了線圈（圖 5.3ab）。

圖 5.3aa 電腦硬碟

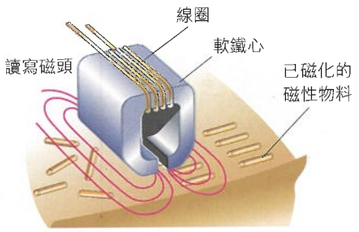


圖 5.3ab 電腦硬碟的內部結構

講解電腦硬碟這部分後，可着學生為各段起個標題，以幫助他們組織資料，透過分析文章的結構，發展他們的寫作技巧。以下是各段標題的建議：

1 硬碟的主要部分
2 讀寫磁頭的構造
3 寫入資料的過程
4 讀取資料的過程

資料寫進硬碟前，先轉換成交流電訊號。磁碟經過磁頭時，交流電訊號會磁化磁碟上的微粒，令它們按照特定方式排列。於是資料就以「磁」的形式記錄下來（圖 5.3ac(i)）。

讀取的原理與寫入的原理剛好相反。磁碟經過磁頭時，磁性微粒的磁場會使磁頭感生出交流電（圖 5.3ac(ii)）。這些交流電訊號，可轉換為原來的資料。

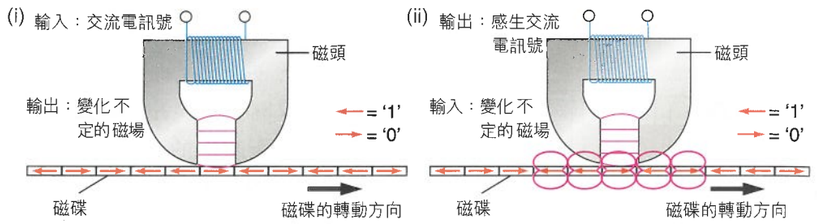
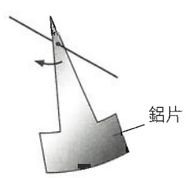


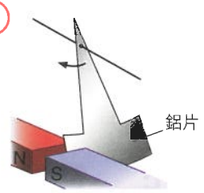
圖 5.3ac 在電腦硬碟上 (i) 寫入和 (ii) 讀取資料

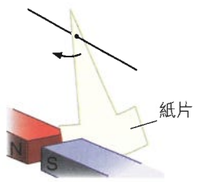
進度評估 6

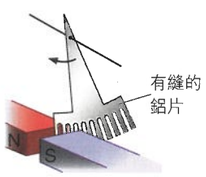
✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.254）。

5 **1** 下列各圖中，所有薄片的大小相同，而且都可自由擺動。若把這些薄片拉至相同的高度後釋放，哪一塊會最先停下？

A


B


C


D


6 **2** 是非題：電磁爐啟動後，置於上方的鋁片便會變熱（圖 a）。（對 / 錯）

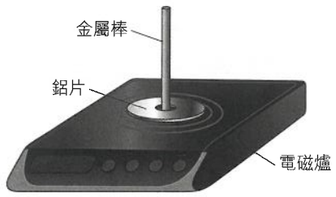


圖 a

生活中的物理 電磁感應的其他應用例子

金屬探測器

金屬探測器常用於保安檢查、掃除地雷（圖 a）、尋寶。這種儀器利用有交流電通過的線圈產生迅速變化的磁場。如果把探測器放近金屬物體，這個不斷變化的磁場會在金屬物體內部感生出電流脈衝，感生電流所產生的磁場反過來影響原有的磁場，因而觸發警報系統。

圖 b

八達通

八達通卡內有一個特製的線圈，每張卡的線圈形狀都略有不同。八達通讀卡機發出以某種規律變化的磁場，在線圈中產生感生電流。透過探測對方的磁場，讀卡機和八達通卡就可以互相讀取和寫入資料（圖 b）。

圖 a 掃除地雷

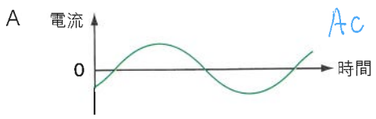
習題與思考 5.3

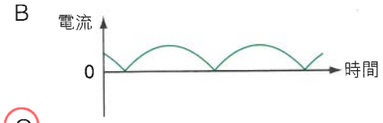
✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.254）。

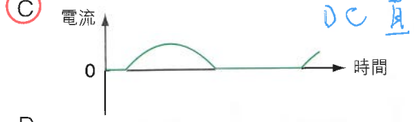
（**第 1 至 2 題**）考慮以下的發電機。

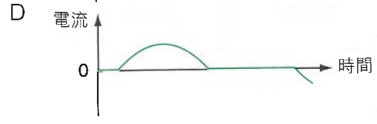
圖 a

3 **1** 下列哪一幅線圖正確顯示出發電機的輸出電流對時間的變化？

A


B


C


D


3 **2** 下列哪些改變**不能**增加發電機產生的感生電動勢的最大值？

(1) 改用更強的磁鐵
(2) 增加線圈的轉動頻率
(3) 把匯電環改成換向器

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (3)
D 只有 (1) 和 (2)

1 **3** 一個線圈連接到電源並繞在鐵棒上（圖 b）。一個鋁環一直浮在線圈上方的半空中。電源輸出的可能是下列哪種電流？

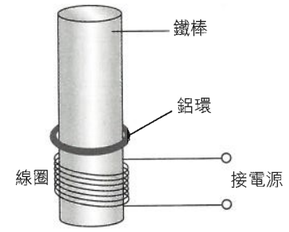


圖 b

(1) 交流電
(2) 穩定的直流電
(3) 變化不定的直流電

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (1) 和 (3)

★4
★5

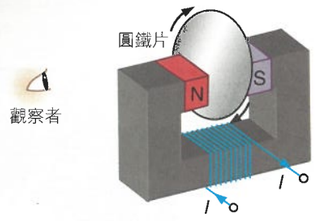
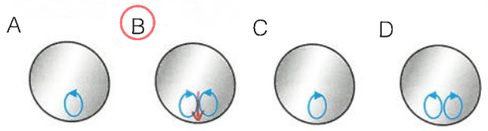


圖 c

圓鐵片在蹄形磁鐵兩極之間沿順時針方向以恆速旋轉（圖 c）。下列哪一幅圖最能展示觀察者看到渦電流在鐵片中的流動情況？

A　B　C　D



2 **5** (a) 試輔以繪圖，簡略描述怎樣把圖 d 的簡單電動機變成交流發電機。

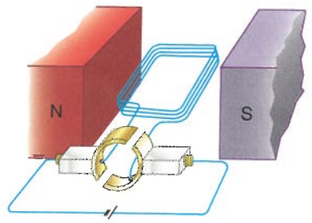


圖 d

(b) 試就你的設計提出兩項能增大輸出電流的改動。

★6
6

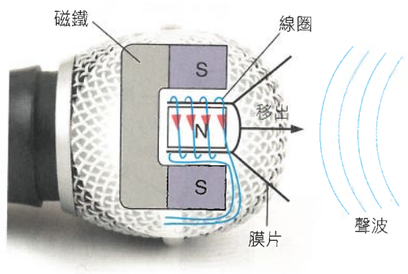


圖 e

(a) 試解釋圖 e 中的微音器怎樣運作。

(b) 在圖 e 所示瞬間，膜片正移出磁鐵。在圖中標示線圈中感生電流的方向。

(c) 寫出兩個增大輸出訊號振幅的方法。

(d) 試描述向微音器說話時出現的能量轉換。

★7
★6

圖 f 顯示用來量度風速的簡單風速計。風起時，永久磁鐵會隨風杯轉動，線圈中則會感生出電流。

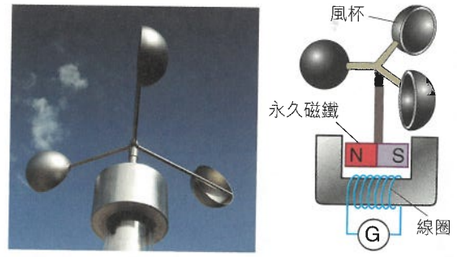


圖 f

(a) 試解釋該風速計怎樣運作。

(b) 感生電流的大小怎樣取決於風速？

★8
3

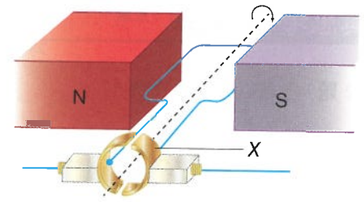


圖 g

(a) 指出圖 g 中 *X* 的名稱及功能。

(b) 設電流的週期為 *t*。就下列情況在圖 h 中簡繪曲線，顯示輸出電流怎樣隨着時間變化。

(i) 線圈轉動一周

(ii) 線圈的轉動速度增加一倍

(iii) 線圈的轉動速度及匝數同時增加一倍

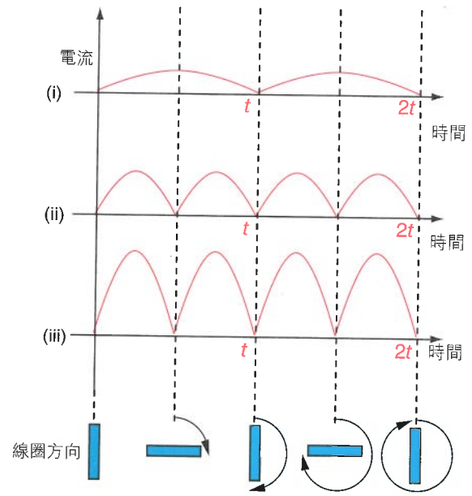


圖 h

總結 5

詞彙

1	電磁感應 electromagnetic induction	p.230	F.X. Ext.	9	磁通匝鏈數 magnetic flux linkage	p.242
2	感生電動勢 induced e.m.f.	p.231	F.X. Ext.	10	磁通量密度 magnetic flux density	p.242
3	感生電流 induced current	p.231	F.X. Ext.	11	探察線圈 search coil	p.250
4	法拉第電磁感應定律 Faraday's law of electromagnetic induction	p.233		12	發電機 generator / dynamo	p.254
				13	交流發電機 a.c. generator / alternator	p.256
5	楞次定律 Lenz's law	p.234		14	匯電環 slip ring	p.256
6	弗林明右手定則 Fleming's right-hand rule	p.235		15	直流發電機 d.c. generator	p.258
F.X. Ext.	7 磁通量 magnetic flux	p.241		16	渦電流 eddy current	p.262
F.X. Ext.	8 韋伯 (Wb) weber	p.241				

課文摘要

5.1 磁場產生的電流

1 法拉第電磁感應定律：
感生電動勢的大小，與通過線圈的磁場變化率，或導體切割磁力線的快慢成正比。

2 感生電動勢的量值可用以下方法增加：
- 加快移動線圈 / 導體或磁鐵
- 改用更強的磁鐵（即增加磁場強度）
- 增加磁場中的線圈匝數 / 導體長度

3 感生電流的方向可用以下方法斷定：
- 楞次定律：感生電流（或電動勢）總是與產生它的變化抗衡，或傾向與這個變化抗衡。
- 弗林明右手定則（圖 a）：

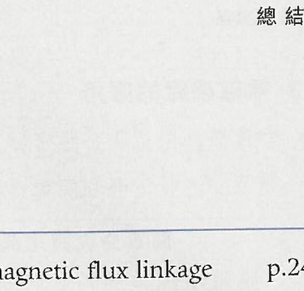


圖 a

F.X. Ext. 5.2 法拉第定律和磁通量

4 磁通量 $\Phi = BA\cos\theta$

5 磁通匝鏈數 $= N\Phi$

6 磁場也稱為磁通量密度，單位是韋伯每平方米 ($Wb\ m^{-2}$)。

7 法拉第定律的數學表達式是：

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

導體中的感生電動勢相等於磁通量的變化率，或磁通量的切割率。

8 探察線圈藉着檢測線圈中感生電動勢的大小，以量度變化不定的磁場。

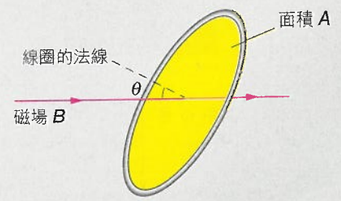


圖 b

5.3 電磁感應的應用

9 發電機利用電磁感應來發電。

10 簡單交流發電機和簡單直流發電機的比較（表 a）：

簡單交流發電機	簡單直流發電機
匯電環把線圈轉動時所產生的感生電流傳送至外電路。	線圈每轉動半周，換向器會改變線圈連接外電路的方向。

表 a

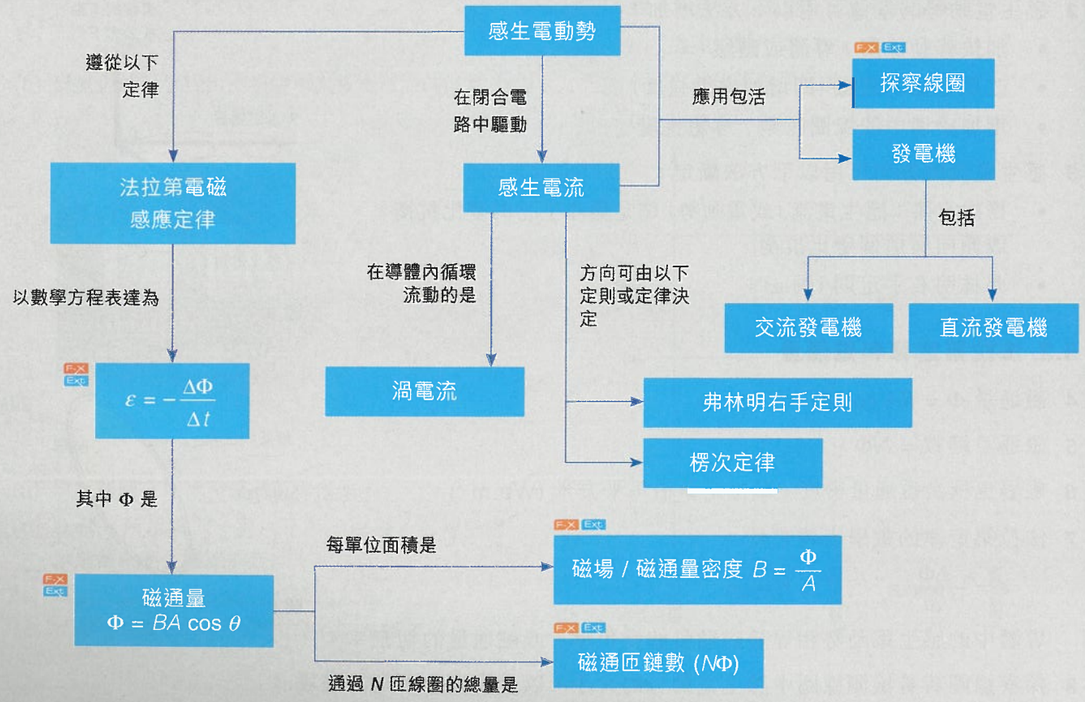
11 發電機產生的感生電動勢與感生電流可用以下方法增強：
- 改用更強的磁鐵
- 增加線圈的匝數
- 增加線圈在磁場內的面積
- 把線圈繞在軟鐵心上
- 加快線圈轉動的速率（即增加頻率）

12 變化的磁場會在導體中感生渦電流。

13 渦電流的應用有：電磁爐、渦電流制動器、感應爐。

14 電磁感應的其他應用有：動圈式微音器、數碼筆、電腦硬碟。

概念圖



複習 5

Q1 頻率減低會引致磁場的變化率下降，因此感生電動勢會減少。
Q2 導線要接入閉合電路，感生電流才會產生。
Q5 轉動線圈會改變通過線圈的通量，根據楞次定律，線圈會產生感生電流以阻礙轉動，因此，即使沒有摩擦力，也要能量來令線圈持續轉動。此外，不輸入能量也能產生電力，這說法違反了能量守恆定律。

概念重溫

（第1至5題）判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

☆ 香港高級程度會考 2000 年卷一 Q7(b)(ii)

5.1 **1** 交變磁場的頻率愈低，線圈中的感生電動勢愈小。T

☆ 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q32

5.1 **2** 只要磁場有變化，導線中總會出現感生電流。F

F-X Ext 5.2 **3** 探察線圈可以量度變化不定的磁場。T

5.3 **4** 發電機不會創造電能，它只是把其他形式的能量換轉為電能。T

5.3 **5** 如果沒有摩擦力，便無須提供能量來令發電機內的線圈持續轉動。F

多項選擇題

5.1 **6** 接光束檢流計

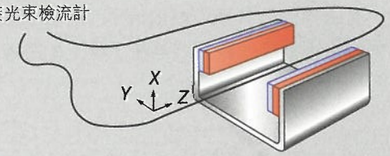


圖 a

美玉正在移動磁場中的導線（圖 a）。她應向哪個方向移動導線，檢流計才可錄得讀數？

(A) 只有 *X*
B 只有 *X* 和 *Y*
C 只有 *X* 和 *Z*
D *X*、*Y* 和 *Z*

F-X Ext 5.2 **7** *P* 和 *Q* 是兩個線圈，置於變化不定的磁場中，兩者的面積相同，轉軸的方向也相同。*P* 有 *N* 匝而 *Q* 有 2*N* 匝。圖 b 顯示在 *P* 中產生的感生電動勢怎樣隨時間而變化。

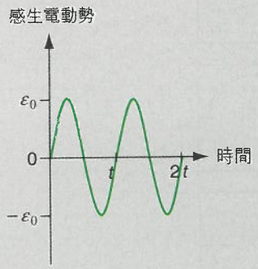
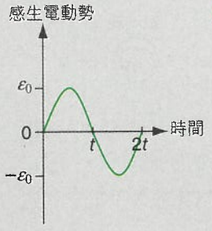


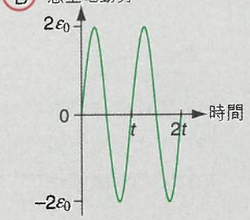
圖 b

下列哪一幅線圖最能表達在 *Q* 中產生的感生電動勢？

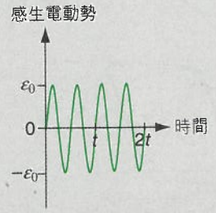
A 感生電動勢



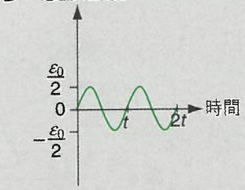
(B) 感生電動勢



C 感生電動勢



D 感生電動勢



（題 8 至 9）圖 c 顯示一長度為 *l* 的金屬棒在指入書頁的勻強磁場 *B* 中以恆速度 *v* 向右移動。金屬棒與 *v* 形成 30° 夾角，移動方向與磁力線垂直。

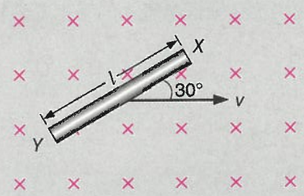


圖 c

★ 8 5.1 下列哪些敘述是正確的？
(1) 棒中出現恆定的感生電流。
(2) 棒的兩端感生出電動勢，*X* 端為正極，*Y* 端為負極。
(3) 棒會被磁場阻慢移動。

A 只有 (1)　(B) 只有 (2)
C 只有 (2) 和 (3)　D (1)、(2) 和 (3)

★ 9 F-X Ext 5.2 求 *XY* 兩端的電勢差。
A 0
(B) *Bvl* sin 30°
C *Bvl* cos 30°
D *Bvl*

★ 10 5.1 磁棒放在螺線管附近（圖 d）。我們把磁棒移離螺線管時，會出現下列哪些情況？

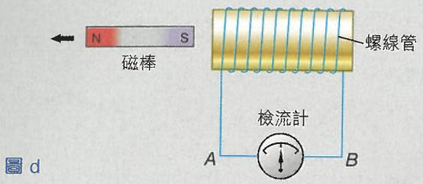


圖 d

(1) 螺線管被磁棒吸引。
(2) 感生電流經檢流計由 *B* 流向 *A*。
(3) 我們對磁棒作功，以克服作用於它的磁力。

A 只有 (3)　　B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)　　(D) (1)、(2) 和 (3)

★ 11 F-X Ext 5.2

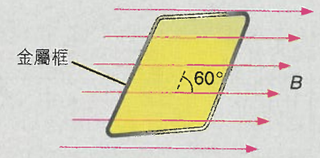


圖 e

一個矩形金屬框的面積是 *A*，置於勻強磁場 *B* 之中（圖 e）。金屬框的平面與磁場成 60° 角。在時間 *t* 內，磁場的通量密度穩定地從 *B* 減至零。求該時段內在金屬框中產生的感生電動勢。

A $\frac{BA}{2t}$　　B $\frac{BA}{\sqrt{3}t}$
(C) $\frac{\sqrt{3}BA}{2t}$　　D $\frac{2BA}{\sqrt{3}t}$

★ 12 5.3 圖 f 中，金屬板置於兩塊磁鐵之間，被推一下後便開始轉動。

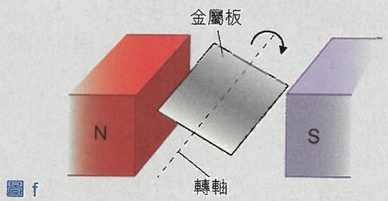


圖 f

下列哪些描述是正確的？

(1) 金屬板會減慢轉動。
(2) 金屬板會變熱。
(3) 有渦電流在金屬板中流動。

A 只有 (3)　　B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)　　(D) (1)、(2) 和 (3)

★★ 13 綜合題 線圈 *ABCD* 如圖 g 所示置於磁場內。

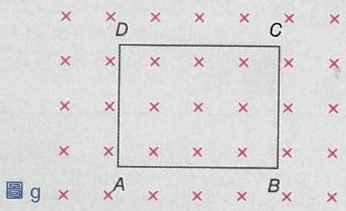


圖 g

下列哪些做法可在線圈中產生感生電流？

(1) 把線圈向左移。
(2) 不斷增加磁場強度。
(3) 以 *DA* 為軸轉動線圈。

A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)　　(D) 只有 (2) 和 (3)

參看例題 1 (p.235)

★★ 14 5.1 一條斜放的軌道穿過長螺線管，螺線管兩端和示波器的 Y 輸入端連接（時基在「開」的狀態）（圖 h）。一輛裝有磁棒的玩具車沿軌道滑下，穿過螺線管。下列哪一幅圖最能代表示波器顯示屏上的跡線？

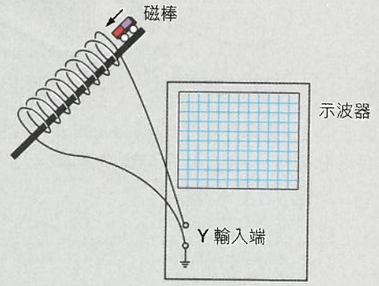
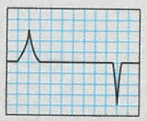
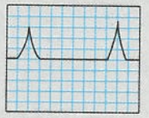
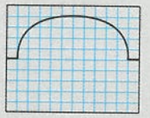
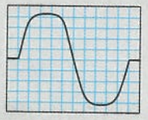


圖 h

(A)

B

C

D


參看例題 3 (p.237)

5.3 15 香港中學會考 2007 年卷二 Q42

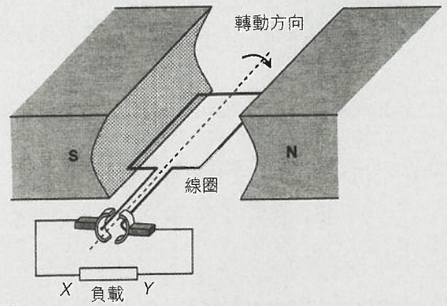


圖 i

圖 i 顯示一個直流發電機的簡單結構。以下哪些敘述是正確的？

(1) 傳送到負載的電流是恆定的。
(2) 在線圈中產生的電流是交流的，但傳送到負載的電流則是單向的。
(3) 電流從 *X* 經負載流向 *Y*。

A 只有 (1) (16%)
B 只有 (3) (32%)
C 只有 (1) 和 (2) (19%)
(D) 只有 (2) 和 (3) (33%)

