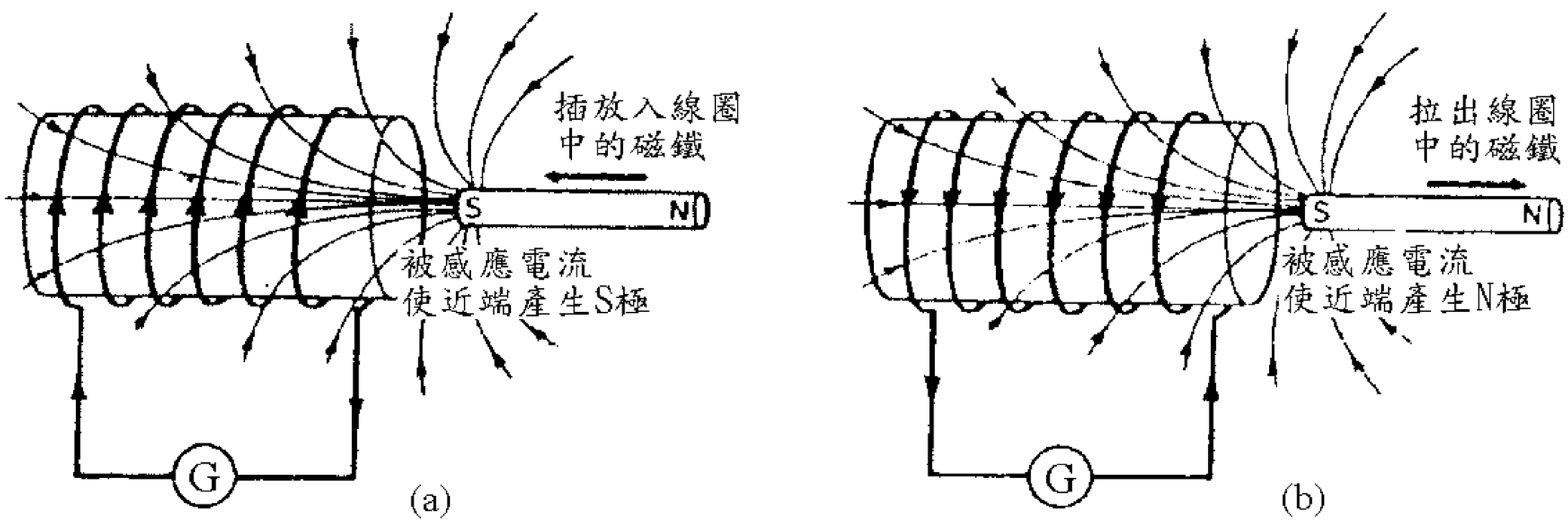
PHYSICS

第二十一章

電磁感應



_____年 _____班 _____號

姓名：_____

吳錫玠老師 編授

21-1 電磁感應與冷次定律

一、電磁感應：**1831** 年，法拉第**(Michael Faraday，1791-1867)**發現。

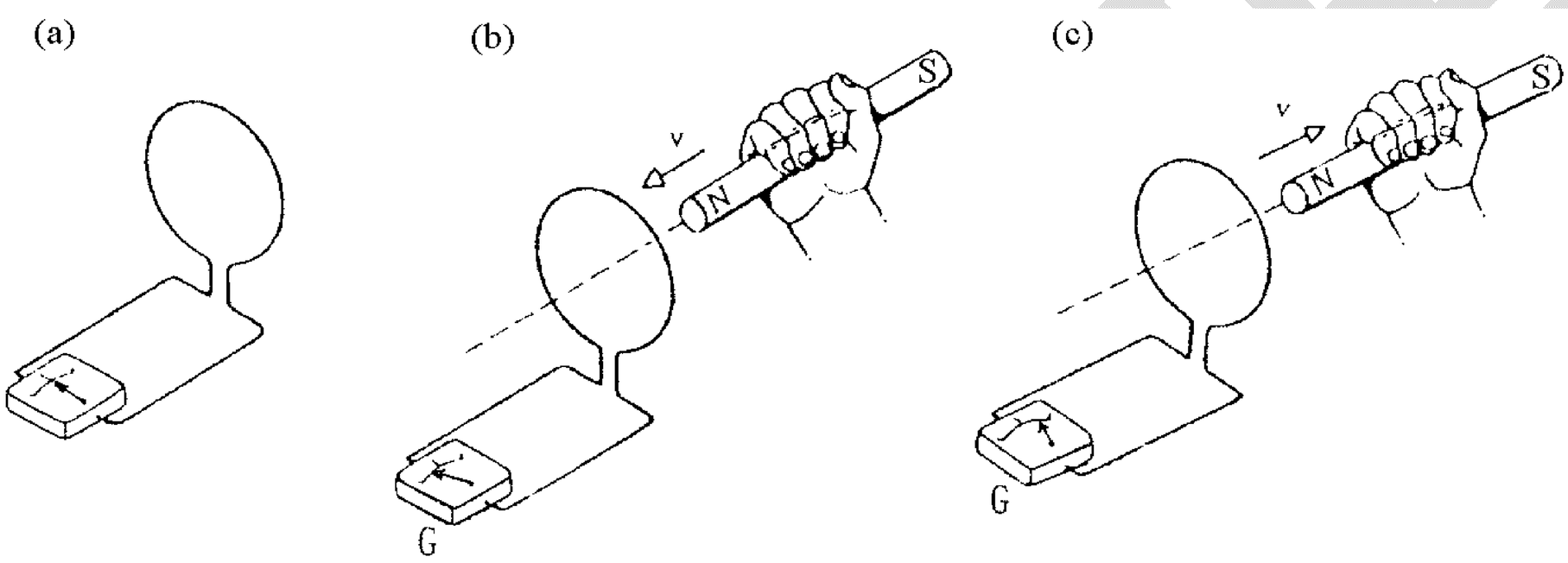
定義：因一封閉迴線所圍面積上的磁力線數發生變化，而產生感應電動勢**(**或感應電流**)**的現象，稱為電磁感應。

感應電流：因一封閉迴線所圍面積上的磁力線數變化而產生的電流**(**非由實際電源**(**如電池……等**)**產生**)**，稱為感應電流。趨使這電流流動的電壓叫感應電壓**(**或感應電動勢**)**。

二、法拉第實驗

1.實驗一：線圈與磁場作相對運動

法拉第將一線圈與一電流計 **G** 連接，如下圖**(a)**所示。因線圈上無電流，電流計 **G** 的指針指向中央零點。



(1)實驗過程：

a.將磁棒的 **N** 極插入線圈，電流計 **G** 的指針偏向一邊，如上圖**(b)**所示，顯示線圈上有電流。若磁棒靜止不動，指針即回至中央零點，不生偏轉，顯示線圈上無電流。