Q15 考試報告：一些考生忽略了換向器的存在。因此，他們未能導出傳送到負載的電流是單向的。

5.1 16 香港高級程度會考 2011 年卷二 Q27

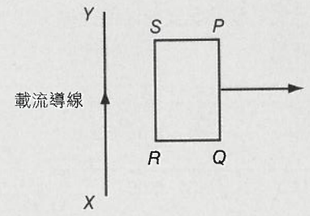


圖 j

圖示的矩形線圈 *PQRS* 以勻速向右移動。一條載有穩恆電流的長直導線 *XY* 跟線圈處於同一平面上。下列哪項正確描述線圈所感生電流的方向和其所受合磁力？

	線圈所感生電流方向	線圈所受合磁力
A	逆時針	向左
B	逆時針	零
(C)	順時針	向左 (45%)
D	順時針	零

F-X Ext 5.2 17 香港中學文憑考試 2012 年卷一甲部 Q31

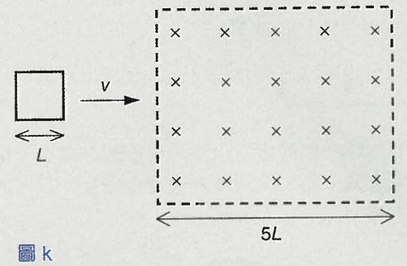


圖 k

一個邊長 *L* 的正方形金屬框以恆速 *v* 通過一個勻強磁場區域，如圖所示場區的寬度為 5*L*。金屬框有感生電流產生的總時間是多少？

A $\frac{L}{v}$
(B) $\frac{2L}{v}$ (47%)
C $\frac{3L}{v}$
D $\frac{4L}{v}$

5.1 18 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q27

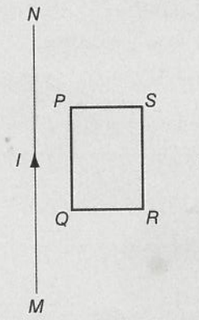


圖 l

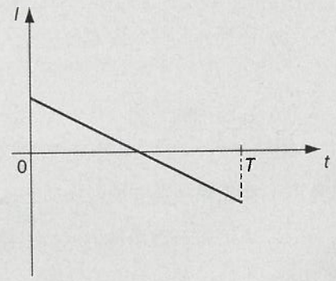


圖 m

如圖 l 所示，一條載流長直導線 *MN* 和矩形線圈 *PQRS* 固定於同一平面。當電流 *I* 從 *M* 流向 *N* 時其值設為正數，而電流隨時間 *t* 的變化如圖 *m* 所示。在時段 0–*T* 內線圈上感生電流的方向是

A 首先是逆時針，其後是順時針。(34%)
B 首先是順時針，其後是逆時針。(29%)
C 一直為逆時針。(15%)
(D) 一直為順時針。(22%)

問答題

5.1 **19** 一股電流通過長導線。

(a) 假設電流方向指入書頁，試繪出環繞導線的磁場。（2 分）

(b) 如果一個連接了燈泡的線圈放在載交流電的導線旁（圖 n），會有甚麼事情發生？試作扼要解釋。（3 分）

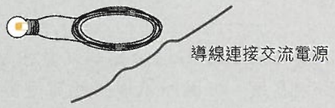


圖 n

(c) 據此，寫出這個線圈的一項應用。（1 分）

5.1 **20** 卓玲用橡皮圈繞着磁棒，並將磁棒懸在已接駁燈泡的螺線管旁，然後轉動磁棒（圖 o）。

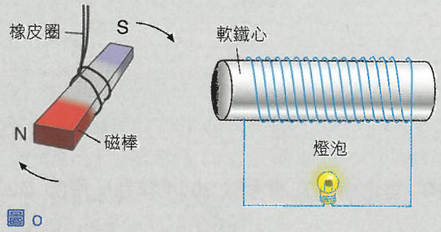


圖 o

(a) 磁棒轉動時，燈泡會發亮。試扼要解釋原因。（2 分）

(b) 在圖示的一刻，螺線管左端的極性是甚麼？南極（1 分）

(c) 試建議兩種令燈泡更加光亮的方法。（2 分）

(d) 卓玲認為因慣性的緣故磁棒會持續轉動。你同意嗎？為甚麼？不同意（3 分）

5.1 ★ **21** 一個銅製的環形有槽砝碼吊在輕繩上。如圖 p 所示，在時間 t_1 從位置 1 釋放砝碼，砝碼掃過一個方形、強度為 B 的勻強磁場區域，在時間 t_2 到達位置 2。

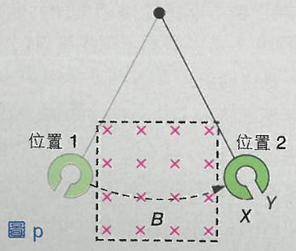


圖 p

(a) 圖 r 顯示感生電動勢怎樣隨時間改變。（2 分）

(b) 有沒有電流在 X 和 Y 之間流動？為甚麼？沒有（2 分）

(c) 現以形狀大小相同、但沒有開口的銅環重複過程。

較低

(i) 這個改變怎樣影響位置 2 的高度？（1 分）

(ii) 描述銅環到達位置 2 之後怎樣運動。（2 分）

5.1 ★ **22** 如圖 q 所示，一塊磁鐵以橡皮繩懸掛在螺線管上方。學生向下輕拉磁鐵一下然後放開，令它垂直振動。

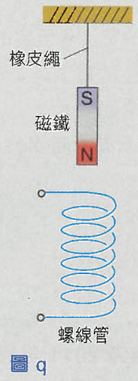


圖 q

(a) 圖 r 顯示感生電動勢怎樣隨時間改變。

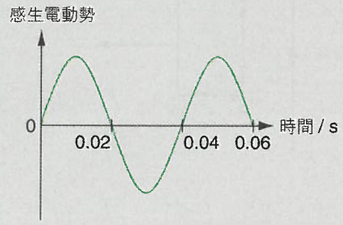


圖 r

(i) 磁鐵在哪些時刻靜止不動？（1 分）

(ii) 求振動的週期。0.04 s（1 分）

(iii) 求振動的頻率。25 Hz（1 分）

(b) 試建議兩個能增大感生電動勢的方法。（2 分）

(c) 如果用導線連接螺線管兩端，磁鐵很快便會停止振動。試解釋這個現象。（4 分）

(d) 現把螺線管和磁鐵的位置交換，並換成螺線管垂直振動。學生認為螺線管內不會有感生電動勢產生。你是否同意他的說法？為甚麼？不同意（2 分）

綜合題 ★ **23** 三條相同形狀的圓管分別以銅、鋅和塑膠製成，其中銅的電阻率最低而塑膠最高。現於同一時間從圓管上方的同一高度釋放三塊完全相同的磁鐵 X、Y 和 Z，三塊磁鐵如圖 s 所示穿過圓管下落。

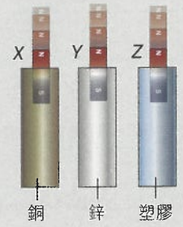


圖 s

(a) 由短至長排列磁鐵穿過圓管所需的時間 t。$t_Z < t_Y < t_X$（1 分）

(b) 試用楞次定律解釋 (a) 部的答案。（3 分）

(c) 磁鐵的上端為北極，下端為南極。從上方觀看，磁鐵移近圓管時，圓管中的感生電流是甚麼方向？順時針方向（1 分）

(d) 試比較磁鐵在移近和移離圓管時，感生電流的大小，解釋你的答案。（3 分）

5.3 ★ **24** 圖 t 顯示一台簡單發電機。

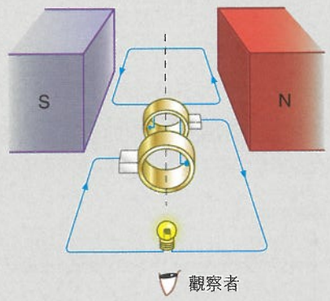


圖 t

(a) 這是一台交流發電機還是直流發電機？交流發電機（1 分）

(b) 圖 t 中的箭號標示圖所示瞬間的電流方向，從觀察者的角度，線圈在該時刻向哪個方向轉動？順時針方向（1 分）

(c) 試簡繪線圖，顯示在線圈轉動一周的時間內，感生電流怎樣隨時間而變化。取圖 t 所示瞬間的時間 $t = 0$。（3 分）

(d) 試建議兩個改變，以增加感生電流。（2 分）

綜合題 ★ **25** 圖 u 顯示一台簡單直流發電機，圖中的線圈有 N 匝，面積為 A。

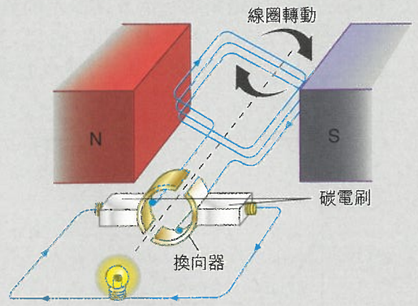


圖 u

(a) 試解釋線圈內感生電流會隨時間不斷改變的原因。（1 分）

F-X Ext (b) 圖 v 顯示通過線圈的磁通匝鏈數怎樣隨時間變化。

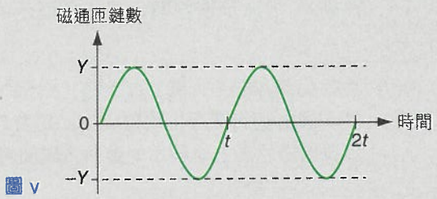


圖 v

(i) 求兩個磁極之間的磁通量密度。$\frac{Y}{NA}$（2 分）

(ii) 磁通量達到最大值時，線圈在甚麼方向？垂直（1 分）

(iii) 簡繪通過燈泡的電流對時間的關係線圖。（2 分）

(c) 在下列情況中，感生電流的週期和量值會怎樣改變？

(i) 線圈的匝數增加 不變；增加

(ii) 線圈轉動得較快 減少；增加

（4 分）

F-X Ext 5.2 ★ **26** 導電棒 XY 的長度為 l，正以勻速率 v 在磁場 B 中移動，移動方向與磁力線垂直（圖 w）。

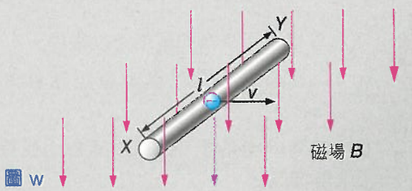


圖 w

(a) 解釋電子為甚麼會積聚在 X 端。（2 分）

(b) 推導 XY 兩端因電子積聚而產生的電勢差 V 的表達式。Blv（3 分）

★ **27** 探察線圈有 5000 匝，面積是 10^{-4} m²，連接到示波器的 Y 輸入端，然後放在由 50 Hz 正弦交流電產生的變化磁場中。示波器顯示的最大電壓為 0.6 V（圖 x）。取探察線圈內的感生電動勢 $\varepsilon_0 = 2\pi f \times$ 磁通匝鏈數，其中 f 是交流電的頻率。

F-X Ext 5.2

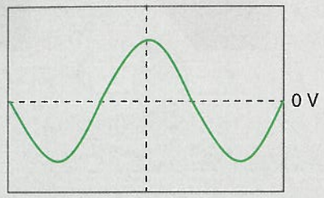


圖 x

(a) 磁場的磁通量密度的量值是多少？ 3.82×10^{-3} T （3 分）

(b) 時基現已關掉（即顯示屏上的訊號不會沿 x 軸移動），描述示波器顯示屏上所顯示的畫面。（1 分）

(c) 時基仍然維持在「關」的狀態。探察線圈現置於一個由直流電產生的磁場中。這會怎樣影響示波器顯示屏上所顯示的畫面？試簡略解釋。（2 分）

★★ **28** 圖 y 顯示單車發電機的結構。

5.3

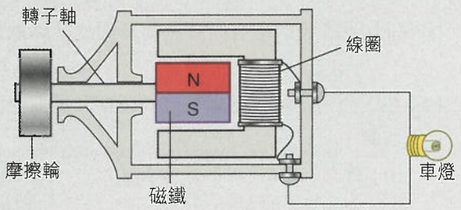


圖 y

(a) 在該發電機中，磁鐵會轉動而線圈則固定不動。指出它較動圈式發電機優勝的一個地方。（1 分）

(b) 該發電機是用來為向單車燈供電的。

(i) 試描述某人踏單車令車燈亮着時的能量轉換。（2 分）

(ii) 如果車燈亮着，踏單車時會比較費力。試解釋原因。（2 分）

(c) 以下顯示發電機的輸出電壓怎樣隨時間改變。

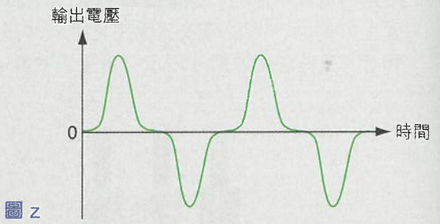


圖 z

(i) 根據上圖，可推斷出車輪怎樣運動？（1 分）

(ii) 如果單車加快移動，會怎樣影響輸出電壓？（2 分）

參看 p.256

★★ **29** 綜合題 圖 aa 顯示置於充電座上的可充電式電動牙刷，充電座接上市電電源。

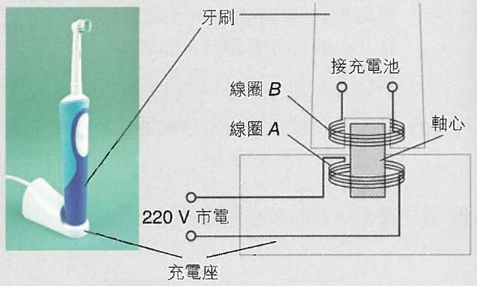


圖 aa

(a) 試描述牙刷的充電池是如何充電的。（4 分）

F-X Ext (b) 以下線圖顯示線圈 B 中的磁通量密度對時間的變化。

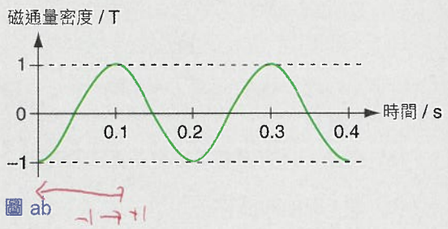


圖 ab

已知線圈 B 有 122 匝，半徑為 1.4 cm。

(i) 線圈 B 中磁通匝鏈數的最大變化可能是多少？ 0.150 Wb （2 分）

(ii) 估算線圈 B 中產生的最大感生電動勢。1.50 V （2 分）

參看 p.243

★★ **30** 一個半徑為 15 cm 的圓形導線框放置在 0.4 T 的勻強磁場中，磁場指入書頁並跟導線框的平面成直角。導線框的形狀在 0.3 s 內從圓形變成正方形（圖 ac）。

F-X Ext 5.2

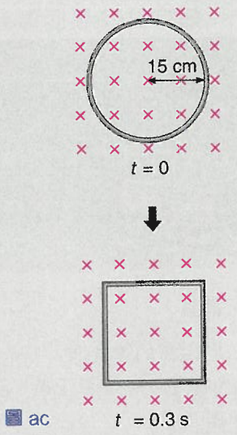


圖 ac

(a) 求該時段內導線框的磁通量變化。 6.07×10^{-3} Wb （2 分）

(b) 如果圓形導線框不變形而是以直徑為軸轉動，圓形導線框應轉動多少，才能令框內的磁通量變化跟 (a) 部所得的相同？ 38.2° （2 分）

(c) 求該時段內導線框的平均感生電動勢。（2 分）

(d) 導線的電阻率是 1.7×10^{-8} Ω m，直徑為 2 mm。試找出導線框中平均感生電流的大小和方向。 0.0202 V 3.97 A（順時針方向） （3 分）

(e) 假如導線的電阻率較高，對於導線框中產生的感生電動勢及電流有甚麼影響？試簡單解釋。（2 分）

參看 p.77

考試報告見第 279 頁。

綜合題 **31** **香港高級程度會考 2009 年卷二 Q3**

F-X Ext (a) 輔以繪圖，說明何謂一個閉合電路的**磁通量**。（2 分）

F-X Ext (b) 在闊度為 L 的勻強磁場 B 中，使連接着光束電流計的銅棒 PQ 以恆速 v 移動，如圖所示。速度 v 跟指出紙面的磁場 B 垂直。電流計錄得有電流通過。

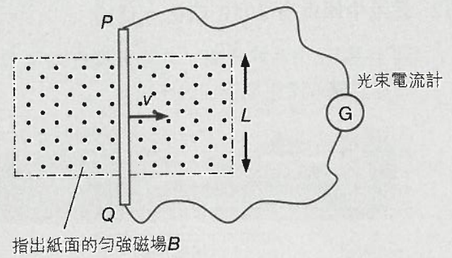


圖 ad

(i) 寫出楞次定律。推斷電路中感生電動勢 ε 的大小和方向，並作簡略解釋。

(ii) 根據實驗結果，指出過程中的能量改變，並定性說明這是否符合能量守恆原理。（8 分）

(c) 在永久磁鐵所提供的磁場內使線圈轉動可產生交流電。但是在發電廠中，發電機的磁場是由轉動的電磁鐵提供，而收集大電流的電樞線圈則是固定的。下圖顯示一簡化的交流發電機，其電磁鐵的場線圈以及電樞線圈都繞在軟鐵心上。

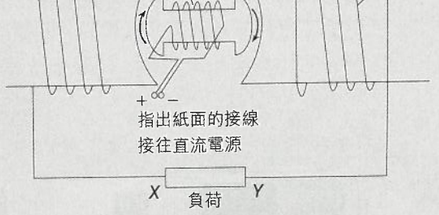


圖 ae

(i) 輔以標示圖，說明怎樣將直流電源接駁至轉動的場線圈而不致令接線交纏起來。

(ii) 從圖示瞬間起計的首四分一周內，試考慮左方電樞線圈的磁通量，簡略解釋如何推斷負荷上感生電流的方向。據此草繪圖線以顯示在一週內，感生電流如何隨場線圈的位置改變。取從 X 至 Y 通過負荷的電流為正。

(iii) 說明在這實際交流發電機採用**轉動**電磁鐵和**固定**電樞線圈的**一個**好處。（6 分）

綜合題 **32 香港中學會考 2010 年卷一 Q13**

圖 af 顯示一手搖電筒。它不需要任何電池，短暫的搖動就會產生電流提供亮光。

圖 af

圖 ag 顯示該電筒的結構。

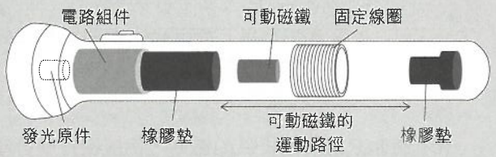


圖 ag

(a) 當電筒被搖動時，描述電流如何在固定線圈上產生。（2 分）

(b) 在不改動電筒的情況下，指出**一種**方法以增加電流。（1 分）

(c) 描述這電筒運作時的能量轉換。（2 分）

(d) 圖 ah 顯示另一設計。這裏固定線圈覆蓋整條可動磁鐵的運動路徑。以相同方式使用電筒，發覺它比原本設計較暗。試略加解釋。（固定線圈的電阻可被忽略。）（2 分）

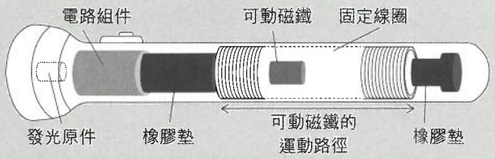


圖 ah

實驗題

★ 33 綜合題 偉明如圖 ai 所示裝置實驗器材。他從高處放下磁棒，讓它穿過線圈下落，同時觀察光束檢流計的讀數。

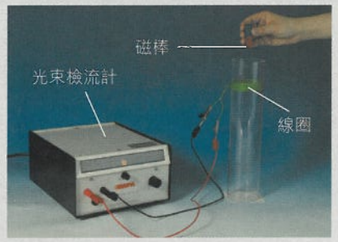


圖 ai

(a) 偉明在探究甚麼？（1 分）

(b) 偉明認為，若磁棒的質量增大，光束檢流計的讀數也必然增大。他是否正確？試解釋你的答案。不正確（2 分）

(c) 就以上裝置，舉出一項預防措施。（1 分）

(d) 建議兩個可以增大光束檢流計讀數的方法。（2 分）

34 香港中學文憑考試 2012 年卷一乙部 Q10 5.1

現給予你一條長導線、一對在鋼軛上的平板形磁鐵和一個可檢測微細電流的光束電流計。輔以繪圖，描述一實驗以探究當導體於磁場內運動時，影響其感生電動勢的**兩個**因素。（7 分）

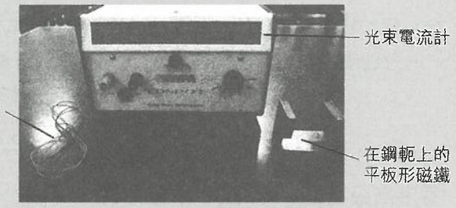


圖 aj

❑ Q34 考試報告：表現未能令人滿意。很多考生沒有清楚的繪圖以顯示實驗裝置，有些更畫了一些題目並沒有提供的儀器。對探究影響感生電動勢的因素，亦有考生建議使用更強的磁鐵或增加磁鐵的長度，極少人能以有系統的方式表達他們的答案，有些考生忽略了長導線可用作導體，有些誤認光束電流計是電源，更有生誤以為它是示波器。很多考生沒有說出影響電動勢因素的預期結果或實驗的觀測效果。

物理文章分析

★ 35 5.1 閱讀下列一段有關無接觸型單車發電機的文章，然後回答隨後的問題。

無接觸型單車發電機

傳統的單車發電機有一個按壓住車輪的摩擦輪，但新款的單車發電機則無須與車輪接觸（圖 ak）。

圖 ak

這種新款單車發電機有一個圓筒，安裝在接近車輪金屬邊緣的地方，內有固定的發光二極管電燈及強力磁鐵。在發電過程中，圓筒完全沒有移動或轉動。磁鐵會產生一個強磁場，穿過金屬邊緣上的一個細小範圍。車輪轉動時，這個磁場在金屬邊緣中感生出渦電流，而渦電流產生的磁場又會在圓筒中感生出電動勢，驅使發光二極管電燈發亮。

和傳統發電機相比，新款發電機以既小且輕的發光二極管電燈作照明器具，而且無須用電線把發電機連接到單車頭燈。因此整個裝置較傳統款式輕巧和有效率。再者，因為新型發電機無須接觸車輪，所以不會出現磨損的情況。

上文提及的新款發電機和傳統發電機都會從單車提取一些動能。

(a) 哪一種使單車減速較多？試簡略說明。傳統發電機（2 分）

(b) 上述結果會怎樣影響單車手踏單車時能達到的最大速率？（1 分）

❑ Q31 考試報告：在 (a) 部，大多數考生只寫出磁通量的方程，但缺乏明確解釋，繪圖多為磁場與閉合電路的平面垂直而非一般的情況，有些考生更以一個簡單閉合電路連接電池和電阻器去解說磁通量的概念。

在 (b)(i) 部，有些考生未能區別法拉第定律和楞次定律。在描述楞次定律時，考生指出感生電流能抗拒引起這個感應的「改變」，但沒有說明這個「改變」是甚麼。大部分考生能以不同方法算出感生電動勢的值，例如移動金屬棒時的磁通量變化率或在金屬棒上電子的力平衡等，但有些考生未能正確指出其方向。在 (b)(ii) 部，大多數考生未能清楚描述在過程中的能量變化，有些認為能量以熱散失，故此能量總值不守恆。亦有考生導出輸入作功及輸出能量。很多考生不知有力作用於棒子並妨礙其移動。

(c)(i) 部表現欠佳，極少考生能正確畫出匯電環，大多數根據試題中曾提及直流電源而畫出一對半環。很少考生能正確回答 (c)(ii)，部分繪錯了感生電流的相位，且未能精確解釋感生電流的方向，並弄錯了通過負荷和電樞線圈的電流。在 (c)(iii) 部，相比發電站的感生大電流，極少考生知道小量電流已可激活發電機內的電磁鐵，他們不明白旋轉電磁鐵和固定電樞線圈的優點。

自我評核 5

時間：10 分鐘　　總分：6 分

答題須知

1 全部題目均須作答。
2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
3 答案須寫在預留的空位內。
4 附錄提供常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

5.1 **1** 圖 a 中，一支水平金屬棒置於勻強磁場中，並沿兩條固定而平滑的垂直導軌自由下落。兩條導軌末端以導線連接在一起，金屬棒切割磁場的方向與磁場方向垂直。

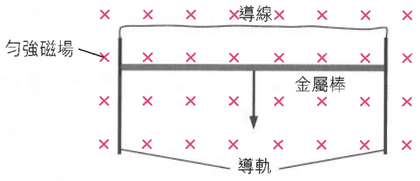


圖 a

略去空氣阻力不計。下列哪些描述是正確的？

(1) 在金屬棒中會出現感生電流。
(2) 金屬棒的加速度小於 9.81 m s^{-2}。
(3) 金屬棒的部分重力勢能最終轉化為內能。

A 只有 (1)　　B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

D

F-X Ext 5.2 **2** 一個半徑為 r 的金屬環與勻強磁場 B 垂直放置。輕推金屬環一下，它便如圖 b 所示沿轉軸轉動。

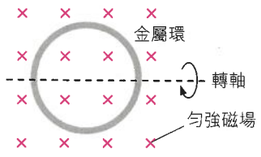


圖 b

金屬環轉動 90° 後，下列哪些敘述是正確的？

(1) 通過金屬環的總磁通量變化是 $B\pi r^2$。
(2) 金屬環的轉動方向開始改變。
(3) 金屬環中的感生電流瞬間為零。

A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

A

乙部

F-X Ext 5.2 **3** 邊長為 4 cm 的方形金屬框置於 1 T 的勻強磁場內，與磁場互相垂直。然後，金屬框轉動四分之一周，變成與磁場互相平行（圖 c），過程歷時 0.1 s。

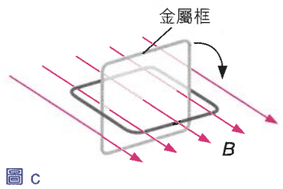


圖 c

(a) 金屬框轉動前，通過它的磁通量是多少？　(2 分)

1.6×10^{-3} Wb

(b) 求金屬框轉動時產生的平均感生電動勢。　(2 分)

0.016 V

Ext

6 輸電

我們在這一課會學到

- 直流電和交流電的分別
- 交流電的方均根值
- 正弦交流電的方均根值和峯值之間的關係
- 簡單變壓器的運作原理，以及升壓和降壓的方法
- 電能怎樣傳輸

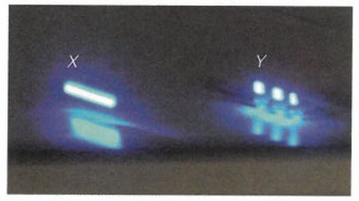
F.X Ext

6.1 交流電

✔ 本節重點
1 交流電與交流電動勢
2 直流電與直流電動勢
3 交流電的有效值
4 方均根值與峯值

起 點 發光二極管產生的光影

兩個相同的發光二極管 X 和 Y 分別接駁到電池組和交流電源。若一邊移動相機，一邊拍下兩者的照片，就會得出截然不同的效果，原因是甚麼？ 參看第 285 頁例題 1。



1 交流電與交流電動勢

第 3 課提到**交流電**（簡稱 a.c.）會週期性地逆轉方向。以下我們會認識更多有關交流電的特性。

錄像片段 6.1
→ 錄像片段 **6.1** 示範實驗 6a。

實驗 6a 小型交流發電機產生的電流和電動勢

1 轉動交流發電機來亮起電燈。
2 把發電機連接中心零位毫安培計（圖 a）。慢慢轉動發電機，留意安培計指針怎樣偏轉。
3 把發電機連接示波器（圖 b）。穩定地轉動發電機，留意示波器上顯示的波形。

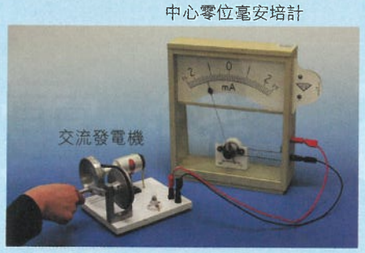


圖 a

圖 b

討 論

1 量度所得的電流和電動勢怎樣變化？量值和方向都出現週期性的改變。

2 在步驟 3 中，為甚麼要穩定地轉動發電機？目的是要在示波器上產生一個平滑而穩定的波形，方便觀察。

交流電 alternating current (a.c.)

在實驗 6a，雖然示波器上顯示的波形並不十分平滑，但也能展示出交流發電機所產生的電流和電動勢，會週期性地改變方向。

與3B 冊內的「頻率」和「週期」比較，它們的意思一樣嗎？一樣

交流電和交流電動勢的**方向**會隨時間作週期性改變。一個完整的交替稱為一個**循環**，每秒鐘的循環次數稱為**頻率**，每個循環所需的時間稱為**週期**。電動勢的**峯值**以 ε_0 來表達，所以電動勢的峯至峯值是 $2\varepsilon_0$（圖 6.1a）。

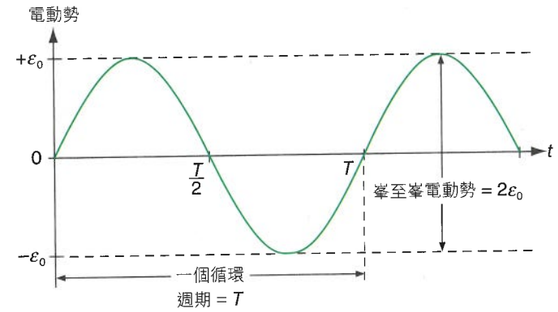


圖 6.1a 交流電動勢的例子

a 正弦交流電

圖 6.1b 中，低壓電源以交流市電操作，輸出正弦交流電壓。示波器顯示了這個電壓的變化，波形的週期為 0.02 s，即頻率為 50 Hz，與本港市電的頻率相同。

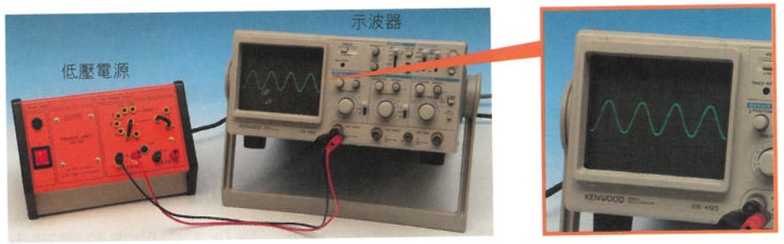


圖 6.1b 低壓電源輸出正弦交流電壓

從示波器可見，電壓的峯值比電源的「輸出電壓」高得多，兩者的差別將於稍後解釋。

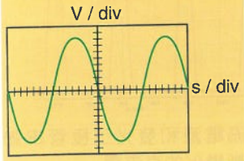
技巧分析

時基與 Y 增益

時基與 Y 增益是示波器的兩個基本設定。

時基通常以「s / div」為單位，表示光點在示波器顯示屏上水平越過一格 (div) 所用的時間。若關掉時基，光點就只能在顯示屏上垂直偏轉。

Y 增益通常以「V / div」為單位。在示波器顯示屏上的光點，垂直偏轉幅度（以格表示）乘以 Y 增益後，乘積就是輸入訊號的電壓值。

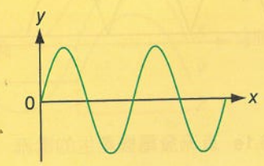


「物理技巧手冊」載有教學筆記及練習。

技巧分析

$y = \sin x$ 線圖

$y = \sin x$ 線圖是一條平滑曲線，代表有規律的重複振動。這種波形稱為正弦波。



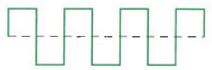
循環 cycle　頻率 frequency　週期 period　峯值 peak value

F.X Ext

b 其他形式的交流電

有些電源可產生其他波形的交流電動勢。圖 6.1c 展示一些波形的例子，它們全部的峯值和週期相同。

(i) 方形波



(ii) 三角形波

(iii) 鋸齒形波

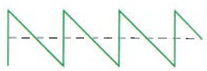


圖 6.1c 不同交流電的波形

CRO 時基

2 直流電與直流電動勢

直流電與交流電相反，不論電流或電動勢的值怎樣波動，方向都不會改變。

a 穩定的直流電

一般用於手電筒、流動電話等電器的直流電，都有穩定或恆定的量值，接入示波器時會呈現為一條橫線（圖 6.1d）。

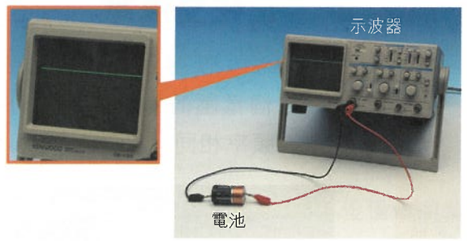


圖 6.1d 以示波器量度電池的電動勢

b 變化不定的直流電

如第5課所述 (p.257)，變化不定的直流電可由直流發電機產生（圖6.1e）。事實上，二極管也能用來產生類似的電流。二極管這種電子零件只容許電流沿單一方向通過，因此，它接駁交流電源時，只讓部分循環的電流通過（圖 6.1f 和 6.1g），把交流電變為不斷變化的直流電。

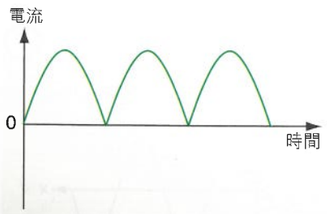


圖 6.1e 直流發電機產生的電流

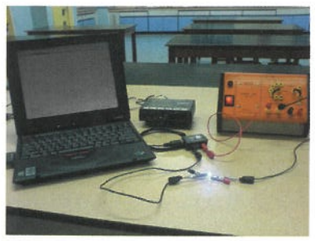


圖 6.1f 發光二極管（二極管的一種）與交流電源和電流感應器串聯

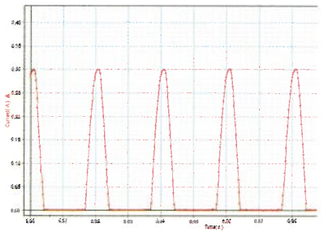


圖 6.1g 交流電源和發光二極管串聯後，產生不斷變化的直流電

二極管容許電流通過的方向稱為正向。

例題 1 解釋發光二極管產生的光影

X 和 Y 是起點中的兩個發光二極管，只有在正向電壓高於 2.2 V 時才會亮着。X 接駁到電池組，而 Y 則接駁到交流電源（圖 a）。若一邊移動相機，一邊拍下它們的照片，兩者便會呈現為不同的圖案（圖 b）。試解釋出現這個分別的原因。

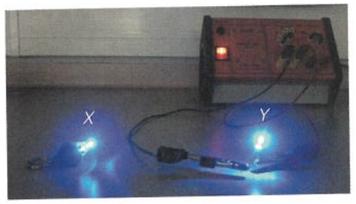


圖 a

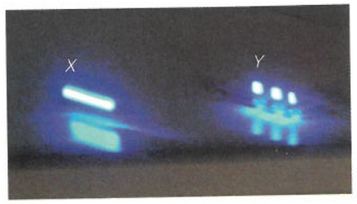


圖 b

題解

由於 X 所受的電壓是恆定的，它會持續亮着（圖 c），因而在照片中呈現為一條線。Y 只有在正向的電壓高於 2.2 V 時才亮着，當電壓低於 2.2 V 或方向相反時便會熄滅（圖 d），因而在照片中呈現為一連串光點。

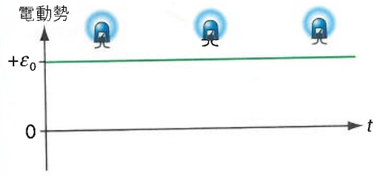


圖 c

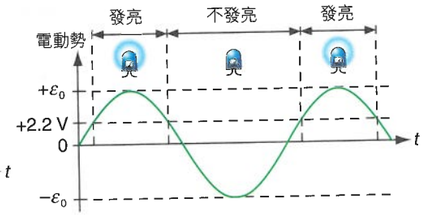


圖 d

習題與思考6.1 Q2 (p.291)

進度評估 1

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.282）。

1 1 交流電最明顯的特徵是甚麼？方向出現週期性的改變

2 1, 2 (a) 判斷圖 a 中的各個波形代表交流電還是直流電。
W 和 Z：直流電；X 和 Y：交流電
(b) 圖 a 中各個波形的哪個物理量是相同的？週期

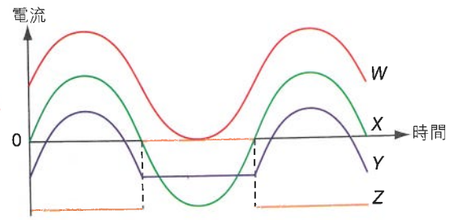


圖 a

F.X. Ext

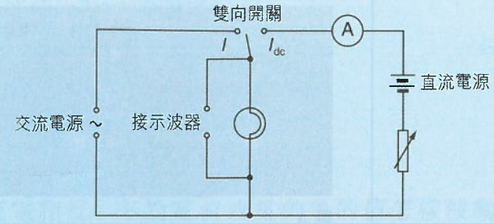
3 交流電的有效值

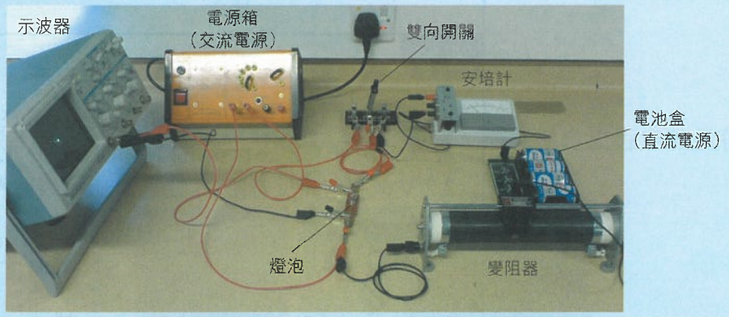
錄像片段 6.2

→ 錄像片段 6.2 示範實驗 6b。

實驗 6b 交流電的有效值

1 如圖所示連接電路（圖 a）。





a

2 把開關接往交流電源。留意示波器上電壓的峯至峯值。

3 把開關接往直流電源，調節變阻器，直至燈泡的亮度與連接交流電源時相同。從示波器讀出直流電壓。

討論

燈泡的亮度相同時，交流和直流電壓的峯值（振幅）比例是多少？

約 1.4 : 1

交流電源上顯示的電壓數值是交流電壓的方均根值。

實驗 6b 顯示，穩定的直流電調整至合適大小時，燈泡的亮度與使用交流電時相同。雖然燈泡的瞬時功率隨時間而不斷改變，但交流電提供的**平均功率**與該直流電相同，這時，該穩定的電流值就稱為交流電的**有效值**。

若通過某純電阻器的交流電和穩定直流電，以同一轉換率把電勢能轉換成其他形式的能量，則交流電的有效值便等於穩定直流電的量值。

一般電器都不是純電阻器，它們通常由「電阻」元件和「反應」元件組成。鎢絲燈泡是較為接近純電阻器的電器，而一般在收音機內找到的電容器和電感器就較為接近純反應器。反應器的討論超出課程範圍。

有效值 effective value

4 交流電的方均根值

只要考慮燈泡的平均功率，便能以數學方式找出交流電的有效值。

實驗 6b 中，交流電 I 使電阻為 R 的燈泡亮着時，燈泡的瞬時功率 P 就是：

$$P = I^2R$$

由於 R 是常數，交流電的平均功率 $\overline{P}$ 可以寫成：

$$\overline{P} = \overline{I^2R} = \overline{I^2}R$$

改用直流電源時，一道穩定的電流 I_{dc} 流過燈泡。這時候，燈泡的功率 P_{dc} 是：

$$P_{dc} = {I_{dc}}^2R$$

假設在電路中，使用交流電和直流電產生的熱效應相同（即燈泡的功率相同，可根據亮度來判斷）。這個情況可以下式表達：

$$\overline{I^2}R = {I_{dc}}^2R$$

$$\Rightarrow I_{dc} = \sqrt{\overline{I^2}}$$

換言之，量值等於 $\sqrt{\overline{I^2}}$ 的穩定電流 I_{dc} 在燈泡中產生的熱效應與交流電 I 相同，所以表達式 $\sqrt{\overline{I^2}}$ 代表交流電的有效值。

取電流平方的平均值，然後再求開方根，便可得出 $\sqrt{\overline{I^2}}$。這個值稱為電流的**方均根值**（r.m.s. 值），符號是 I_{rms}。

第 1 冊第 5 課也介紹過速率的方均根值 $c_{rms} = \sqrt{\overline{c^2}}$。

交流電的有效值就是電流的方均根值。

$$I_{rms} = \sqrt{\overline{I^2}} = \sqrt{I^2 \text{ 的平均值}}$$

我們可以使用同一方法來求得交流電壓的有效值，這數值也是電壓的方均根值，符號是 V_{rms}。

$$V_{rms} = \sqrt{\overline{V^2}}$$

function

對於其他電路元件，如電容器和電感器，平均功率是零。電容器和電感器的討論超出課程範圍。

交流電路的平均功率 $\overline{P}$ 也可利用方均根值來表達：

以交流電操作的電器，所謂的功率就是平均功率。

$$\overline{P} = {I_{rms}}^2R = \frac{{V_{rms}}^2}{R} = V_{rms}I_{rms} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (*)$$

方均根值 root-mean-square value (r.m.s. value)

F.X Ext

例題 2 求交流電的方均根值

某電阻器與交流電源連接。圖 a 顯示交流電隨時間的改變，電流在首半個週期維持在 6 A，在後半個週期則維持在 3 A（但方向相反）。

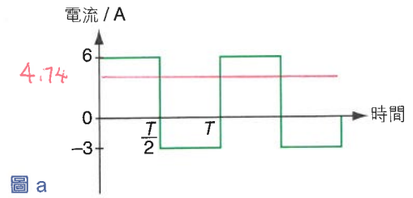


圖 a

(a) 求該交流電的方均根值。

(b) 該交流電的等效穩定電流是多少？

題解

(a) 在首半個週期，I^2 是恆定的，相等於 6^2。

在後半個週期，I^2 也是恆定的，相等於 $(-3)^2$。

$$I_{rms} = \sqrt{I^2 \text{ 的平均值}}$$

$$= \sqrt{\frac{6^2\left(\frac{T}{2}\right) + (-3)^2\left(\frac{T}{2}\right)}{T}} = \sqrt{\frac{6^2 + (-3)^2}{2}} = 4.74 \text{ A}$$

(b) $I_{dc} = I_{rms} = 4.74$ A

進度評估 2 Q1 (p.288)

進度評估 2

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看 p.282）。

4 **1** 圖 a 顯示交流電源的電流怎樣隨時間而變化。

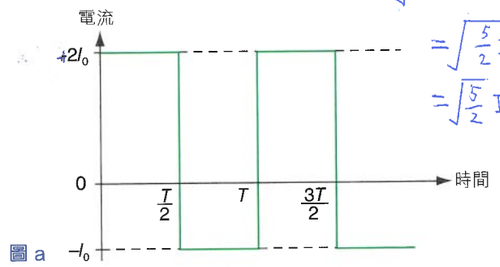


圖 a

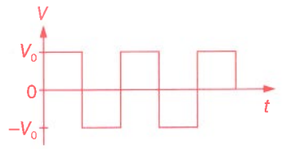
(a) 試以 I_0 來表達 I_{rms}。 $I_{rms} = \sqrt{\frac{5}{2}}\, I_0$

(b) 如果 0.5 A 的直流電所產生的熱效應與這交流電所產生的相同，求 I_0 的值。0.316 A

5 正弦交流電方均根值和峯值的關係

方均根值 V_{rms}、I_{rms} 及峯值 V_0、I_0 的關係視乎交流電的波形。以圖 6.1h 中的正弦波為例，V 和 I 的瞬時數值隨時間 t 的變化如下：

對於以下的方形波，在不同時間 V^2 的值都等於 V_0^2，所以 V^2 的平均值亦等於 V_0^2 的平均值。因此 $V_{rms} = V_0$。



$$V = V_0 \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$I = I_0 \sin \frac{2\pi t}{T}$$

兩式中的角度以弧度為單位。

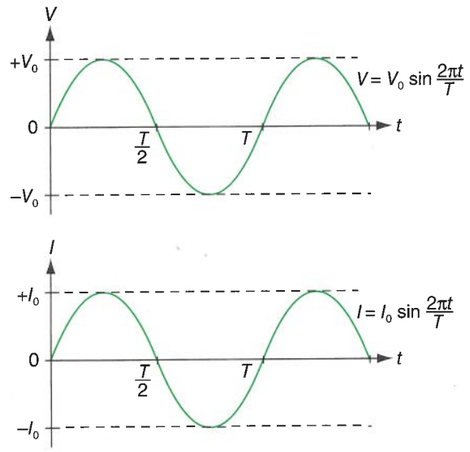


圖 6.1h 正弦波的 V 和 I 怎樣隨 t 變化

現在，可以得出正弦交流電在純電阻器中的**瞬時**功率：

$$P = I^2R = \left(I_0 \sin \frac{2\pi t}{T}\right)^2 R = I_0^2 R\left(\sin \frac{2\pi t}{T}\right)^2$$

最大功率 $P_0 = I_0^2R$ ▶ $\therefore \quad P = P_0\left(\sin \frac{2\pi t}{T}\right)^2$

圖 6.1i 顯示電阻器的功率 P 怎樣隨時間 t 變化，可見功率的數值並非負數，而且在零與最大功率 P_0 之間不斷改變。

雖然 $\sin \frac{2\pi t}{T}$ 的數值介乎 1 和 −1 之間，但 $\left(\sin \frac{2\pi t}{T}\right)^2$ 的數值為非負數，介乎 0 和 1 之間。 ▶

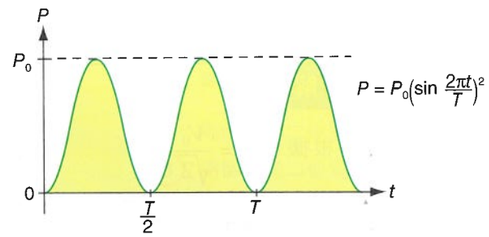


圖 6.1i 正弦交流電通過純電阻器時，P 隨 t 的變化

F.X Ext

考慮由功率曲線及穿過 $\frac{P_0}{2}$ 的水平虛線所圍繞的面積（圖 6.1j），由於對稱的關係，每個完整循環在虛線以上的面積，剛好等同虛線以下空白部分的面積 。

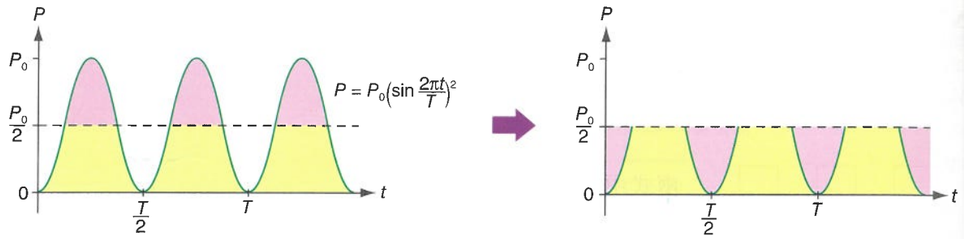


圖 6.1j 從 *P*–*t* 線圖得出平均功率 $\bar{P}$

在此情況下，圖中的水平虛線表示平均功率 $\bar{P}$：

$$\bar{P} = \frac{1}{2}P_0$$

方程 (*)：$\bar{P} = I_{rms}{}^2R$ ▶ 利用方程 (*) (p.287) 便可把電流的方均根值及峯值聯繫起來：

$$I_{rms}{}^2R = \frac{1}{2}I_0{}^2R$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \text{（只適用於正弦交流電）}}$$

根據 $P = \frac{V^2}{R}$，可用相似的方法把電壓的方均根值和峯值聯繫起來：

$$\boxed{V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \text{（只適用於正弦交流電）}}$$

本港的市電電壓是 220 V，而很多電器的額定電壓值也是 220 V，其實這數字是指方均根值。例題 3 會展示計算市電峯值的方法。

例題 3 香港市電的峯值

本港市電電壓的方均根值是 220 V，求電壓的峯值。

題解

根據 $V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$，

$$V_0 = V_{rms}\sqrt{2} = 220 \times \sqrt{2} = 311 \text{ V}$$

進度評估 3 Q2 (p.291)

例題 4 峯值和方均根值

電飯煲等大功率家用電器通常以市電運作（圖 a）。

(a) 某電飯煲接駁到 220 V 市電時，通過它的最大電流是 5.47 A。該電飯煲的操作電流是多少？

(b) 據此，找出電飯煲的平均功率。

圖 a

題解

(a) 根據 $I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$，

$$I_{rms} = \frac{5.47}{\sqrt{2}} = 3.87 \text{ A}$$

(b) 根據 $\bar{P} = V_{rms}I_{rms}$，

$$\bar{P} = 220 \times 3.87 = 851 \text{ W}$$

習題與思考 6.1 Q7 (p.292)

進度評估 3

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.282）。

1 正弦交流電的頻率是 60 Hz，流電的峯值是 15 A，求電流的方均根值。10.6 A

2 如果交流市電的電壓是 110 V，它的峯值電壓是多少？156 V

習題與思考 6.1

1 1 圖 a 顯示交流電的電壓—時間關係線圖。以下哪些點顯示電壓正在改變方向？

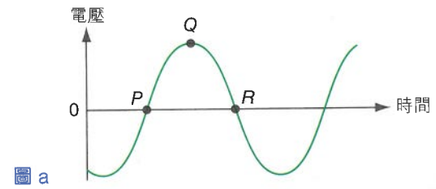


圖 a

A 只有 *Q*
B 只有 *R*
C 只有 *P* 和 *R*
D *P*、*Q* 和 *R*

1, 2 2 兩個發光二極管與交流電源串聯，兩者的正端鈕如圖 b 所示連接在一起。以下哪一種情況會發生？

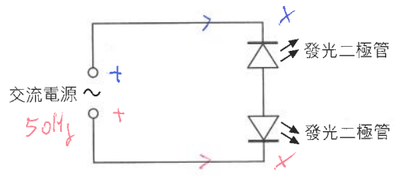


圖 b

A 兩個發光二極管持續發亮。
B 兩個發光二極管都沒有亮着。
C 兩個發光二極管交替地閃亮。
D 兩個發光二極管同步閃亮。

F.X Ext

(第 3–4 題) 電阻為 R 的發熱器連接到電源，圖 c 顯示電源的電壓變化。

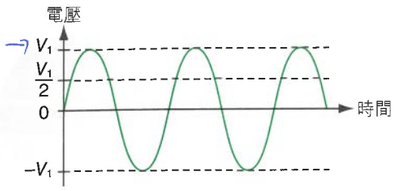


圖 c

★3 求發熱器的平均功率。

A $\frac{V_1^2}{R}$　　B $\frac{V_1^2}{\sqrt{2}R}$

C $\frac{V_1^2}{2R}$　　D $\frac{V_1^2}{4R}$

★4 求通過發熱器的峯值電流。

A $\frac{V_1}{R}$　　B $\frac{V_1}{\sqrt{2}R}$

C $\frac{V_1}{2R}$　　D $\frac{V_1}{4R}$

1, 2 **5** 就以下各圖，

(i) 指出所示的是直流電還是交流電；

(ii) 找出電壓的週期並計算頻率。

(a)

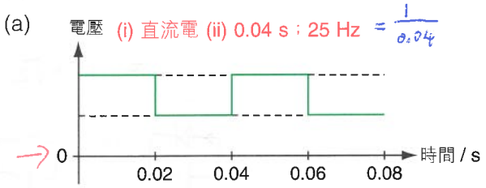


圖 d

(b)

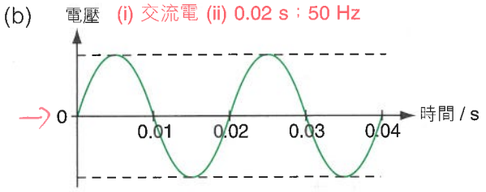


圖 e

(c)

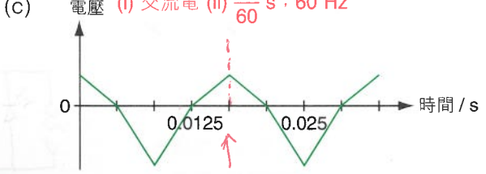


圖 f

3 ★**6** 參看以下各圖。如果以穩定的電流取代圖示的電流，並要在相同時間內，在相同電阻器上轉換相同的電勢能，穩定電流應該是多少？2 A；2.83 A；2 A

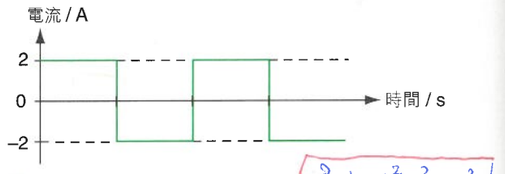


圖 g

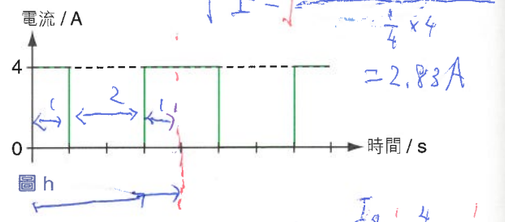


圖 h

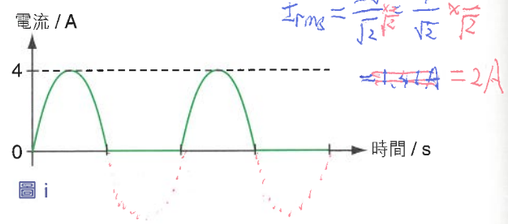


圖 i

4 ★**7** 電水壺的最大功率是 2400 W，電阻是 48 Ω。這個電水壺適用於甚麼方均根電壓值的市電？240 V

4 ★**8** 有些國家的市電電壓並非 220 V。下圖顯示美國市電電壓的波形。

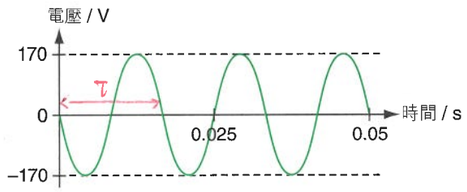


圖 j

(a) 從圖中找出美國市電電壓的峯值及方均根值。170 V；120 V

(b) 求電壓的頻率。60 Hz

(c) 英國的市電電壓是 230 V，頻率是 50 Hz。試草繪對應的電壓—時間關係線圖。

F.X Ext

6.2 變壓器和高壓輸電

✔ 本節重點

1 線圈間的感生現象與變壓器
2 電壓比
3 變壓器的電流
4 實用變壓器
5 高壓輸電

起 點 可使用交流電和直流電的電器

這台電子琴可用六顆總電動勢為 9 V 的乾電池來供電，也可用 220 V 的市電來供電。為甚麼輸入電壓遠高於額定值，電子琴仍能如常操作？參看第 298 頁。

第 5 課提到，磁鐵進出線圈時，線圈兩端會感生出電壓（法拉第定律）。同樣，如果線圈附近有持續變化的電流，即使線圈沒有移動，也會出現相同的效果。**變壓器**（俗稱火牛）（圖 6.2a）就是利用這個原理改變交流電的電壓值。

(i) 用於放濕機

(ii) 用於手提電腦

(iii) 用於電動鬚刨

(iv) 用於電腦電路板

圖 6.2a 許多日常用品都安裝了變壓器

變壓器 transformer

Ext

1 變壓器的運作原理

錄像片段 6.3

→ **錄像片段 6.3** 示範實驗 6c。

實驗 6c 簡單變壓器

1 在一個 C 形鐵心上繞10匝導線，在另一個 C 形鐵心上繞25匝導線，然後把這兩個 C 形鐵心放在一起，組合成環形。

2 把 10 匝的線圈與開關、電池盒連接起來，再把 25 匝的線圈連接到中心零位檢流計（圖 a）。留意開關閉合和斷開時，對檢流計有甚麼影響。

3 把電池盒換成交流電源，再把檢流計換成燈泡。連接另一個燈泡到交流電源（圖 b）。接通電源，比較兩個燈泡的亮度。

可用以下的邏輯深入解釋：
燈泡愈光
⇒ 燈泡的功率愈大
⇒ 兩端的電壓差愈大 $\left(P = \frac{V^2}{R}\right)$
但是，連接於原線圈的燈泡並不能反映變壓器的輸入功率。

圖 a

圖 b

副線圈的匝數不能過大，否則燈泡可能燒壞。

4 加減 25 匝線圈的匝數，觀察燈泡的亮度有甚麼變化。

討論

1 鐵心的作用是甚麼？ 把原線圈產生的磁力線引領到副線圈。

2 以匝數較多的線圈取代 25 匝的線圈後，燈泡的亮度有甚麼變化？ 增加

以上實驗中，兩個線圈以及兩個 C 形鐵心組成了變壓器。連接到電源的線圈（10 匝）叫做**原線圈**，另一個線圈（25 匝）叫做**副線圈**。連接副線的燈泡叫做**負荷**（圖 6.2b）。

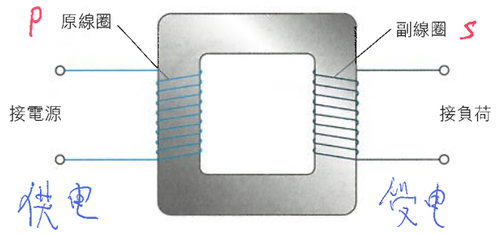


圖 6.2b 簡單變壓器

原線圈 primary coil　副線圈 secondary coil　負荷 load

Ext

模擬程式 6.1

→ **模擬程式 6.1** 展示 (a) 開啟和關掉原線圈的直流電怎樣使感生電流在副線圈產生，(b) 原線圈的交流電怎樣使感生交流電在副線圈產生。

在步驟 2，在開關斷開或閉合的**瞬間**，檢流計的指針會偏轉。但開關若維持在閉合或斷開的狀態，指針就不會偏轉。這表明，線圈的電流改變，會使另一個線圈產生感生電流，這個現象稱為**互感**。

以下解釋上述觀察所得的結果：

1 開關剛閉合時，原線圈迅速建立磁場（圖 6.2c），令副線圈產生感生電動勢，感生電動勢驅使電流流過副線圈，以抗衡磁場**增強**這個變化，檢流計的指針因而向一邊偏轉一下。

這表示變壓器不能以穩定的直流電運作。

2 原線圈的電流穩定後，磁場不再變化，副線圈再沒有感生電動勢出現，於是檢流計的指針回到零位。

3 開關剛斷開時，C 形鐵心中的磁場迅速消失，副線圈再次產生感生電動勢，不過這時感生電流的流動方向要抗衡磁場**減弱**這個變化，結果檢流計的指針便向另一邊偏轉一下（圖 6.2d）。

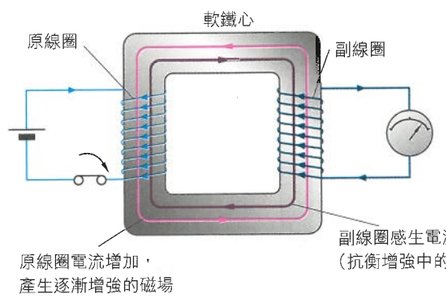


圖 6.2c 開關閉合的一刻，副線圈有電流流過

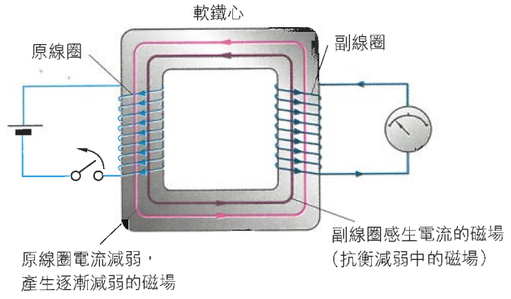


圖 6.2d 開關斷開的一刻，副線圈也有電流流過

根據同樣原理，變壓器也可使用不斷變化的直流電來運作。

如果通過原線圈的是交流電，鐵心內的磁場就會**不斷變化**，於是在副線圈中不斷產生交變的感生電動勢。在副線圈中感生的交流電與原線圈中的交流電有相同頻率。若將負荷（例如一盞燈）連接到副線圈，電能就會源源不絕地從原線圈的電路（原電路）傳送到副線圈的電路（副電路）。

歷史點滴 互感

法拉第在 1831 年首次發現互感現象。右圖為法拉第當時實驗所使用的鐵環。

互感 mutual inductance

Ext

進度評估 4

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.293）。

1 1 開關 *S* 閉合時，燈泡只閃亮一次（圖 a）。下列哪一項改變能使燈泡持續發亮？

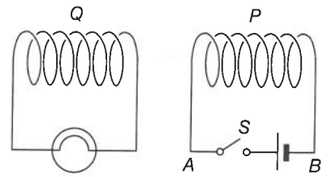


圖 a

A　接上更多電池。
B　把電池換成交流電源。
C　增加螺線管 *P* 或 *Q* 的匝數。
D　把兩個螺線管繞在同一個鐵心上。

1 2 圖 b 所示為一個簡單變壓器，圖 c 顯示變壓器原線圈中的電流。設電流從 *X* 流向 *Y* 的方向為正。

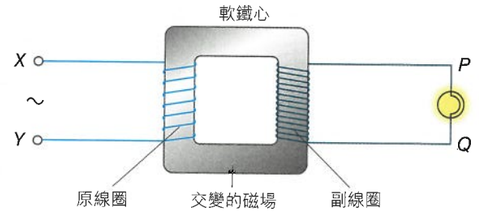


圖 b

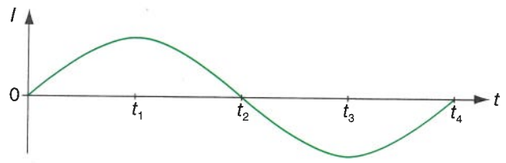


圖 c

(a) 試完成表 a。

時段	0–t_1	t_2 – t_3
原線圈磁場方向	逆時針	順時針
原線圈磁場	增強	增強
副線圈磁場方向	順時針	逆時針
副線圈電流方向	*P* 至 *Q*	*Q* 至 *P*

表 a

(b) 在副線圈內的感生電流是直流電還是交流電？交流電

2 電壓比

變壓器原線圈的電壓（原電壓）和副線圈的電壓（副電壓）都與線圈的匝數有關，以下實驗可找出電壓與線圈匝數之間的關係。

錄像片段 6.4

➔ 錄像片段6.4示範實驗 6d。

若使用雙跡示波器，只要接駁頻道 1 到原線圈，接駁頻道 2 到副線圈，便可同時顯示出原電壓和副電壓的波形。

實驗 6d　電壓比和線圈匝數比的關係

1 如圖 a 所示組裝變壓器。利用低壓電源，將電壓為 1 V 的交流電施加於一個 10 匝線圈的兩端。

2 接駁示波器至原線圈兩端，關掉時基，量度顯示屏上垂直跡線的長度（圖 b）。

3 重複步驟 2，改為量度 25 匝副線圈的電壓。

圖 a　圖 b

示波器可由電壓感應器和數據記錄程式取代（圖 c）。從錄得的電壓—時間關係線圖，就能得出原電壓和副電壓。

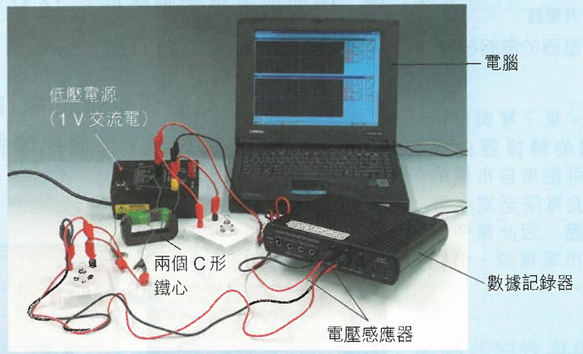


圖 c

討論

比較電壓比與匝數比。兩者大致相同

學生或會得出電壓比略大於匝數比的結果，可向他們解釋並非所有磁力線都通過副線圈。

EXT

模擬程式 6.2

→ **模擬程式 6.2** 展示，在簡單變壓器中，原線圈和副線圈的匝數比與它們的電壓比有甚麼關係。

只要所有磁力線都穿過兩個線圈（即沒有磁通量泄漏），原線圈和副線圈的電壓比就只取決於兩個線圈的匝數（圖 6.2e）。

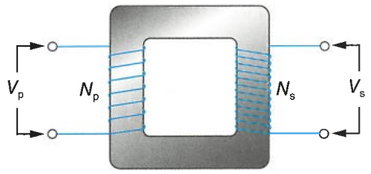


圖 6.2e 變壓器的電壓和匝數

$$\frac{\text{原電壓}}{\text{副電壓}} = \frac{\text{原線圈匝數}}{\text{副線圈匝數}}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \textbf{（設沒有磁通量泄漏）}$$

效率的定義見第 299 頁。 ▶ 這條公式適用於正弦交流電的峯值電壓及有效值電壓，也適用於**效率**低於100% 的變壓器。除非特別指明，否則假設在本書所述的各種情況下，這個關係都成立。

圖 6.2f 變壓器的電路符號

原線圈匝數與副線圈匝數之比稱為**匝數比**。只要恰當地選擇線圈的匝數比，就可以用變壓器來**改變**交流電的電壓為一個所需的數值。

升壓器 ($V_s > V_p$) 的副線圈匝數大於原線圈 ($N_s > N_p$)，用於提高電壓，例如在發電站中，電壓會經升壓器提高至 400 kV 才通過電纜輸送至用戶。**降壓器** ($V_s < V_p$) 的副線圈匝數小於原線圈 ($N_s < N_p$)，用於降低電壓，例如把市電電壓降低至 16 V 來供手提電腦使用。圖 6.2f 所示為升壓器和降壓器的電路符號。

參看**起點**。電子琴與市電電源之間的轉接器內置降壓器，可把來自市電的 220 V 交流電降至電子琴的額定電壓，因此電子琴即使使用市電電源，仍能如常操作。

學校實驗室常見的低壓電源箱（圖 6.2g）內有特製的變壓器，它的副線圈有一排外接抽頭，每個抽頭對應不同的線圈匝數，可輸出不同的電壓。

(i)

(ii)

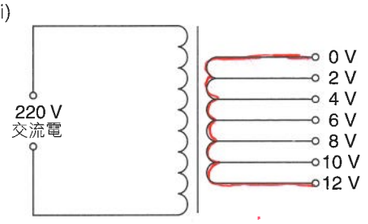


圖 6.2g (i) 低壓電源箱和 (ii) 多抽頭變壓器的電路符號

效率 efficiency　匝數比 turns ratio　升壓器 step-up transformer
降壓器 step-down transformer

EXT

例題 5　匝數比與電壓比

圖 a 顯示實驗 6d 的原電壓及副電壓波形。試計算變壓器的電壓比，並把結果與匝數比作比較，解釋兩者的分別。

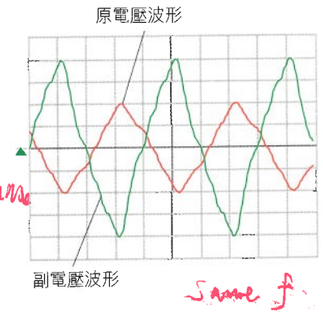


圖 a

題解

從圖 a 可見，$V_p = 2$ 格，$V_s = 4$ 格。

$$\text{電壓比} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{2}{4} = 0.5$$

$$\text{匝數比} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{10}{25} = 0.4$$

這說明磁通量泄漏時，V_s 的值會比預期小，因此 $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$ 不再成立。 ▶

電壓比大於匝數比，是因為原線圈有些磁力線沒有穿過副線圈（有磁通量泄漏）。

習題與思考 6.2 Q12 (p.311)

3 變壓器的電流

理想的變壓器能將 100% 的能量（或功率）傳送至副電路，於是，供應給原電路的功率就會全部輸送到副電路去，即：

$$\text{總輸入功率} = \text{有用輸出功率}$$

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\Rightarrow \quad \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

從 $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$ 得出

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad \textbf{（設沒有功率損耗）}$$

在實用的變壓器中，功率在傳送時會有所損耗。變壓器的效率就是

$$\text{效率} = \frac{\text{（副電路的）有用輸出功率}}{\text{（原電路的）總輸入功率}} \times 100\%$$

圖 6.2h 所示為一個降壓器，匝數比是 20 : 1，把電壓從 220 V 降至 11 V。如果沒有功率損耗，電流就會從 0.5 A 增至 10 A；如果有功率損耗，副電流就不足 10 A。

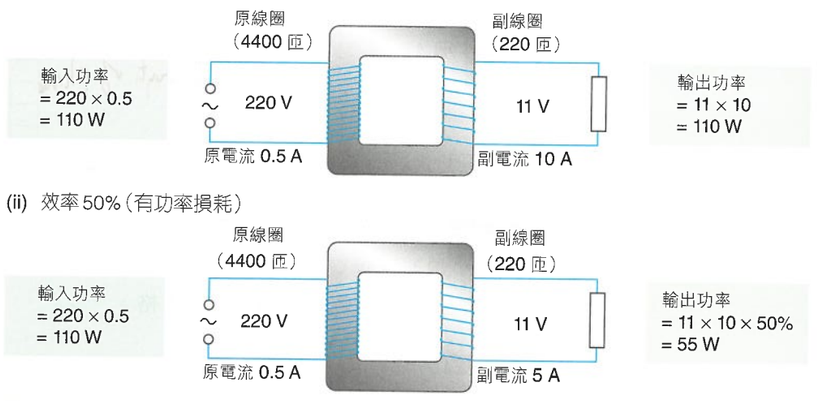


圖 6.2h 電壓下降，電流增大

例題 6 變壓器線圈中的電流

以下各例題中，計算時都採用交流電電壓或電流的有效值。

某理想變壓器的原線圈有 3300 匝，用來連接一個「12 V，24 W」的燈泡到 220 V 的交流市電，讓燈泡在額定值下操作（圖 a）。

(a) 求副線圈的匝數 N_s。

(b) 求副線圈的電流 I_s。

(c) 求原線圈的電流 I_p。

(d) 如果變壓器的效率並不是 100%，(c) 部的答案會怎樣改變？

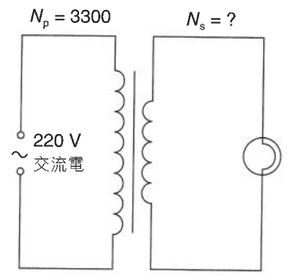


圖 a

題解

(a) 根據 $\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$，

$$N_s = \frac{V_s}{V_p} \times N_p = \frac{12}{220} \times 3300 = 180$$

(b) I_s = 通過燈泡的電流 $= \frac{P}{V} = \frac{24}{12} = 2$ A

副線圈的電流為 2 A。

(c) 變壓器是理想的，即沒有功率損耗。據此

$$V_p I_p = V_s I_s \quad \Rightarrow \quad I_p = \frac{V_s I_s}{V_p} = \frac{24}{220} = 0.109 \text{ A}$$

(d) 答案會變得較大。

進度評估 5 Q1 (p.303)

例題 7 為甚麼要使用變壓器？

一個額定值為「12 V，24 W」的燈泡與電阻器串聯起來，再接到 220 V 的交流市電（圖 a）。電阻器的電阻恰好讓燈泡可以在 12 V 的電壓下運作。

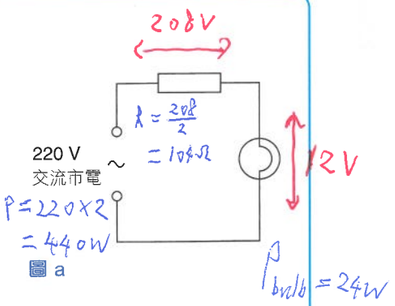


圖 a

(a) 向燈泡供電的過程中，電路的效率是多少？

(b) 為甚麼用變壓器降壓比用電阻器優勝？

題解

(a) 設 I 為通過電路的電流。

$$\text{效率} = \frac{\text{燈泡損耗的功率}}{\text{總輸入功率}} \times 100\%$$

$$= \frac{VI}{\varepsilon I} \times 100\% = \frac{12I}{220I} \times 100\% = 5.45\%$$

(b) 使用電阻器降壓，大部分由市電供應的功率會以熱的形式散失掉，但用變壓器來降壓就可大大減少功率損耗。

習題與思考 6.2 Q8 (p.311)

4 實用變壓器

圖 6.2i 顯示的兩個線圈安置方法都可用於實用變壓器中。兩款設計都確保所有從原線圈產生的磁力線，會困在環形軟鐵心之中，並全部穿過副線圈。

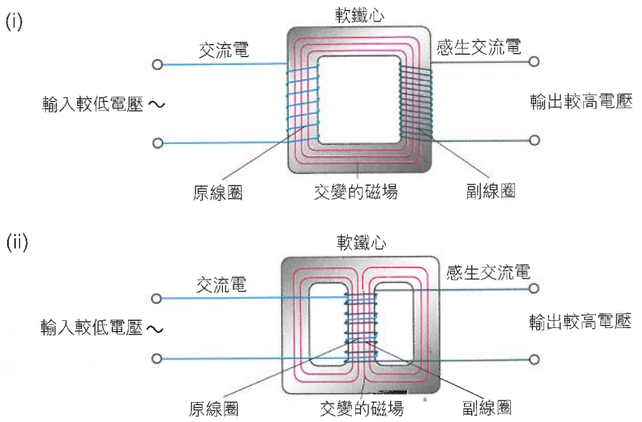


圖 6.2i 兩個變壓器線圈的安置方法

EXT

可向學生提問：還有甚麼方法可降低線圈的電阻？方法包括：
1 儘量避免導線變熱
2 用短導線
3 用高導電性物料製作的導線
也可討論上述各種方法的可行性。

使用實用變壓器難免會有功率損耗。表 6.2a 列出導致功率損耗的因素和減少這些損耗的方法。

因素	解釋	措施
導線的電阻	繞成線圈的導線會有電阻，電流通過時導線便發熱。從這個途徑損耗的功率稱為**歐姆損耗**。	使用較粗的導線，以減低線圈的電阻。
鐵心的磁化和去磁	鐵心在磁化和去磁的過程中會變熱，能量就以熱的形式散失掉。	軟鐵易於磁化及去磁，可用來製造鐵心。
鐵心中的感生電流	鐵心在變化磁場之中會感生出渦電流（圖 6.2j），渦電流的熱效應會釋出熱。從這個途徑損耗的功率稱為**渦電流損耗**。	使用疊片式鐵心。這種鐵心由薄鐵片疊起而成（圖 6.2k），鐵片之間互相絕緣，限制了渦電流只能在單一鐵片之中流動（圖 6.2l）。

表 6.2a 變壓器中導致功率損耗的因素和減少損耗的方法

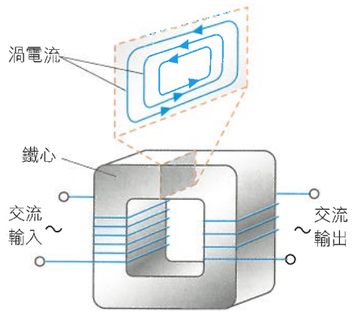


圖 6.2j 在鐵心內感生的渦電流

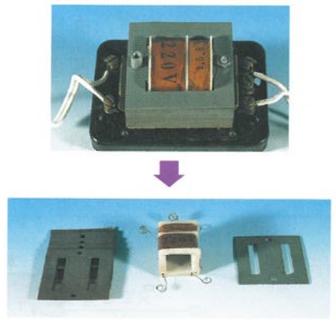


圖 6.2k 實用變壓器：鐵心用軟鐵薄片疊成

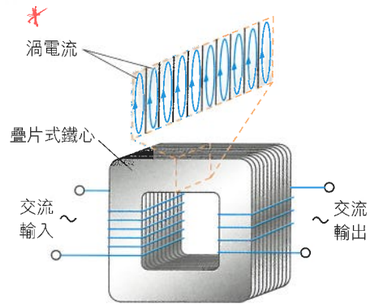


圖 6.2l 薄鐵片會限制渦電流的流動

若出現上述三個因素中的任何一個，變壓器的效率就會降低，即 $V_pI_p > V_sI_s$，因此方程 $\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$ 就不再適用。

實用變壓器的效率很高，設計優良的變壓器效率可達 90% 以上。

進度評估 5

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.293）。

1 額定值為「8 V，12 W」的燈泡由一個理想變壓器操作（圖 a），能在額定值下運作。

(a) 市電電壓是多少？240 V

(b) 求副電流。1.5 A

(c) 求原電流。0.05 A

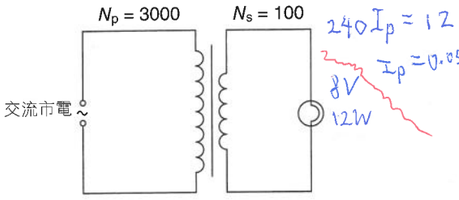


圖 a

2 3 圖 b 所示的變壓器適用於 100–240 V 的輸入電壓，而輸出的電壓和電流則必定為 4.8 V 和 0.9 A。該變壓器現接駁到 100 V 市電，原電流為上限的 27%。求變壓器的效率。80%

圖 b

預試訓練 1 定值電阻器作為負荷 ☆ 香港中學會考 2011 年卷二 Q42

X 和 Y 是兩個相同的定值電阻器，它們與一個理想變壓器的副線圈串聯（圖 a）。若移除 X，下列哪些敘述是正確的？

(1) 副電壓會增加。
(2) Y 所消耗的功率會增加。
(3) 原電流會下降。

A 只有 (2)　　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

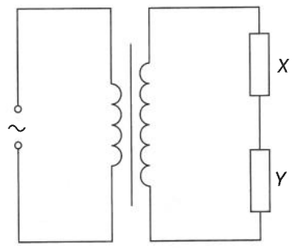


圖 a

題解

副電壓取決於匝數比，而移除 X 後匝數比並沒有改變。

∴ (1) 不正確。

移除 X 後，橫跨 Y 的電壓增加。

Y 成為副線圈中的唯一負荷，因此橫跨 Y 的電壓相等於副電壓。

根據 $P = \frac{V^2}{R}$，Y 所消耗的功率亦會增加。

∴ (2) 是正確的。

移除 X 後，副電路的等效電阻會下降。根據 $I = \frac{V}{R}$，副電流會增加。

由於 $\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$ = 常數，當 I_s 增加，I_p 亦會增加。

∴ (3) 不正確。

因此答案是 A。

複習 Q16 (p.315)

Ext

5 高壓輸電

電能往往要由發電站經過很遠的距離才能輸送給用戶。輸電纜由銅製成，儘管銅是非常良好的導體，但輸電纜的長度達若干公里計，總電阻不容忽視，所導致的功率損耗或很可觀。怎樣才能儘量降低輸電纜的功率損耗 (I^2R)？以下實驗有助於找出答案。

實驗 6e 輸電線模型

→ 錄像片段 6.5 示範實驗 6e。

錄像片段 6.5

1 如圖 a 裝置輸電線模型。接通 12 V 的直流電源後，比較兩個燈泡的亮度，兩者分別反映「發電站」和「用戶」兩端的功率。

2 改用 12 V 的交流電源重複上述步驟。留意兩個燈泡的亮度有甚麼分別。

3 利用一個 1 : 20 的變壓器，在「發電站」一端把 12 V 交流電升壓，然後再利用一個 20 : 1 的變壓器，在「用戶」的一端降壓（圖 b）。接通電源後，比較兩個燈泡的亮度。

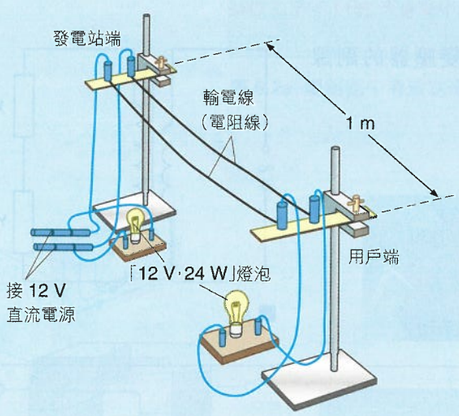


圖 a

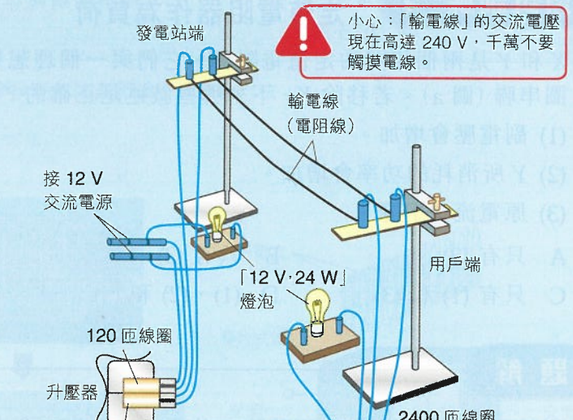


圖 b

小心：「輸電線」的交流電壓現在高達 240 V，千萬不要觸摸電線。

討論

哪種方法在輸電線中的功率損耗最小？ 用高壓交流電的方法

Ext

a 輸電纜的功率損耗

實驗 6e 的輸電線模型中，無論電源是 12 V 交流電還是 12 V 直流電，「發電站」一端的燈泡都很明亮。但由於「輸電纜」中的功率損耗大，在「用戶」一端的燈泡，燈光顯得昏暗。

不過，接駁交流電源時，如果先在「發電站」一端提高電壓，然後在「用戶」一端降低至原來的電壓，「用戶」和「發電站」兩端的燈泡就幾乎同樣明亮。這是由於提高電壓可降低「輸電纜」中的電流，因而減少了電纜中的功率損耗 (I^2R)。

以高電壓輸電，可降低輸電過程中的功率損耗。

圖 6.2m 電纜以高電壓輸送電能

例題 8 電纜的功率損耗

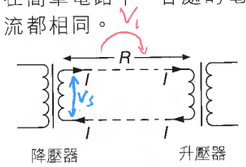
一段總電阻為 5 Ω 的電纜輸送 4 kW 的電功率。

(a) 試計算電纜在輸電電壓為 (i) 200 V 及 (ii) 4000 V 時的功率損耗。

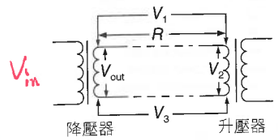
(b) 從 (a) 部的答案可得出甚麼結論？

題解

在簡單電路中，各處的電流都相同。



電纜的功率損耗也可從 $P = \frac{V_1^2}{R}$ 求得，其中 V_1 是電纜兩端的電壓，而**不是**輸電電壓。



(a) (i) 輸電電壓為 200 V 時：

通過電纜的電流 $= \frac{P}{V} = \frac{4000}{200} = 20$ A

$\Rightarrow$ 電纜的功率損耗 $= I^2R = 20^2 \times 5 = 2000$ W

(ii) 輸電電壓為 4000 V 時：

通過電纜的電流 $= \frac{P}{V} = \frac{4000}{4000} = 1$ A

$\Rightarrow$ 電纜的功率損耗 $= I^2R = 1^2 \times 5 = 5$ W

(b) 以高電壓輸電可大大減少電纜的功率損耗。

進度評估 6 Q4 (p.310)

b 電能的輸送

圖 6.2n 中的簡圖顯示電能怎樣輸送。在發電站，發電機產生交流電而不是直流電，這是因為交流電壓能輕易地經變壓器來升壓或降壓，而變壓過程中的功率損耗也很小。

發電站在輸電前會先用變壓器升高電壓，然後在不同變電站將電壓逐步降低，再傳送到家庭、辦公室和工廠。

要把電能分配到各處，便需要一個傳輸網絡，這個網絡稱為**電網系統**。圖 6.2o 展示九龍和新界的電網系統（由「中電」營運）。

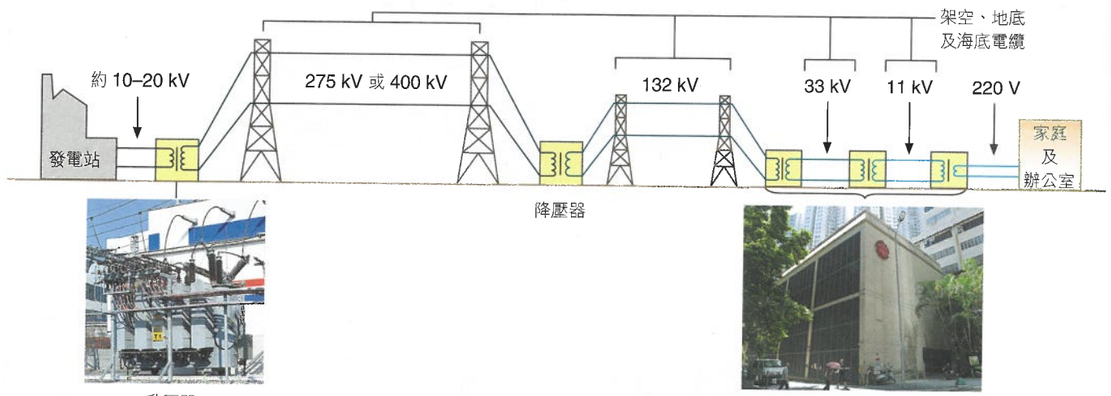


圖 6.2n 輸電的示意圖

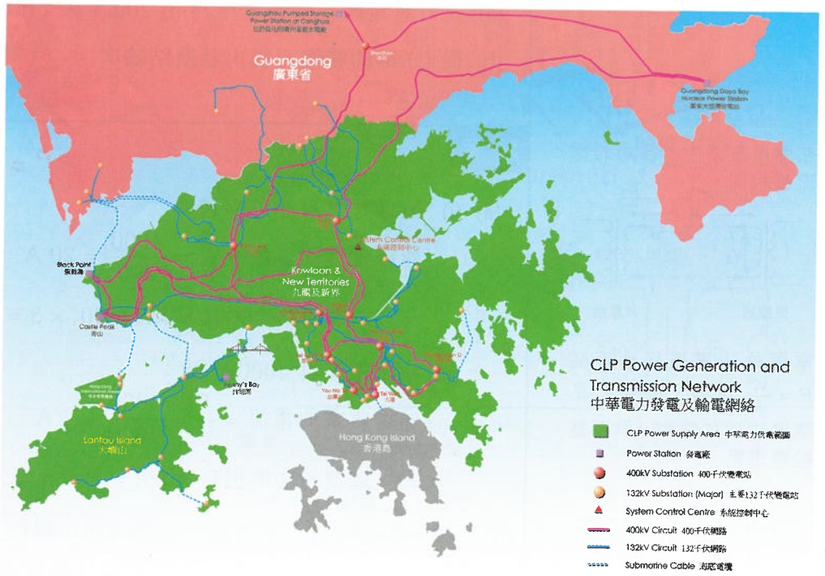


圖 6.2o 九龍和新界的電網系統由中華電力有限公司營運（資料來源：中電）

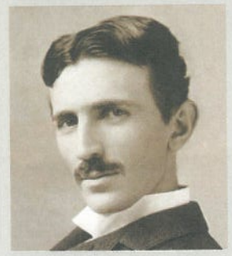
電網系統 grid system

歷史點滴

直流交流之爭：愛迪生與忒斯拉

19 世紀，美國興建了大量發電站，由**愛迪生**興建的都生產直流電。**忒斯拉**曾是愛迪生的助手，後來因與愛迪生意見不合而離職。1888 年，忒斯拉發明了交流電長途輸電系統。這套系統隨工業發展而漸漸取得優勢，最終普遍為人所接受。磁場的單位 (tesla) 也以忒斯拉的名字命名。

愛迪生 (1847–1931)



忒斯拉 (1856–1943)

牛津物理網

例題 9 東鐵線供電系統

發電站以 132 kV 的交流電向港鐵的東鐵線供電。鐵路沿線設置多座變電站，把交流電的電壓降至 25 kV（圖 a）。交流電經鐵路的架空電纜傳送後，用於驅動列車的牽引電動機。

圖 a

(a) 為甚麼要在鐵路沿線設置多座變電站？

(b) 要把 132 kV 降至 25 kV，變壓器的匝數比是多少？

F-X (c) 已知 132 kV 交流電的電流峯值是 8.5 A，計算：

(i) 變壓器原線圈中的等效直流電

(ii) 通過架空電纜的電流

(iii) 變壓器副線圈的輸出功率

假設變壓器的效率為 100%。

題解

(a) 如果只建一座變電站來向整個鐵路網供電，電纜的功率損耗就會很大。

(b) $\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{132\ 000}{25\ 000} = \frac{132}{25}$

變壓器的匝數比是 132 : 25。

F-X (c) (i) 等效直流電 = 交流電的方均根值

$= \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{8.5}{\sqrt{2}} = 6.01\ \text{A}$

(ii) 通過架空電纜的電流 $= \frac{N_p}{N_s} \times I_p$

$= \frac{132}{25} \times 6.01$

$= 31.7\ \text{A}$

(iii) 輸出功率 $= VI$

$= 25\ 000 \times 31.7$

$= 792\ 500$

$= 793\ \text{kW}$

複習 Q19 (p.316)

愛迪生 Thomas Edison　忒斯拉 Nikola Tesla

EXE

預試訓練 2 輸電系統的效率 ☆ 香港中學會考 2009 年卷一 Q12

以下示意圖顯示電能怎樣從發電站輸送到鐵路系統（圖 a）。電壓經兩個理想變壓器 X 和 Y，分兩次降壓至 1.5 kV。X 和 Y 經兩條相同的輸電纜 QR 和 SP 連接在一起，每條電纜長 4 公里。變壓器 Y 的匝數比為 22 : 1。

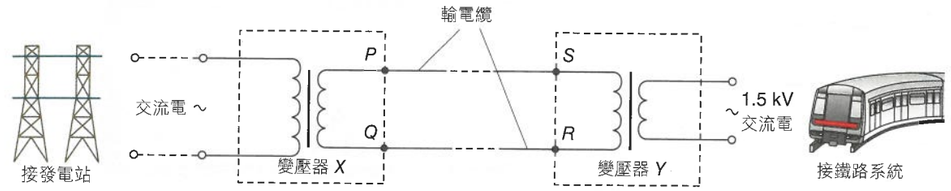


圖 a

(a) 求 RS 兩端的電勢差。 (2 分)

(b) 假設輸電纜的電阻為每公里 1 Ω，通過電纜的電流為 18.2 A。求 QR 和 SP 的總功率損耗。 (2 分)

(c) 這個輸電系統的效率是多少？ (2 分)

(d) 建議兩個方法，增加這個輸電系統的效率。 (2 分)

題解

(a) RS 兩端的電勢差 $= \dfrac{N_{Yp}}{N_{Ys}} \times V_{Ys}$ *1M*

$= 22 \times 1500$

$= 33\ 000 = 33$ kV *1A*

(b) 總功率損耗 $= I^2R = I^2(R_{QR} + R_{SP})$ *1M*

$= 18.2^2 \times 2(4 \times 1)$

$= 2650$ W *1A*

(c) 效率 $= \dfrac{\text{有用輸出功率}}{\text{總輸入功率}} \times 100\%$ *1M*

$= \dfrac{IV_{RS}}{IV_{RS} + P_{loss}} \times 100\%$

$= \dfrac{18.2(33\ 000)}{18.2(33\ 000) + 2650} \times 100\%$

$= 99.6\%$ *1A*

由於 Y 是理想變壓器，輸入功率 = 輸出功率 = IV_{RS}。

(d) 提高輸電纜的電壓 *1A*

使用電阻較低的輸電纜。 *1A*

常見錯誤

學生或忽略問題早已設定變壓器是理想的，因而錯誤地提出提升變壓器效率的方法。

複習 Q28 (p.318)

STSE 香港的電力供應

香港的電力分別由香港電燈有限公司和中華電力有限公司供應，兩間公司負責發電、輸電和配電（表 a）。

	中華電力有限公司	香港電燈有限公司
供電地區	九龍、新界、大嶼山及其他離島	香港島、南丫島及鴨脷洲
發電站	青山發電廠 龍鼓灘發電廠 竹篙灣燃氣輪機發電廠 廣東大亞灣核電站 廣州蓄能水電廠	南丫發電廠 南丫風采發電站 太陽能發電系統
電網系統	主要以 400 kV 輸電，變壓站把電壓逐步降低至 132 kV、33 kV 和 11 kV。	主要以 275 kV 和 132 kV 輸電，負荷中心把電壓降低至 11 kV 或 22 kV。
配電	在配電站降低電壓後，電力以 380/220 V 分配到不同用戶。	在負荷中心降低電壓後，電力主要以 380/220 V 分配到不同用戶。

表 a

由於推動發電機的蒸汽渦輪機需要大量水作冷卻用途，發電站多建在河邊或海邊（圖 a）。

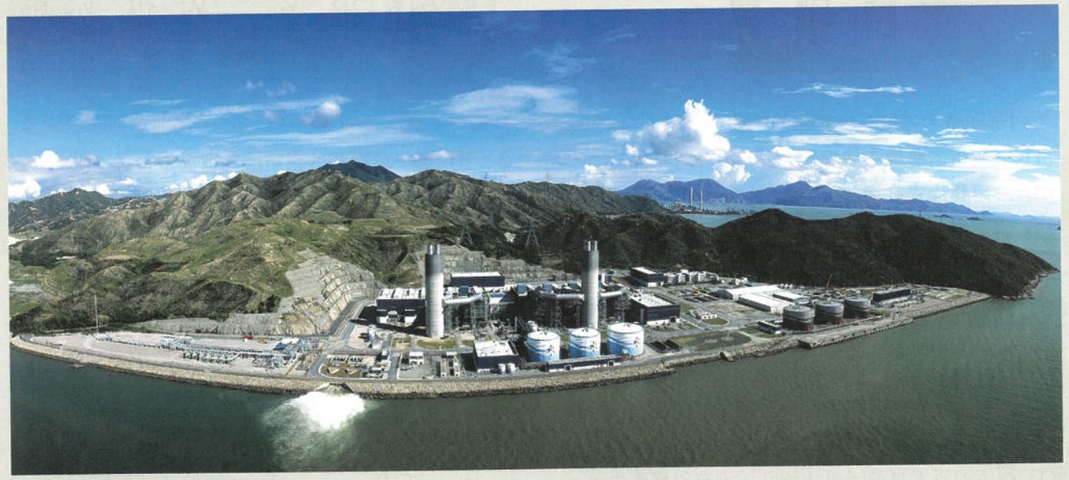


圖 a 臨海的發電站

可到香港教育城的網站，觀看介紹本港輸電過程的錄像片段：

http://energy-efficiency.qed.hkedcity.net/Kit1/Kit1M2/K1M2_video/index_K1M2_video.htm

進度評估 6

✔ 各題號旁的數字對應本節重點（參看p.293）。

51 以下哪些方法可以減低輸電網的功率損耗？

(1) 以較高電壓經電纜輸送電功率
(2) 使用較低電阻的電纜
(3) 避免將電壓分段變壓

A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)　　D (1)、(2) 和 (3)

52 輸電系統以 275 kV 的電壓輸送 3420 MW 的電功率。如果電纜的總電阻是 5 Ω，那麼電纜的功率損耗是多少？773 MW

53 在輸電系統中，變電站有甚麼功用？

A 發電
B 升高電壓
C 降低電壓
D 降低電流

54 承例題 8 (p.305)。設輸電電壓為 200 kV。

(a) 試計算電纜兩端的電壓降幅。0.1 V

(b) 從 (a) 部的答案找出電纜的功率損耗。0.002 W

習題與思考 6.2

（第 1 至 2 題）考慮以下的簡單變壓器（圖 a）。

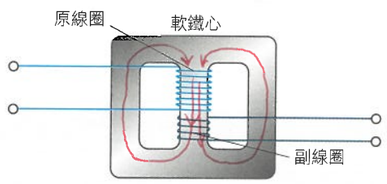


圖 a

4 1 下列哪些做法可提高變壓器的效率？

(1) 用較粗的導線來繞線圈
(2) 改用疊片式軟鐵心
(3) 將副線圈繞在軟鐵心的右臂上。

A 只有 (2)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

1 2 下列哪些關於變壓器的描述是正確的？

(1) 穩定的直流電通過原線圈時，沒有磁場產生。
(2) 穩定的直流電通過原線圈時，副線圈沒有產生感生電動勢。
(3) 變壓器用交流電才會運作。

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)
D 只有 (2) 和 (3)

（第 3 至 4 題）圖 b 展示某輸電系統的簡圖，設 T_1 和 T_2 都是理想變壓器，輸電纜的總電阻為 R。

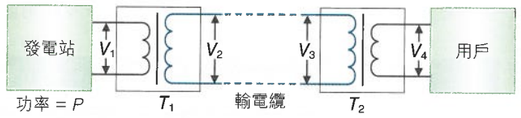


圖 b

5 3 下列哪一項有關該系統的描述必定正確？

A T_1 是升壓器。
B $V_1 = V_4$
C $V_3 > V_2$
D 系統的效率為 100%。

★ 4 5 下列哪些表達式代表輸電纜的功率損耗？

(1) $\frac{P^2R}{V_2^2}$

(2) $\frac{P^2R}{(V_2 - V_3)^2}$

(3) $\frac{(V_2 - V_3)^2}{R}$

A 只有 (1)
B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)
D 只有 (2) 和 (3)

★ 5 5 下列哪些措施有助減少輸電纜的功率損耗？

(1) 縮短輸電纜的長度
(2) 使用高電壓輸電
(3) 使用以相同物料製造但較粗的輸電纜

A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (3)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

★ 6 3

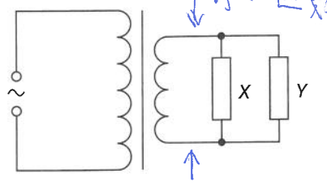


圖 c

圖 c 所示是一個理想變壓器。如果拿走電阻器 Y，下列哪些敘述是正確的？

(1) 原線圈的電流減少
(2) 副線圈的電流減少
(3) 電阻器 X 消耗的功率增加

A 只有 (1)
B 只有 (1) 和 (2)
C 只有 (2) 和 (3)
D (1)、(2) 和 (3)

2 7 變壓器的匝數比為 1 : 4，效率為 90%，輸入電壓為 16 V 的交流電，輸出電壓是多少？64 V

5 8 醫院內有一部後備發電機，可產生電壓為 250 V、功率為 50 kW 的交流電。發電機距離醫院 500 m，輸電纜的電阻是 0.15 Ω。

(a) 輸電纜的功率損耗是多少？6000 W

(b) 使用後備發電機時，原本使用 220 V 交流電的儀器還能正常操作嗎？能夠

★ 9 1 圖 d 是一台簡單變壓器。

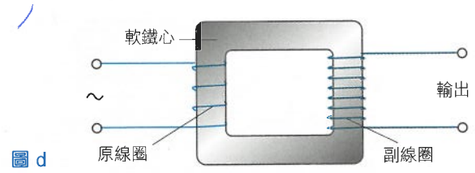


圖 d

(a) 解釋感生電動勢怎樣在副線圈中產生。

(b) 試提出方法改善變壓器，以增加副線圈產生的感生電動勢。

★ 10 2, 3 燈泡經一個理想變壓器接到 220 V 市電，燈泡兩端的電勢差是 10 V，流過燈泡的電流是 0.5 A。

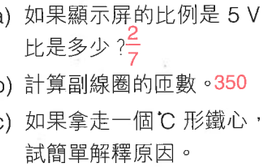
(a) 變壓器的匝數比是多少？22
(b) 燈泡所消耗的功率是多少？5 W
(c) 從市電支取的功率是多少？5 W
(d) 從市電輸出的電流是多少？0.0227 A

★ 11 2, 3 將 12 V 交流電源接上一個理想變壓器，變壓器的匝數比為 1 : 1。變壓器的副線圈有幾個接線頭，兩個相鄰接線頭之間的匝數相等。現將三個「6 V，2 W」的燈泡接上變壓器的副線圈。試計算原線圈在以下各情況的電流。

(a)

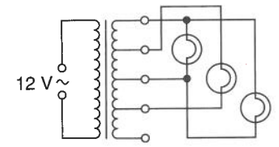
0.5 A

(b)



0.5 A

(c)



0.5 A

★ 12 2, 4 變壓器由原線圈、副線圈、兩個 C 形鐵心及夾子組成，原線圈有 100 匝。圖 e 顯示變壓器原電壓和副電壓的波形。假設變壓器是理想的。

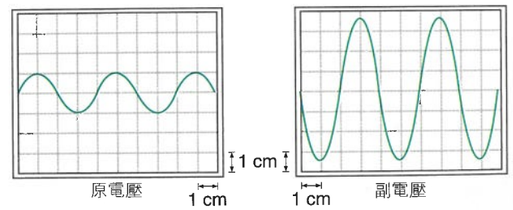


圖 e

(a) 如果顯示屏的比例是 5 V / cm，變壓器的電壓比是多少？$\frac{2}{7}$

(b) 計算副線圈的匝數。350

(c) 如果拿走一個 C 形鐵心，會有甚麼事情發生？試簡單解釋原因。

EXT

總結 6

詞彙

F-X	1	交流電 alternating current (a.c.)	p.282	8 負荷 load	p.294
F-X	2	峯值 peak value	p.283	9 效率 efficiency	p.298
F-X	3	有效值 effective value	p.286	10 匝數比 turns ratio	p.298
F-X	4	方均根值 root-mean-square value	p.287	11 升壓器 step-up transformer	p.298
	5	變壓器 transformer	p.293	12 降壓器 step-down transformer	p.298
	6	原線圈 primary coil	p.294	13 電網系統 grid system	p.306
	7	副線圈 secondary coil	p.294		

課文摘要

F-X 6.1 交流電

1 若通過某純電阻器的交流電和穩定直流電，以同一轉換率把電勢能轉換成其他形式的能量，則交流電的有效值便等於穩定直流電的量值。

2 交流電的有效值就是電流的方均根值。

3 對於正弦交流電：

$$I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad 及 \quad V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

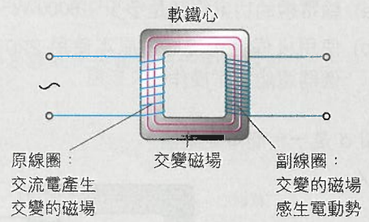
6.2 變壓器和高壓輸電

4 線圈的電流改變，會使附近另一個線圈產生感生電動勢，這個現象稱為互感。

5 圖 a 顯示一個簡單變壓器的結構：

6 理想變壓器能把 100% 的能量（或功率）傳送到副線圈的電路去。

$$效率 = \frac{(副電路的)有用輸出功率}{(原電路的)總輸入功率} \times 100\%$$



a

7 如果沒有磁通量泄漏，

$$變壓器的匝數比 = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

8 如果沒有功率損耗，

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

9 升壓器和降壓器的比較（表 a）：

升壓器	降壓器
副線圈的匝數較多	副線圈的匝數較少
提高電壓	降低電壓

表 a

10 導致變壓器功率損耗的因素和減少損耗的方法（表 b）。

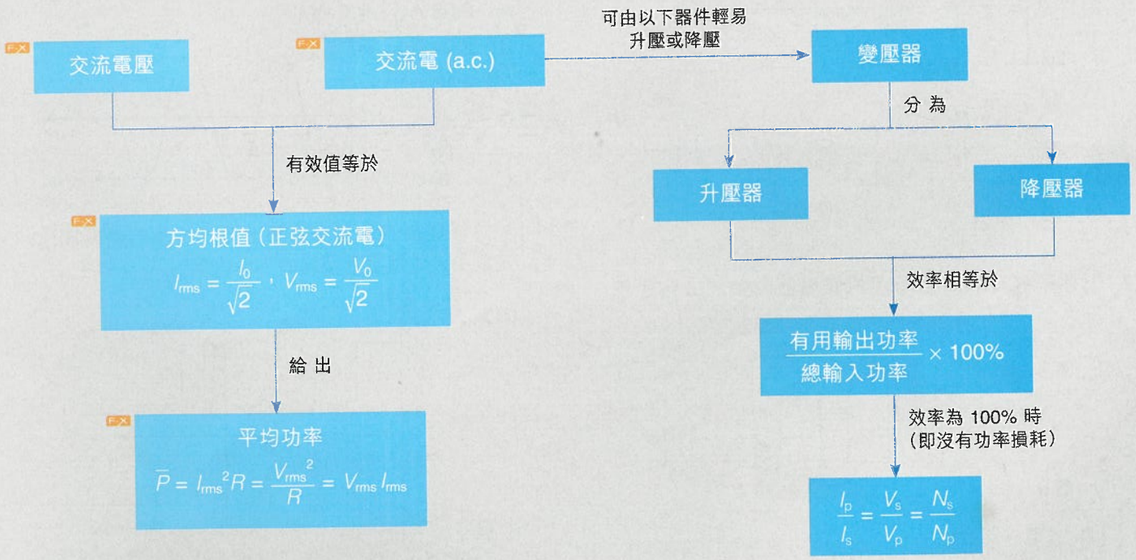
導致功率損耗的因素	減少損耗的方法
導線的電阻（歐姆損耗）	改用較粗的導線
鐵心的磁化和去磁	改用軟鐵來製造鐵心
鐵心中的感生電流（渦電流損耗）	改用疊片式鐵心

表 b

11 發電站的輸出電壓經變壓器提高，以作遠距離輸送，到達用戶前再降壓，就可減少輸電纜的功率損耗（I^2R）。

12 電能的傳輸網絡稱為電網系統。

概念圖



EXE

複習 6

Q1 交流電的方向要有週期性的改變。
Q3 升壓器只能提升電壓，但不能提升輸電功率（大小必定低於或等於輸入功率）。
Q4 軟鐵心用來把原線圈產生的場力線引領去副線圈。
Q5 乾電池有穩定的電壓，並不能在變壓器的副線圈產生感生電動勢。

概念重温

（第1至5題）判斷以下各項敘述是正確的，還是錯誤的。

6.1 **1** 如果電流值會隨時間不斷改變，這電流便是交流電。F

F-X 6.1 **2** 交流電的有效值就是電流的方均根值。T
☆ 香港中學文憑考試練習卷 2012 年卷一乙部 Q9 考試報告

6.2 **3** 升壓器能提升輸電的功率。F

6.2 **4** 變壓器內軟鐵心的作用是減少渦電流。F
☆ 香港中學會考 2009 年卷二 Q44

6.2 **5** 乾電池的電壓不能用變壓器來降低。T

多項選擇題

F-X 6.1 **6** 圖 a 顯示交流電壓隨時間的變化。這個電壓的方均根值是多少？

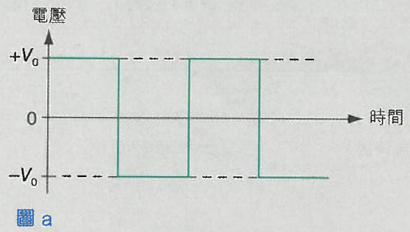


圖 a

A 零　　B V_0
C $\frac{V_0}{2}$　　D $\frac{V_0}{\sqrt{2}}$

6.2 **7** 下列哪些有關圖 b 所示的變壓器的敘述必定是正確的？

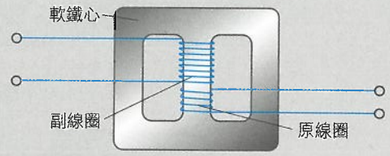


圖 b

(1) 這是一個升壓器。
(2) 相應的電路符號是
(3) 輸入端接駁交流電源。

A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (2) 和 (3)

F-X 6.1 ★ **8** 下列哪些敘述是正確的？

(1) 香港市電的峯值電壓是 220 V。
(2) 一個「220 V，60 W」燈泡在 220 V 的峯值電壓下運作，能消耗的最大功率是 60 W。
(3) 額定值為 5 A 的交流電保險絲，可讓大於 5 A 的直流電通過而不熔斷。

A 只有 (2)　　B 只有 (3)
C 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (2) 和 (3)

6.2 ★ **9** 如果變壓器有功率損耗，下列哪些敘述是正確的？

(1) 它的效率低於 100%。
(2) 匝數比不等於電壓比。
(3) 它不是一個理想變壓器。

A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

F-X 6.1 ★ **10** 一台 50 W 的電器接上圖 c 所示的交流電源後，在額定值下運作。交流電源可用穩定的直流電源代替，使電器仍然在額定值下運作。求這個穩定電流通過電器的值。

A 2.08 A
B 2.94 A
C 4.16 A
D 5.88 A

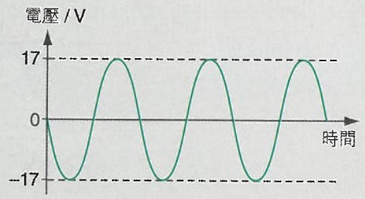


圖 c

F-X 6.1 ★ **11** 一個電阻為 R 的電阻器接上圖 d 所示的週期性交流電源。求電阻器消耗的平均功率。

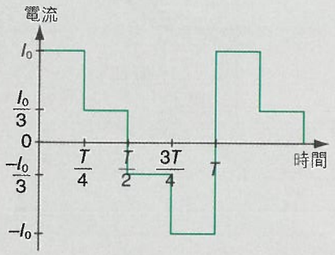


圖 d

A $\frac{1}{2}I_0^2R$　　B $\frac{5}{9}I_0^2R$
C $10\frac{2}{3}I_0^2R$　　D $18\frac{2}{9}I_0^2R$

EXE

（第 12 至 13 題）一個可輸出不同電壓值的變壓器有數個接線頭（圖 e）。變壓器的原線圈與副線圈的匝數比是 2 : 1。副線圈上 PQ、QR 和 RS 段的匝數比為 1 : 3 : 16。假設變壓器的效率為 95%。

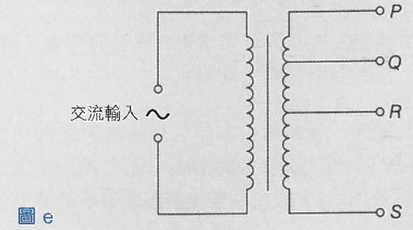


圖 e

F-X 綜合題 ★★ **12** 如果一個「6 V，3 W」的燈泡連接 PQ 兩端並正常發亮，交流輸入的峯值電壓是多少？

A 240 V　　B 253 V
C 339 V　　D 357 V

參看 p.287

6.2 ★★ **13** 變壓器的原線圈有 2400 匝。交流輸入的電壓是 240 V 時，在 PQ、PR 及 PS 端的輸出電壓分別是多少？

	V_{PQ}	V_{PR}	V_{PS}
A	5.7 V	17.1 V	120 V
B	5.7 V	22.8 V	114 V
C	6 V	18 V	96 V
D	6 V	24 V	120 V

參看 p.299

F-X 6.1 **14** 香港高級程度會考 2007 年卷二 Q37

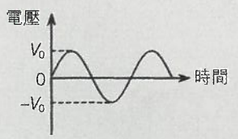


圖 f

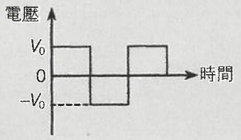


圖 g

當圖 f 所示的正弦交流電施於某電阻器 R 時，它所產生熱量的平均率為 P。如以圖 g 所示具有相同頻率和振幅的方波交流電施於同一電阻器 R，它所產生熱量的平均率是多少？

A $\sqrt{2}P$
B $2P$ (52%)
C $2\sqrt{2}P$
D $4P$

6.2 **15** 香港高級程度會考 2008 年卷二 Q19

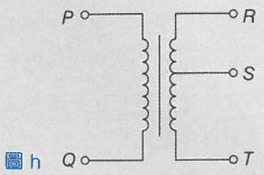


圖 h

當理想變壓器電路中的 PQ 端接上 240 V 交流電時，在 RS 端和 ST 端量得的電壓分別為 4 V 和 8 V。若現以 6 V 交流電施於 ST 端，則在 PQ 端和 RS 端測得的電壓是多少？（PQ 和 RS 皆為斷路。）

	PQ 端的電壓	RS 端的電壓
A	0 V	0 V
B	180 V	0 V
C	0 V	3 V
D	180 V	3 V (62%)

6.2 **16** 香港中學會考 2011 年卷二 Q42

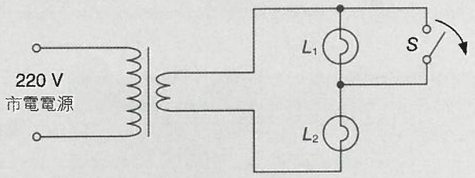


圖 i

上圖顯示一個理想變壓器。該變壓器的原線圈連接到 220 V 市電電源，而 L_1 和 L_2 兩燈泡串聯連接到副線圈。初始時，S 閉合。當 S 斷開時，以下哪項敘述是正確的？

A 該變壓器原線圈的電流減少。(34%)
B 該變壓器副線圈兩端的電壓增加。
C L_1 的亮度減少。
D L_2 的亮度增加。

F-X 6.1 **17** 香港中學文憑考試 2014 年卷一甲部 Q30

當一發熱器連接 10 V 的直流電壓時，耗散的功率為 P。如果發熱器連接一正弦交流電，耗散的功率則變為 $\frac{1}{2}P$。該交流電的**方均根電壓**是多少？設發熱器的電阻恆定。

A 5 V　　B $5\sqrt{2}$ V (57%)
C 10 V　　D $10\sqrt{2}$ V

EXT

問答題

6.2 **18** 發電站產生交流電。交流電先經過升壓再以高壓傳送至地區的變電站，經過降壓後再送至用戶。

(a) 與穩定的直流電相比，用交流電輸電有甚麼好處？試扼要解釋。 （3 分）

(b) 寫出一個影響變壓器效率的因素，以及一個相應的改善效率方法。 （2 分）

(c) 除了以高壓輸電之外，試建議另一個方法以減少輸電纜的功率損耗。 （1 分）

6.2 **19** 電能經電線桿輸送到一間農舍，所用的銅電纜電阻為 0.5 Ω，流入農舍的總電流為 12 A，電線桿的電壓為 220 V（圖 j）。

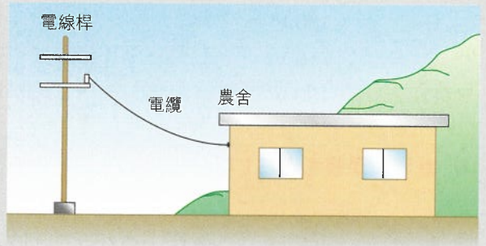


圖 j

(a) 已知銅的電阻率是 $1.68 \times 10^{-8}\ \Omega\ m$，電纜的截面積是 3 mm^2。求銅電纜的長度。 （2 分）
89.3 m

(b) 供給農舍的電壓是多少？214 V （2 分）

(c) 電線桿提供的功率是多少？2640 W （2 分）

(d) 電纜的功率損耗百分比是多少？2.73% （2 分）

★ **20** 綜合題 一台打印機的額定電壓和電流分別為 110 V 和 0.6 A（圖 k）。為了令打印機能在香港以額定電壓操作，打印機便先經過變壓器才連接到 220 V 市電，而變壓器的效率為 98%。

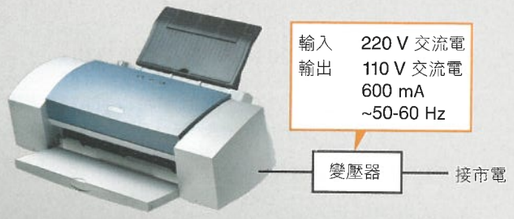


圖 k

(a) 變壓器的匝數比是多少？2 （2 分）

F-X (b) 流經打印機的峯值電流是多少？0.849 A （2 分）

(c) 打印機的操作功率是多少？66 W （2 分）
67.3 W

(d) 打印機運作時，從市電支取多少功率？ （2 分）

(e) 為甚麼在香港以市電操作這台打印機，要先連接到變壓器？ （2 分）

★ **21** 6.2 圖 l 顯示一個輸電線模型，一個額定值為「12 V，24 W」的燈泡連接到輸出端。電線 *AB* 和 *CD* 的總電阻為 10 Ω。假設兩個變壓器的效率都是 100%。

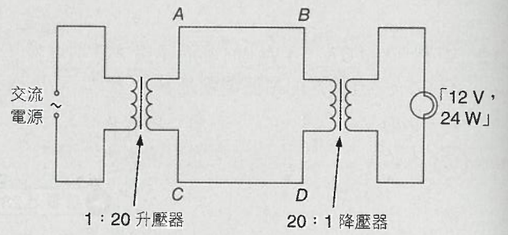


圖 l

假設燈泡按額定值操作，求：

(a) 通過燈泡的電流 2 A （2 分）

(b) 電線的損耗功率 0.1 W （3 分）

(c) 從電源輸出的電流 2 A （1 分）

(d) 交流電源的電壓 12.1 V （3 分）

★ **22** F-X 6.1

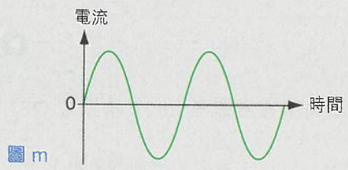


圖 m

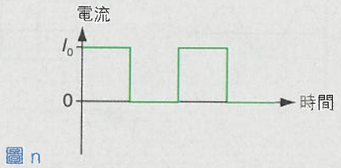


圖 n

上圖顯示兩個電源的電流波形，一個為正弦波形（圖 m），另一個則為方波形（圖 n）。一個電阻器先後接至這兩個電源，兩個情況所消耗的平均功率相等。

(a) 指出圖 m 和 n 所示的電流是直流電還是交流電。 圖 m：交流電；圖 n：直流電 （1 分）

EXT

(b) 已知 $I_0 = 5$ A，求正弦電流的峯值。5 A （3 分）

(c) 一個發光二極管先後接至這兩個電源，並發出亮光。

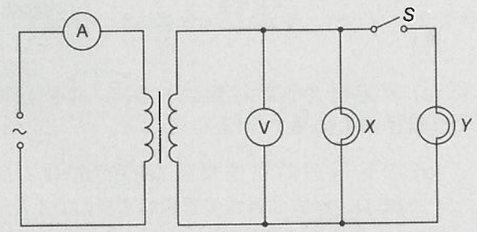
(i) 草繪出連接至不同電源時，通過發光二極管後電流的波形。 （3 分）

(ii) 使用兩個電源所消耗的平均功率與原本相同嗎？試解釋你的答案。 （3 分）

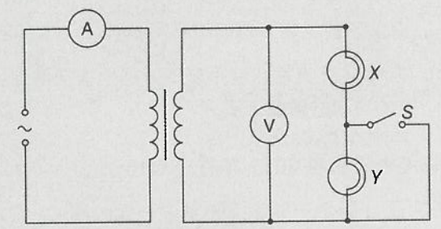
圖 m：下降；圖 n：不變

★ **23** 6.2 兩個相同的燈泡 *X* 和 *Y* 以兩種方式連接到一個理想變壓器。考慮開關 *S* 閉合後的情況，並計算表 a 所列出的量值，答案以 *P*、*V* 和 *I* 表示。 （6 分）

(i)



(ii)



	開關 *S* 斷開	開關 *S* 閉合	
		情況 (i)	情況 (ii)
燈泡 *X* 的功率	*P*	*P*	*4P*
伏特計讀數	*V*	*V*	*V*
安培計讀數	*I*	*2I*	*2I*

表 a

★ **24** F-X 綜合題 某學生只用兩個線圈製作出簡單的變壓器（圖 o）。副線圈繞住原線圈的中間位置繞在外圍。副線圈的截面積為 12 cm^2，長 4 cm，有 500 匝；原線圈與副線圈有相同的截面積，長 20 cm，有 2500 匝。圖 p 顯示原電流 I_p 隨時間 *t* 的變化。取真空磁導率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ T\ m\ A^{-1}$。設原線圈產生的所有磁通量都通過副線圈。

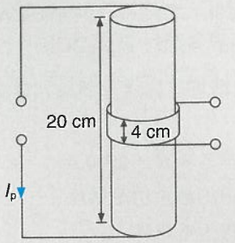


圖 o

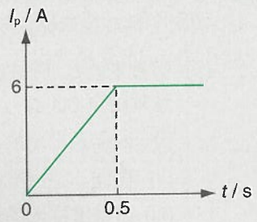


圖 p

(a) 將原線圈當作一條螺線管。求 $t = 0.5$ s 時原線圈的磁場。0.0942 T （2 分）

(b) 求 $t = 0$ 到 $t = 0.5$ s 之間，副線圈產生的感生電動勢。0.113 V （3 分）

(c) 試建議一個方法增加副線圈的感生電動勢。 （1 分）

(d) 在 $t = 0.5$ s 之後，副電壓是多少？零 （1 分）

★ **25** 6.2 自動點火燃氣煮食爐（圖 q）需要電力才能操作。安裝在煮食爐內的氣體點火器基本上是一個簡單升壓器，它的副線圈匝數比原線圈大得多。如果原電流突然改變，副線圈兩端就會出現高達 15 000 V 的電壓，引發火花產生，點燃氣體（圖 r）。

圖 q

圖 r

(a) 為甚麼升壓器的原電流突然改變，副線圈兩端便出現高電壓？ （3 分）

(b) 假設匝數比不變，怎樣可以增加副電壓？試舉出一個方法，並扼要解釋你的答案。 （2 分）

Ext

26 ★★ 6.2 發電站以 220 V 輸送電能，最高可提供 440 kW 的功率。電能會傳輸到新界某鄉村。

(a) 假設電能是通過電纜直接輸送至鄉村。電纜的總電阻為 0.1 Ω。

(i) 求通過電纜的最大電流。2000 A （2 分）

(ii) 由此，找出電纜的最大功率損耗。 （2 分）

(iii) 求電纜兩端的最大電壓降。4×10^5 W 200 V （2 分）

(b) 若以高壓輸電，到達鄉村時，電壓會是 66 kV。電纜接上變壓器，使輸送入鄉村的電壓變成 220 V。

(i) 變壓器的匝數比是多少？300 （2 分）

(ii) 無須計算，試解釋以高壓輸電怎樣能夠減少功率損耗。 （2 分）

參看例題 8 (p.305)

27 ★★ 6.2 (a) 指出交流電和直流電的一個分別。試草繪線圖來解釋你的答案。 （4 分）

(b) 變壓器在交流電傳輸之中的主要作用是甚麼？ （1 分）

(c) 輔以標示圖，描述輸電時可將交流電壓從 25 kV 升壓至 400 kV 的簡單變壓器結構。設這個變壓器是理想的。 （3 分）

(d) 圖 s 顯示一個匝數比為 1 : 30 的變壓器內，原電流 I_p 和副電流 I_s 的關係線圖。從這幅線圖，對這個變壓器你可得出甚麼結論？（1 分）

理想變壓器

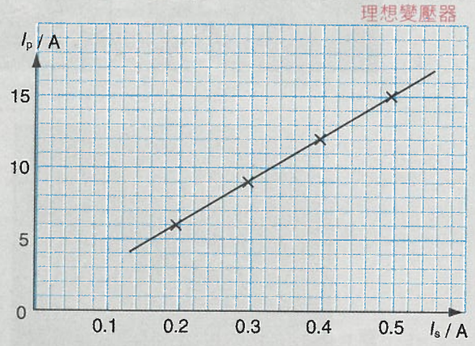


圖 s

參看 p.299

考試報告見第 320 頁。

28 6.2 **香港中學會考 2009 年卷一 Q12**

圖 t 顯示一所學校內鈴聲系統的輸電方法。如圖所示，在校務處的訊號產生器會產生 10 V 交流電訊號並與 *HK* 連接。該訊號然後會升壓至 100 V，並通過一條長輸電纜傳到一間課室。設所有變壓器的效率為 100%。

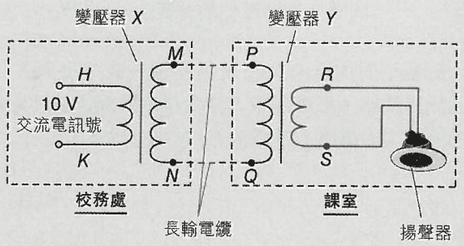


圖 t

(a) 變壓器 *X* 的原線圈為 500 匝。求副線圈的匝數。5000 （1 分）

(b) 該輸電纜的每條導線 *MP* 和 *NQ* 各有電阻 80 Ω。假設通過這些導線的電流為 0.1 A。

(i) 求 *MP* 兩端的電壓。8 V （2 分）

(ii) 求 *PQ* 兩端的電壓。84 V （1 分）

(iii) 求傳至揚聲器的功率。8.4 W （2 分）

(c) 在 10 V 交流電訊號不變下，提出增加傳到揚聲器的功率的**兩個**方法。 （2 分）

考試報告見第 321 頁。

29 6.2 **香港中學會考 2011 年卷一 Q10**

(a) 圖 u 顯示一磁鐵下墜穿過一銅線圈 C_1。C_1 連接到一個電阻器。

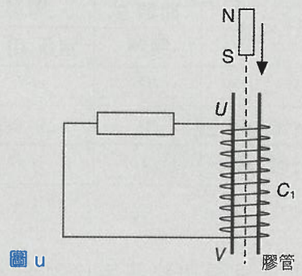


圖 u

(i) 當磁鐵移近 C_1 時，在 *U* 端的感生磁極是甚麼？南極 （1 分）

(ii) 如果除去電阻器使電路變成斷路，發現磁鐵能以較短時間穿過 C_1。試解釋這現象。 （2 分）

Ext

(b) 現把 C_1 和另一匝數較少的銅線圈 C_2 繞在一軟鐵心上，做成一個變壓器，如圖 v 所示。C_2 連接至一交流電源。

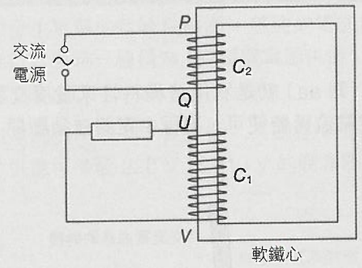


圖 v

(i) 該變壓器有甚麼用途？ （1 分）

(ii) 建議**兩個**提升該變壓器效率的方法。 （2 分）

(iii) 現把另一電源連接至 *PQ*，以取代交流電源。圖 w 顯示流經 C_2 的電流隨時間的變化。電流從 *P* 至 *Q* 流經 C_2 取作正。

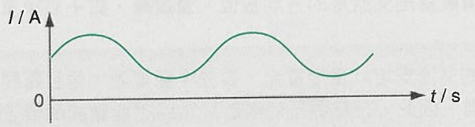


圖 w

啓華聲稱因為流經 C_2 的電流沒有改變方向，所以在 C_1 中不會產生感生電流。試評論啓華的說法是否正確。不正確 （4 分）

實驗題

30 6.2 **香港中學文憑考試樣本試卷 2008 年卷一乙部 Q13**

卓琳進行一項有關變壓器的探究活動。變壓器由兩個 C 型軟鐵心組成，並分別繞有原線圈和副線圈。圖 x 所示為她設置的電路。

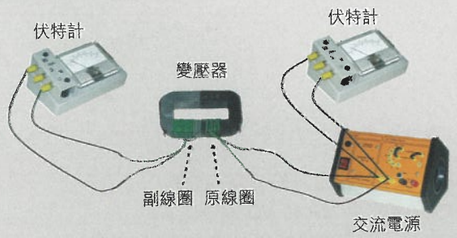


圖 x

(a) 卓琳改變變壓器的輸入電壓 V_1，記下相應的輸出電壓 V_2。表 b 顯示她所得的結果。圖 y 為 V_2 對 V_1 的關係線圖。寫出這探究所得的結論。 （1 分）

V_1 / V	V_2 / V
1.5	2.5
3.0	5.1
4.5	7.6
6.0	10.0

表 b

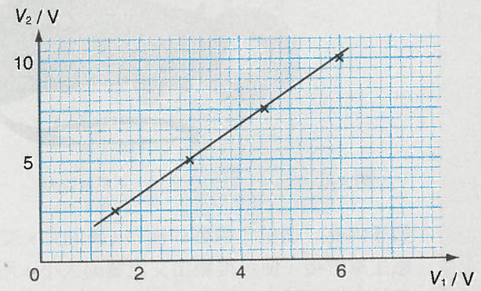


圖 y

(b) 當 V_1 為 8.0 V 時，試推斷 V_2 的值。13.6 V （1 分）

(c) 卓琳想研究變壓器的輸出電壓和副線圈匝數的關係。描述她如何進行實驗。 （2 分）

(d) 卓琳在電路中再加一個燈泡，如圖 z 所示。試建議一種方法，可使卓琳估算出變壓器的效率。指出卓琳須作的量度。如有需要，可附加其他儀器。 （3 分）

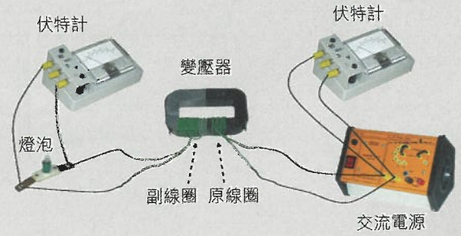


圖 z

EXT

物理文章分析

★ 31 綜合題 閱讀下列一段有關電流鈎錶的文章，然後回答隨後的問題。

電流鈎錶

交流電會在周圍建立一個不斷變化的磁場，電流鈎錶（圖 aa）就是利用這種特性來量度交流電。它有一個可以開合的鉗子；量度電流時，只要把鉗子套住載電流導體便可，過程中電路無須斷開，電流鈎錶也無須接觸電路。

圖 aa

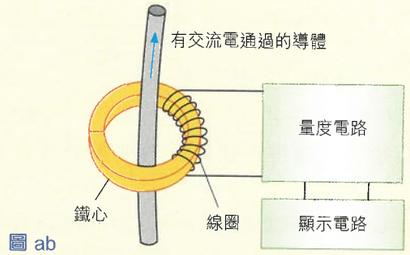


圖 ab

鉗子內有一個繞了線圈的鐵心（圖 ab）。交流電所建立的變化磁場，會在線圈產生感生電流。鈎錶量度感生電流後，便可推斷出交流電的大小，所顯示的讀數就是交流電的方均根值。量度時，鉗子必須單單套住目標導體，讀數才準確。

電流鈎錶的運作原理和變壓器十分相似。使用傳統的交流安培計量度電流，要先中斷電源，並且斷開電路來接入安培計；然而，電流鈎錶卻與電路完全分離，因此，在電源不能中斷或電路不能斷開的情況，使用電鈎錶比安培計合適。

(a) 如果錶鉗同時包圍兩條電流方向相反的導線，電流鈎錶的讀數會怎樣？試簡略解釋原因。（2 分）

(b) 電流鈎錶和變壓器的運作原理有甚麼相似之處？試舉出兩項。（2 分）

(c) 子揚做了一個簡單的電流鈎錶（圖 ac）。這個電流鈎錶能運作嗎？試簡略解釋原因。不能（3 分）

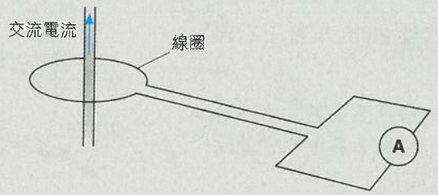


圖 ac

(d) 試寫出一個用上述電流鈎錶來量度電流的限制。（1 分）

Q28 考試報告：考生表現頗佳。
(a) 大部分考生能找出副線圈的匝數。
(b) (i) 大部分考生能找出跨長輸電纜 *MP* 的電壓 (8 V)。
(ii) 部分考生不知道跨電纜 *MP* 和 *NQ* 的總電勢差是 16 V (2 × 8 V)，因此錯誤得出 *PQ* 兩端的電壓。
(iii) 只有能力較高的考生知道傳至揚聲器的功率等於鈴聲系統的功率減去輸電纜 *MP* 和 *NQ* 的損耗功率。
(c) 不少考生錯誤建議了增加變壓器效率的方法（例如疊片的鐵心或軟鐵心），但這並非在 10 V 交流電訊號不變下，增加傳到揚聲器的功率的方法。

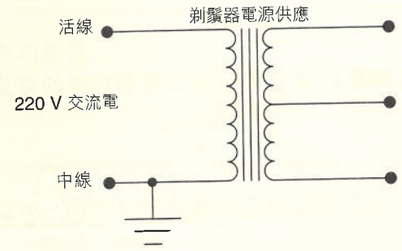
EXT

6.2 32 香港中學文憑考試 2012 年卷一乙部 Q9

細閱這段有關浴室內「剃鬚器電源供應」的敘述，並回答下列問題。

浴室內發生電震的危險性頗高。普通的電插座輸出口是不應安裝在浴室的。由於電動剃鬚器及電動牙刷日漸流行，現時一種稱為「剃鬚器電源供應」的特別部件可在浴室內安裝，專為這些電功率消耗較低的電器供電（圖 ad）。

剃鬚器電源供應內有一變壓器，其副線圈並無接地，且跟接駁原線圈的 220 V 交流市電電源完全分離。該電源供應可接駁 220 V 或 110 V 的剃鬚器。



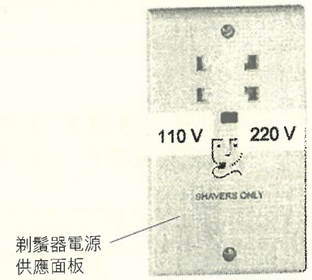


圖 ad

(a) 解釋為何在浴室受到電震的機會較高。（2 分）

(b) 解釋當人體接觸以下部件會有甚麼事發生。
(i) 原線圈電路中市電電源的活線；（2 分）
(ii) 剃鬚器電路輸出口的其中一條導線。（2 分）

(c) 變壓器如要提供 110 V 時，原線圈對副線圈的匝數比應為多少？2 : 1（1 分）

Q29 考試報告：本題考核考生對因磁場改變所產生的感生電壓/電流的知識和理解，考生表現欠佳。
(a) (i) 考生於本部表現良好。
(ii) 很多考生明瞭斷路中不會有電流。惟部分考生錯誤指出因電阻減少，感生電流會減少。亦有部分考生誤以為移除電阻器會使感生電流增加。
(b) (i) 很多生沒有考慮匝數比，誤以為該變壓器把電壓降低。
(ii) 很多考生未能用上適當的辭彙描述改變方法。
(iii) 只有少數考生明瞭量值有改變的電流可以產生感生電壓。

Q32 考試報告：表現差劣。很多考生在 (a) 沒有指出水會為電流提供傳導路徑或降低電阻。只有少數考生能在 (b) 準確解釋當我們接觸剃鬚器電路的傳電活線時為何不會遭受電擊，很多考生誤解傳電活線與高壓電源分隔，亦有考生不明瞭變壓器的功能並誤認因電阻低以致電流經原線圈接地。

EXT

自我評核 6

時間：25 分鐘　　總分：19 分

答題須知

1 全部題目均須作答。
2 甲部為多項選擇題，乙部為問答題。
3 答案須寫在預留的空位內。
4 附錄提供附有常用的數據、公式和關係式以供參考。

甲部

F-X 6.1 **1** 圖 a 中，三個完全相同的燈泡 X、Y 和 Z 連接到圖 b 所示的正弦交流電源。

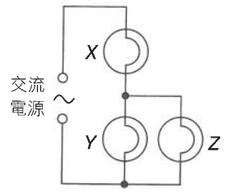


圖 a

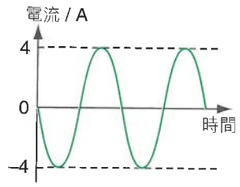


圖 b

求流經燈泡 Y 的電流的有效值。

A 1.41 A
B 2.00 A
C 2.83 A
D 5.66 A

A

6.2 **2**

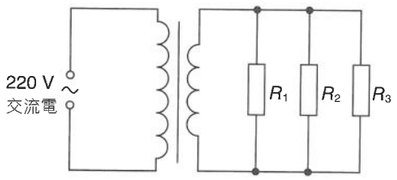


圖 c

圖 c 所示變壓器的匝數比為 25 : 1，效率為 80%。三個電阻器 R_1, R_2 和 R_3 的電阻分別是 1 Ω、2 Ω 和 3 Ω。求變壓器原線圈中的電流。

A 0.807 A
B 0.24 A
C 16.1 A
D 504 A

A

F-X 6.1 **3** 圖 d 和 e 顯示兩個電源的電流變化。

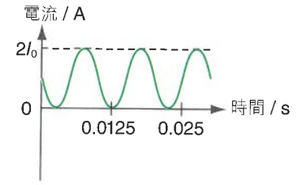


圖 d

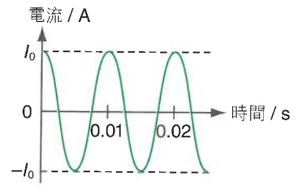


圖 e

下列哪些有關這兩個電源的敍述是正確的？

(1) 兩者都是交流電。
(2) 兩者的電壓都能夠以變壓器升壓或降壓。
(3) 電阻器連接上述的電源時都會產生相同的熱效應。

A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (1) 和 (2)　　D 只有 (2) 和 (3)

B

6.2 **4** 變壓器導線的電阻引致功率損耗。下列哪些方法可減少這種功率損耗？

(1) 使用鋁心而不是軟鐵心
(2) 使用較低電阻的導線繞線圈
(3) 使用高電壓的輸入電源

A 只有 (1)　　B 只有 (2)
C 只有 (2) 和 (3)　　D (1)、(2) 和 (3)

B

EXT

乙部

6.1 **5** 額定值為「10 V，50 W」的燈泡與一個電源連接。圖 f 顯示電源輸出電壓的變化。

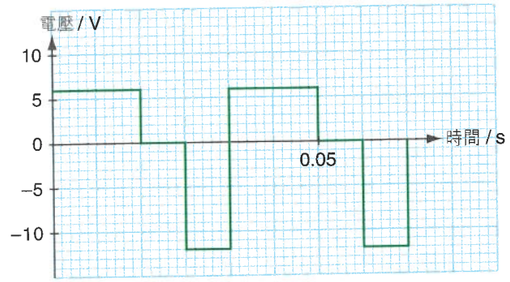


圖 f

(a) 電源供應的是交流電還是直流電？　(1 分)

交流電

(b) 求電源的頻率。　(1 分)

30 Hz

F-X (c) 求電壓的方均根值。　(2 分)

7.35 V

F-X (d) 使用這個電源，燈泡所消耗功率的峯值是多少？　(3 分)

72 W

6.2 **6** 某簡單的輸電系統包含一個變壓器，當中的原線圈有 3000 匝，副線圈有 300 匝。原線圈連接到交流電源，副線圈經電阻為 5 Ω 的電纜連接到一個額定值為「20 V，10 W」的電燈，該電燈以額定值運作。已知變壓器沒有磁通量泄漏，但有 20% 的功率損耗。

(a) 求電纜的功率損耗。　(2 分)

1.25 W

(b) 求副電路所消耗的總功率。　(1 分)

11.25 W

(c) 求原電壓。　(3 分)

225 V

(d) 求原電流。　(2 分)

0.0625 A

答案

1 靜電學

進度評估 1 (p.5)

1 B　2 A　3 錯
4 -4.8×10^{-19} C

進度評估 2 (p.8)

2 B　3 D

進度評估 3 (p.15)

1 D
2 4×10^{-9} C
3 (a) 零
(b) 兩者保持中性

進度評估 4 (p.20)

1 C　2 D　3 A
4 (a) (i) 右
(ii) 左
(b) 沒有影響

習題與思考 1.1 (p.20)

1 D　2 A　3 B　4 C
5 C　6 B　7 A
8 (a) 不正確
(b) 正確
(c) 正確
(d) 正確

進度評估 5 (p.26)

1 (b) 兩者都是 8.99×10^{-4} N
2 (a) 2.16×10^{-3} N (向右)
(b) 1.26×10^{-3} N (向右)

進度評估 6 (p.29)

1 6×10^{4} N C^{-1} (向右)
2 4.00×10^{3} N C^{-1}
3 10^{5} N C^{-1}

進度評估 7 (p.33)

1 (a) 失去電勢能
(b) -3.2×10^{-16} J
2 (a) 由電勢能轉換成動能
(b) 3×10^{-7} N (向上)

習題與思考 1.2 (p.34)

1 C　2 C　3 A　4 A
5 B
6 (a) 3.60×10^{-3} N
(b) 20.2 m
7 (a) 4600 N C^{-1}
(b) 原來的兩倍
(c) 減半
8 (a) A：負電，C：正電
9 (a) (i) $\frac{16}{5}F$
(ii) $\frac{80}{9}F$
(b) $11.1F$
10 (a) 2.30×10^{4} N C^{-1}，4.60×10^{-4} N
(b) 3030 N C^{-1}，6.06×10^{-5} N
11 (a) 0.199 N
(b) 0.0346 N
(c) 7.69×10^{-7} C
(d) 6.92×10^{5} N C^{-1} (向 B)
12 (a) 1.87×10^{7} m s^{-1}
(b) 1.87×10^{7} m s^{-1}

複習 1

概念重溫 (p.39)

1 T　2 F　3 F

多項選擇題 (p.39)

4 C　5 B　6 D　7 C
8 D　9 B　10 B　11 B
12 A　13 B　14 A　15 C
16 C　17 C　18 B　19 A
20 D　21 C

問答題 (p.42)

22 (a) -4.8×10^{-7} C
(b) 不能
(c) 不正確
23 (a) 負電
26 (a) (ii) 會
(b) (i) 負電荷
(ii) 有
27 (b) 4.78×10^{-8} N (離開 R)
28 (b) 1.68×10^{4} V
29 (a) 2460 N C^{-1}
(b) 9.83×10^{-5} N
30 636 N C^{-1} (向右)
31 (a) 負電
(b) 2.04×10^{5} N C^{-1} (向下)
(d) -4.81×10^{-19} C
32 (a) 1.98×10^{-17} J
(b) 124 V
(c) 1.98×10^{-16} N
(d) 原來的兩倍
33 (a) A
(b) (i) 火花
34 (b) (i) 轉動幅度增加
(ii) 轉動幅度減小
35 (a) 向左
(b) 1.60×10^{4} N C^{-1} (向左)

(c) (i) S：向上，T：零
(ii) 靜止不動
36 (b) (i) $\tan\theta = \frac{F}{W}$
(ii) 6.00×10^{-10} C [6.11×10^{-10} C]
37 (a) 10.1°
(b) (ii) 減小
39 (b) (ii) Y
(c) (iii) 84 V
40 (a) 1.60×10^{-16} N (指向 0 V 板)
(b) 5.92×10^{-8} s
41 (a) (ii) 0.500 N C^{-1}
(b) (i) 5.33×10^{6} m s^{-2}
42 (a) 2.64×10^{5} N C^{-1} (向左)
(c) 18.8°

2 電路

進度評估 1 (p.56)

1 錯　2 B　3 A

進度評估 2 (p.59)

1 A
2 (a) 0.28 A
(b) 1.3 A

習題與思考 2.1 (p.60)

1 C　2 D
3 (a) 不正確
(b) 不正確
5 (a) 原來的兩倍
(b) 減半
7 0.2 A
8 1.25×10^{16}
9 (a) 1.6 A
(b) 0.6 A

進度評估 3 (p.65)

1 錯　2 B
3 (a) 1.0 V
(b) 0.96 V

進度評估 4 (p.68)

1 (a) $V_1 = V_2 + V_3$
(b) $V_1 = V_2 = V_3$
2 (a) 3 V，3 V
(b) 3 V，1.5 V

習題與思考 2.2 (p.68)

1 B　2 C　3 A　4 C
5 B
6 2.50 V
7 50 C
8 100 A
9 36 000 J
10 (a) 5 V
(b) 2 V
11 (a) 10 800 C
(b) 1.2 J
(c) 13 000 J
13 (b) 3.5 V
(c) 不正確

進度評估 5 (p.71)

1 P　2 44 Ω

進度評估 6 (p.74)

1 (a) 不變
(b) 不變
2 (a) 1.25 Ω

進度評估 7 (p.78)

1 (a) 原來的兩倍，不變
(b) 原來的四分之一，不變
(c) 增加，增加
2 4.02×10^{-5} Ω m

習題與思考 2.3 (p.82)

1 B　2 D　3 D
4 4
5 (b) 0.0203 Ω
6 (a) 下降
(b) 不變
7 (c) (i) 5 Ω
(ii) 6 Ω
8 (a) 0.8 V
(b) 不遵從
(c) 0.441 Ω

進度評估 8 (p.90)

1 (a) 6
(b) 12，12
(c) 6，6
(d) 12，12
2 全部相同

進度評估 9 (p.93)

1 C　2 A　3 D
4 熄滅

習題與思考 2.4 (p.94)

1 C　2 D　3 A　4 B
5 C　6 D
7 $I_1 = I_2 = I_9 = I_{10} = 9$ A
$I_3 = I_8 = 6$ A
$I_4 = I_5 = I_6 = I_7 = 3$ A
8 (a) 0.5 A
(b) 3 A
9 0.48 Ω

10 **(a)** **(1)** 1 : 1 : 1，1 : 2 : 3
(2) 1 : 1 : 1，3 : 4 : 12
(3) 1 : 1 : 1，$R_X : R_Y : R_Z$
(b) **(1)** 6 : 3 : 2，1 : 1 : 1
(2) 4 : 3 : 1，1 : 1 : 1
(3) $\frac{1}{R_X} : \frac{1}{R_Y} : \frac{1}{R_Z}$，1 : 1 : 1

11 **(a)** $I_{3\,\Omega} = 1$ A，$I_{4\,\Omega} = 0.75$ A，$I_{12\,\Omega} = 0.25$ A
(b) $V_{3\,\Omega} = 3$ V，$V_{4\,\Omega} = 3$ V，$V_{12\,\Omega} = 3$ V
(c) 0.1 A

12 **(a)** 4 Ω **(b)** 25 Ω
(c) 2 V **(d)** 0.25 A

13 **(a)** 增加
(b) **(i)** 10 Ω **(ii)** 0.286 A

進度評估 10 (p.100)

1 A **2** A **3** 錯 **4** 對

5

	理想情況	$R_A = 0.1\ \Omega$	$R_A = 1\ k\Omega$
安培計讀數	1 A	0.989 A	8.92 mA
伏特計讀數	6 V	5.93 V	53.5 mV

6

	理想情況	$R_V = 1\ \Omega$	$R_V = 100\ k\Omega$
安培計讀數	1 A	2.33 A	1.00 A
伏特計讀數	6 V	2.00 V	6.00 V

進度評估 11 (p.102)

1 對

2

	理想情況	$R = 6\ \Omega$	$R = 6\ M\Omega$
安培計讀數	1 A	0.6 A	1.50 μA
伏特計讀數	6 V	3.6 V	9.00 μV

習題與思考 2.5 (p.105)

1 D **2** B **3** C
4 **(a)** 否，是 **(b)** 是，否
(c) 否，否 **(d)** 高，低
5 **(a)** 1.25 Ω **(b)** 2.5 Ω
(c) 2 Ω
6 **(a)** 3.5 Ω **(b)** 0.923 A
(c) 3.23 V
7 **(a)** 95 Ω
(b) **(i)** 增加 **(ii)** 減小

複習 2

概念重溫 (p.110)

1 F **2** F

多項選擇題 (p.110)

3 B **4** D **5** B **6** B
7 B **8** A **9** A **10** C
11 B **12** C **13** C **14** C
15 B **16** D **17** A **18** D
19 B **20** D **21** C

問答題 (p.113)

22 **(a)** **(i)** 不變 **(ii)** 上升
23 6 V
24 **(a)** 4.5 Ω
(b) 2.57 Ω，3.50 A
(c) 1.50 A
25 **(a)** 0.001 Ω m
(b) 10 Ω
28 **(c)** **(i)** P **(ii)** Q
29 **(a)** 500 Ω，1000 Ω
(b) 電路 2
30 **(a)** **(i)** 減少，增加
(ii) 熄滅，最亮
(iii) 最亮，熄滅
(b) 1 Ω
31 **(a)** 不會
32 **(b)** 不會
(c) 32
(e) 242 kJ
33 **(a)** A
(b) **(i)** 2 Ω **(ii)** 6 V
(c) **(i)** B
34 **(a)** **(iii)** 1.25 Ω
35 **(a)** **(ii)** $V = 4.29 \times 10^7 \rho L$
1.80×10^{-8} Ω m
36 **(a)** **(i)** 80 Ω **(ii)** 7.2 V
(c) **(i)** 16 °C

實驗題 (p.118)

37 **(b)** $R = \frac{V}{I}$ **(c)** 低
39 **(b)** 有 **(c)** X

物理文章分析 (p.119)

40 **(a)** 不正確

3 家居電學

進度評估 1 (p.130)

1 **(a)** 100 W **(b)** 340 W
2 **(a)** 1210 Ω **(b)** 會
3 P，R

進度評估 2 (p.133)

1 D **2** C
3 $0.33

習題與思考 3.1 (p.133)

1 C **2** A **3** C **4** B
5 B **6** B
7 **(a)** 24.2 Ω
(b) **(i)** 1650 W **(ii)** 8.26 A
8 **(a)** 500 W **(b)** 2.08 A
(c) 115 Ω
9 1.5 Ω 電阻：6 W
5 Ω 電阻：1.25 W
1 Ω 電阻：0.25 W
2 Ω 電阻：4.5 W
10 **(a)** 0.1，0.2，0.7，0.5
(b) 冷氣機 **(c)** 14 215 kW h
11 $0.77
12 **(a)** 150 W
13 **(a)** 114 天 **(b)** 485 天
14 **(a)** 電路 1 **(b)** F
(c) A，B，C，G，H

進度評估 3 (p.141)

1 錯 **2** 對 **2** 3 A
4 插腳：X，Z，Y
插孔：A，C，B
顏色：黃綠相間，褐色，藍色

進度評估 4 (p.145)

1 C
2 並聯
3 15 A 和 30 A 電線

習題與思考 3.2 (p.148)

1 B **2** B **3** B **4** D
6 **(a)** 5.45 A，2.73 A
7 3 A 保險絲
9 **(b)** 能

複習 3

概念重溫 (p.151)

1 F **2** T

多項選擇題 (p.151)

3 B **4** A **5** A **6** A
7 A **8** A **9** C **10** A
11 A **12** A **13** A **14** B
15 C **16** A

問答題 (p.153)

17 **(a)** **(i)** 0.0022 A **(ii)** 0.22 A
18 **(b)** 420 W
19 **(a)** 安全 **(c)** 活線
20 **(a)** 活線，中線
21 **(c)** 0.5 A 保險絲 **(d)** 會
22 **(a)** 26.9 Ω **(b)** 1.69×10^{-4} Ω m
(c) 10 A 保險絲
24 **(a)** **(i)** 較低 **(ii)** 不會
(b) **(i)** 較暗
(iii) W 和 X：不變，Y：變亮
25 **(d)** $8.25
26 **(a)** **(i)** 630 000 J **(ii)** 720 000 J
(c) **(i)** P，Q **(iii)** 6.05 Ω，18.2 Ω
27 **(a)** 649 s **(c)** 原來的 4 倍
(d) 不正確
28 **(a)** 1936 W（或 1940 W）
(b) Z，X，Y
29 **(a)** 96.8 Ω **(b)** 250 W
(c) Z
(d) **(i)** 5 A **(iii)** C
30 **(a)** **(i)** 6 Ω **(ii)** 0.75 Ω
(b) 3.2×10^{-6} Ω m
(c) **(ii)** 0.0938 Ω

4 電磁學

進度評估 1 (p.165)

1 錯 **2** $B < A < C$
3 C **4** D

習題與思考 4.1 (p.166)

1 A **2** C **3** B **4** D
5 C
6 **(a)** 南極 **(b)** 下降
8 **(a)** 北方

進度評估2 (p.173)

1 A < B < C < D　　2 沒有磁場

進度評估3 (p.177)

1 B
2 4.6×10^{-5} T (指入頁面)
3 7.54×10^{-3} T

進度評估4 (p.182)

1 D
2 電鈴只響一下，而不是持續發響

習題與思考4.2 (p.183)

1 A　　2 A　　3 D　　4 C
5 B　　6 C
9 P：4×10^{-5} T (指入頁面)
Q：2.67×10^{-5} T (指入頁面)
10 (b) 3.2×10^{-5} T
11 (a) P：向左，Q：向右
(b) 增強
12 0.5 m
13 (a) 4.19×10^{-3} T　　(b) 增加
14 (a) 0.5 A　　(b) 10 μT
15 (a) 軟鐵
(b) X：南極，Y：北極
(c) (i) 減小　　(ii) 增加
(iii) 增加

進度評估5 (p.190)

1 (a) 沒有磁力　　(b) 指出頁面
2 A

進度評估6 (p.194)

1 A
2 (a) 1.5 N　　(b) 零

進度評估7 (p.196)

1 對
2 1.3 A (指入頁面)

進度評估8 (p.198)

2 B
3 (a) 順時針方向
(b) (i) 8.64×10^{-4} N m
(ii) 7.48×10^{-4} N m

進度評估9 (p.204)

1 C　　2 D

習題與思考4.3 (p.204)

1 B　　2 D　　3 A　　4 B
5 C　　6 A
7 (a) 零
(b) 0.96 N (指入頁面)
(c) 4.5 N (向上)
(d) 1.2 N (與導線垂直並指向左上方)
(e) 1 N (指入頁面)
(f) 5.06 N (指入頁面)
8 (a) 南極　　(b) 3.27×10^{-3} T
9 (b) 114 g
(c) (i) 量值增加　　(ii) 方向相反
11 (c) 增強
12 (a) 1.13×10^{-4} N (向左)
(b) (i) 283 A

進度評估10 (p.208)

1 D
2 1.35×10^{-14} N (指出頁面)

進度評估11 (p.213)

1 (a) 4.98 cm
2 X：向下偏轉
Y：沒有偏轉且通過速度選擇器

習題與思考4.4 (p.214)

1 D　　2 B　　3 B
4 (a) 2.56×10^{-14} N　　(b) 6.4×10^{-15} N
(c) 零　　(d) 零
5 (a) 0.0228 m　　(c) 8.94×10^{-9} s
6 (a) 不能　　(b) 2×10^{6} m s^{-1}

複習4

概念重溫 (p.218)

1 F　　2 T　　3 F

多項選擇題 (p.218)

4 D　　5 B　　6 D　　7 A
8 D　　9 D　　10 A　　11 D
12 B　　13 D　　14 C　　15 C
16 A

問答題 (p.220)

17 (b) 8×10^{-6} T
18 (a) P 和 R：沒有磁場
Q：指入頁面
S：指出頁面
(b) 5×10^{-6} T
20 (a) 鐵心、長 0.4 m 及直徑 2 mm 的銅線、9 V 電池
21 (a) 由 Y 流向 X　　(b) 1 A
(c) 量值增加，方向不變
22 (a) 3.51×10^{-15} N (向下)
(b) 向下　　(c) 2.20×10^{4} N C^{-1}
24 (b) (i) 0.007 N (向 A)
(ii) 0.014 N (與 AB 成 60°)
(c) 減弱
26 (a) XY　　(b) 0.0196 N
(c) 0.0327 m
27 (a) 與 I_1 相同
(b) (i) 0.005 m　　(ii) 指入頁面
(c) $\frac{1}{5}$　　(d) 1.33×10^{-4} N
28 (c) (i) 1.44×10^{-4} N m
(ii) 1.44×10^{-4} N m
30 (a) 沒有　　(b) 不變
(c) (i) 勻速圓周運動
(ii) 8.15×10^{-8} s
31 (a) (iii) $F = W - R$
(b) (ii) 1.4 N　　(iii) 2.35 A
32 (a) (ii) 0.012 T，0.0126 T
(iii) 0.006 T
33 (a) (i) 1.92×10^{-14} N
(c) 0.6×10^{7} m s^{-1}

物理文章分析 (p.225)

36 (a) 相反　　(b) 不會
(d) 不可以

5 電磁感應

進度評估1 (p.233)

1 C
2 (a) 有　　(b) 沒有

進度評估2 (p.238)

1 錯　　2 向右

習題與思考5.1 (p.239)

1 C　　2 B　　3 A　　4 D
7 (a) 順時針方向　　(b) 順時針方向
9 (b) (i) 增加　　(ii) 方向相反
(iii) 消失
10 (a) 北極　　(b) 由 A 流向 B
(c) B

進度評估3 (p.246)

1 C　　2 4.83×10^{-3} Wb
3 (a) 0.104 V

進度評估4 (p.252)

1 D

習題與思考5.2 (p.252)

1 D　　2 D　　3 C
4 (b) 軸向型
5 (a) 5.4×10^{-3} V，沒有感生電流
(b) (i) 順時針方向
(ii) 1.46×10^{-5} W
(iii) 是，4.86×10^{-4} N
6 (a) 3×10^{-3} T，6×10^{-3} T
(b) 6×10^{-4} V
(c) 1.2×10^{-3} A (逆時針方向)
7 (a) 7500 m s^{-1}　　(b) 709 km
(d) 46.8°

進度評估5 (p.260)

1 (a) 半周　　(b) 2
(c) 兩者都是 0.1 s、10 Hz

進度評估6 (p.266)

1 B　　2 對

習題與思考5.3 (p.267)

1 C　　2 C　　3 D　　4 B
8 (a) 換向器

複習5

概念重溫 (p.271)

1 T　　2 F　　3 T　　4 T
5 F

多項選擇題 (p.271)

6 A **7** B **8** B **9** B
10 D **11** C **12** D **13** D
14 A **15** D **16** C **17** B
18 D

問答題 (p.274)

20 **(b)** 南極 **(d)** 不同意
21 **(b)** 沒有
(c) **(i)** 較低
22 **(a)** **(ii)** 0.04 s **(iii)** 25 Hz
(d) 不同意
23 **(a)** $t_Z < t_Y < t_X$ **(c)** 順時針方向
24 **(a)** 交流發電機 **(b)** 順時針方向
25 **(b)** **(i)** $\frac{Y}{NA}$ **(ii)** 垂直
(c) **(i)** 不變，增加
(ii) 減少，增加
26 **(b)** Blv
27 **(a)** 3.82×10^{-3} T
29 **(b)** **(i)** 0.150 Wb **(ii)** 1.50 V
30 **(a)** 6.07×10^{-3} Wb **(b)** 38.2°
(c) 0.0202 V
(d) 3.97 A（順時針方向）

實驗題 (p.278)

33 **(b)** 不正確

物理文章分析 (p.279)

35 **(a)** 傳統發電機

6 輸電

進度評估 1 (p.285)

1 方向出現週期性的改變
2 **(a)** W 和 Z：直流電；X 和 Y：交流電
(b) 週期

進度評估 2 (p.288)

1 **(a)** $I_{rms} = \sqrt{\frac{5}{2}} I_0$ **(b)** 0.316 A

進度評估 3 (p.291)

1 10.6 A **2** 156 V

習題與思考 6.1 (p.291)

1 C **2** B **3** C **4** A
5 **(a)** **(i)** 直流電 **(ii)** 0.04 s，25 Hz
(b) **(i)** 交流電 **(ii)** 0.02 s，50 Hz
(c) **(i)** 交流電 **(ii)** $\frac{1}{60}$ s，60 Hz
6 2 A，2.83 A，2 A **7** 240 V
8 **(a)** 170 V，120 V **(b)** 60 Hz

進度評估 4 (p.296)

1 B
2 **(a)** 順時針，增強，逆時針，Q 至 P
(b) 交流電

進度評估 5 (p.303)

1 **(a)** 240 V **(b)** 1.5 A
(c) 0.05 A
2 80%

進度評估 6 (p.310)

1 D **2** 773 MW
3 C
4 **(a)** 0.1 V **(b)** 0.002 W

習題與思考 6.2 (p.310)

1 B **2** B **3** A **4** C
5 D **6** B
7 64 V
8 **(a)** 6000 W **(b)** 能夠
10 **(a)** 22 **(b)** 5 W
(c) 5 W **(d)** 0.0227 A
11 **(a)** 0.5 A **(b)** 0.5 A
(c) 0.5 A
12 **(a)** $\frac{2}{7}$ **(b)** 350

複習 6

概念重溫 (p.314)

1 F **2** T **3** F **4** F
5 T

多項選擇題 (p.314)

6 B **7** C **8** D **9** C
10 C **11** B **12** C **13** D
14 B **15** D **16** A **17** B

問答題 (p.316)

19 **(a)** 89.3 m **(b)** 214 V
(c) 2640 W **(d)** 2.73%
20 **(a)** 2 **(b)** 0.849 A
(c) 66 W **(d)** 67.3 W
21 **(a)** 2 A **(b)** 0.1 W
(c) 2 A **(d)** 12.1 V
22 **(a)** 交流電，直流電 **(b)** 5 A
(c) **(ii)** 下降，不變
23

	開關 S 斷開	開關 S 閉合	
		情況 (i)	情況 (ii)
燈泡 X 的功率	P	P	$4P$
伏特計讀數	V	V	V
安培計讀數	I	$2I$	$2I$

24 **(a)** 0.0942 T **(b)** 0.113 V
(d) 零
26 **(a)** **(i)** 2000 A **(ii)** 4×10^5 W
(iii) 200 V
(b) **(i)** 300
27 **(d)** 理想變壓器
28 **(a)** 5000
(b) **(i)** 8 V **(ii)** 84 V
(iii) 8.4 W
29 **(a)** **(i)** 南極
(b) **(iii)** 不正確

實驗題 (p.319)

30 **(b)** 13.6 V

物理文章分析 (p.320)

31 **(c)** 不能
32 **(c)** 2 : 1

自我評核題解

自我評核 1

1 D **2** D **3** B **4** B

5 D

6 **(a)** 設繩的張力為 T。

考慮垂直方向。

$T\cos 5° = mg$ 1M

$$T = \frac{mg}{\cos 5°}$$

$$= \frac{(15\times10^{-3})\times 9.81}{\cos 5°}$$

$= 0.148$ N 1A

(b) 考慮水平方向。

$\frac{Q_AQ_B}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = T\sin 5°$ 1M

$$Q_A = T\sin 5° \times \frac{4\pi\varepsilon_0 r^2}{Q_B}$$

$$= 0.148\times\sin 5° \times \frac{4\pi(8.85\times10^{-12})(0.03)^2}{+3\times10^{-8}}$$

$= 4.30\times10^{-8}$ C 1A

7 (a) 由於 $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$，$E \propto \frac{Q}{r^2}$。

因為在 P 點的合電場強度為零，所以由 X 產生的電場強度與由 $+Q$ 產生的電場強度有相同的量值。

設 X 所帶的電荷為 Q_X。

$\frac{Q_X}{(2d)^2} = \frac{+Q}{d^2}$ 1M

$Q_X = 4Q$ 1A

(b) 考慮 $E \propto \frac{Q}{r^2}$。

如果 Q 所帶的電荷變為原來 $\frac{1}{4}$ 後，E 要保持不變，則 r^2 同樣要變為原來的 $\frac{1}{4}$。 1M

也就是說 r 要變為原來的 $\frac{1}{2}$。

∴ X 應在 P 的右方，並與該點距離 $\frac{d}{2}$。 1A

(c) 根據 (a) 部，在 P 點，由電荷 $-4q$ 和 $-q$ 所產生的電場強度為零。 1M

根據 (b) 部，如在 P 點，由電荷 $+3q$ 和 $+12q$ 所產生的電場強度為零，則

$\frac{y+5}{2} = 10 + 10$ 1M

∴ $y = 35$ cm 1A

自我評核 2

1 A **2** C **3** A **4** B

5 **(a)** 圖 e 1A

圖 f 中，當電流是 0.27 A，橫跨各元件的電勢差分別是 2.7 V 和 5.4 V， 1A

兩者之和超過 6 V，即超過電池組的電動勢。 1A

這個結果是不可能發生的。

(b) 圖線 (2) 對應電阻較低的元件，即元件 X。

根據圖線，當電流是 0.27 A，

橫跨 X 的電勢差是 2.2 V， 1A

橫跨 Y 的電勢差是 3.3 V 1A

(c) 讀數會變小。 1A

(d) 根據 $\varepsilon = V + Ir$， 1M

$r = \frac{\varepsilon - V}{I}$

$$= \frac{6-(3.3+2.2)}{0.27}$$

$= 1.85\ \Omega$ 1A

自我評核 3

1 B **2** C

3 **(a)** 保險線應安裝在活線。 1A

(b) 功率 $= \frac{E}{t}$

$$= \frac{mc\Delta T}{t}$$ 1M

$$= \frac{0.2\times4200\times(100-25)}{35}$$

$= 1800$ W 1A

(c) 額定電流

$= \frac{P}{V} = \frac{1800}{220} = 8.18$ A 1A

因此，應配以 11 A 保險絲。 1A

自我評核 4

1 B **2** D **3** D **4** C

5 **(a)** $B_Y = B_X$

$\frac{\mu_0 N_Y I_Y}{l} = \frac{\mu_0 N_X I_X}{l}$ 1M

$$I_Y = \frac{N_X}{N_Y}\times I_X$$

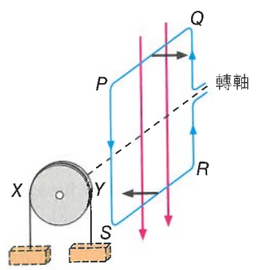
$$= \frac{2000}{2500}\times 2$$

$= 1.6$ A (順時針方向) 2A

(b) 銅並非磁性物料， 1A

因此對磁場沒有影響。 1A

6 **(a)**



(磁力方向正確) 1A

(b) X 1A

(c) 力矩 $\tau = Fd$ 1M

$$= (0.051\times9.81)\times\frac{0.12}{2}$$

$= 0.0300$ N m 1A

(d) 根據 $\tau = BIAN\sin\theta$， 1M

$$N = \frac{\tau}{BIA\sin\theta}$$

$$= \frac{0.03}{0.15\times2\times0.01\sin 90°}$$

$= 10$ 1A

(e) 由於 $\tau \propto BA$，B 增至原來兩倍與 A 減半的結果互相抵銷， 1A

因此，所需的 τ 大小不變，即所需的重物質量也大小不變。 1A

自我評核 5

1 D **2** A

3 **(a)** 磁通量

$= BA$ 1M

$= 1\times0.04^2$

$= 1.6\times10^{-3}$ Wb 1A

(b) 平均感生電動勢

$= \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 1M

$$= \frac{1.6\times10^{-3}}{0.1}$$

$= 0.016$ V 1A

自我評核 6

1 A **2** A **3** B **4** B

5 **(a)** 交流電 1A

(b) 週期 $= 0.05\times\frac{2}{3} = \frac{1}{30}$ s

頻率 $= 30$ Hz 1A

(c) $V_{rms} = \sqrt{\frac{6^2\left(\frac{T}{2}\right) + 0 + (-12)^2\left(\frac{T}{4}\right)}{T}}$ 1M

$= 7.35$ V 1A

(d) 燈泡的電阻

$= \frac{V^2}{P} = \frac{10^2}{50} = 2\ \Omega$ 1M

峯值功率 $= \frac{V^2}{R}$ 1M

$$= \frac{(-12)^2}{2}$$

$= 72$ W 1A

6 **(a)** 副電流

$= \frac{P}{V} = \frac{10}{20} = 0.5$ A 1M

功率損耗

$= I^2R = 0.5^2\times5 = 1.25$ W 1A

(b) 消耗的總功率

= 燈泡消耗的功率 + 功率損耗

$= 10 + 1.25$

$= 11.25$ W 1A

(c) 副電壓 V_s

$= \frac{P}{I} = \frac{11.25}{0.5} = 22.5$ V 1M

原電壓

$= V_s\times\frac{N_p}{N_s}$ 1M

$$= 22.5\times\frac{3000}{300}$$

$= 225$ V 1A

(d) 輸入功率 $= \frac{11.25}{80\%} = 14.06$ W 1M

原電流 $= \frac{14.06}{225} = 0.0625$ A 1A

索引

三劃

千瓦小時 kilowatt-hour (kW h) 131
千瓦時計 kilowatt-hour meter 131

四劃

中子 neutron 3
中和點 neutral point 19, 163
中性 neutral 4
中線 neutral wire 136
互感 mutual inductance 295
分壓器 potential divider 91
方均根值 root-mean-square value (r.m.s. value) 287

五劃

功率 power 125
匝數比 turns ratio 298
市電電路 mains circuit 136
弗林明 Fleming, John Ambrose 186
弗林明右手定則 Fleming's right-hand rule 235
弗林明左手定則 Fleming's left-hand rule 186
瓦特 watt (W) 125

六劃

伏特 volt (V) 63
伏特 Volta, Alessandro 58
伏特計 voltmeter 64
光束檢流計 light-beam galvanometer 14
地線 / 水線 earth wire 136
安培 ampere (A) 55
安培 Ampere, Andre-Marie 196
安培計 ammeter 57
有效值 effective value 286

七劃

亨利 Henry, Joseph 230
忒斯拉 tesla (T) 174
忒斯拉 Tesla, Nikola 307

八劃

放電 discharging 9
法拉第 Faraday, Michael 17, 230
法拉第電磁感應定律
Faraday's law of electromagnetic induction 233
長直導線的右手握拳定則
right-hand grip rule for straight wires 170

九劃

保險絲 fuse 137
活線 / 火線 live wire 136
范德格拉夫起電機 Van de Graaff generator 13
負荷 load 194
起電 charging 9
授受起電 by sharing 10
感應起電 by induction 11
摩擦起電 by friction 9
韋伯 weber (Wb) 241
韋伯 Weber, Wilhelm 241

十劃

原子核 nucleus 3
原線圈 primary coil 294
峯值 peak value 283
庫倫 coulomb (C) 4
庫倫 Coulomb, Charles 22
庫倫定律 Coulomb's law 22
效率 efficiency 298

十一劃

副線圈 secondary coil 294
探察線圈 search coil 250
接地 earthing 12

十二劃

場力線 field line 17
換向器 commutator 200, 258
湯姆生 Thomson, J. J. 210
發電機 generator (dynamo) 254
交流發電機 a.c. 256
直流發電機 d.c. 258
短路 short circuit 93
絕緣體 insulator 5

十三劃

匯電環 slip ring 256
圓形線圈 circular coil 171
奧斯特 Oersted, Hans C. 168
愛迪生 Edison, Thomas 307
感生 induced
感生電流 current 231
感生電動勢 e.m.f. 231
感生電荷 charge 6

楞次 Lenz, Heinrich 233
楞次定律 Lenz's law 234
極 pole 160
北極 north 161
南極 south 161
萬用電錶 multimeter 71
電 electric
電流 current 55
電動機 motor 199
電荷 charge 2
電場 field 17
電場強度 field strength 26
電勢能 potential energy 32
電子 electron 3
自由電子 free 5
電池 cell 67
電阻 resistance 70
內電阻 internal 96
等效電阻 equivalent 84
電阻率 resistivity 77
電阻器 resistor 78
可變電阻 variable 79
串聯 in series 83
並聯 in parallel 85
定值電阻器 fixed 79
電流 current 55
交流電 alternating (a.c) 135, 282
直流電 direct (d.c.) 135
渦電流 eddy 262
電流天平 current balance 187
電容率 permittivity 22
電能 electrical energy 124
電動勢 electromotive force (e.m.f.) 63
電荷守恆定律 law of conservation of charge 4
電勢差 potential difference (p.d.) 63
電路 electric circuit 58
串聯 in series 58
並聯 in parallel 58
電磁感應 electromagnetic induction 230
電磁學 electromagnetism 17, 159
電磁鐵 electromagnet 178
電網系統 grid system 306
電壓 voltage 63

十四劃

碳電刷 carbon brush 200, 256
磁力 magnetic force 160
磁力線 magnetic field line 162
磁石 lodestone 160
磁通量 magnetic flux 241
磁通匝鏈數 linkage 242
磁通量密度 density 242
磁場 magnetic field 161
地球磁場 earth's 165
電流產生的磁場 due to electric current 168
磁鐵的磁場 due to magnet 161
磁導率 permeability 174
端電壓 terminal voltage 101

十五劃

歐姆 ohm (Ω) 70
歐姆 Ohm, Georg 71
歐姆定律 Ohm's law 72
質子 proton 3

十六劃

導體 conductor 5
靜電力 electrostatic force 2
靜電學 electrostatics 2

十七劃

環形幹線 ring main 143
螺線管 solenoid 171
螺線管的右手握拳定則
right-hand grip rule for solenoids 172

十八劃

斷路器 circuit breaker 142
額定值 rated value 127

二十三劃

變阻器 rheostat 72
變壓器 transformer 293
升壓器 step-up 298
降壓器 step-down 298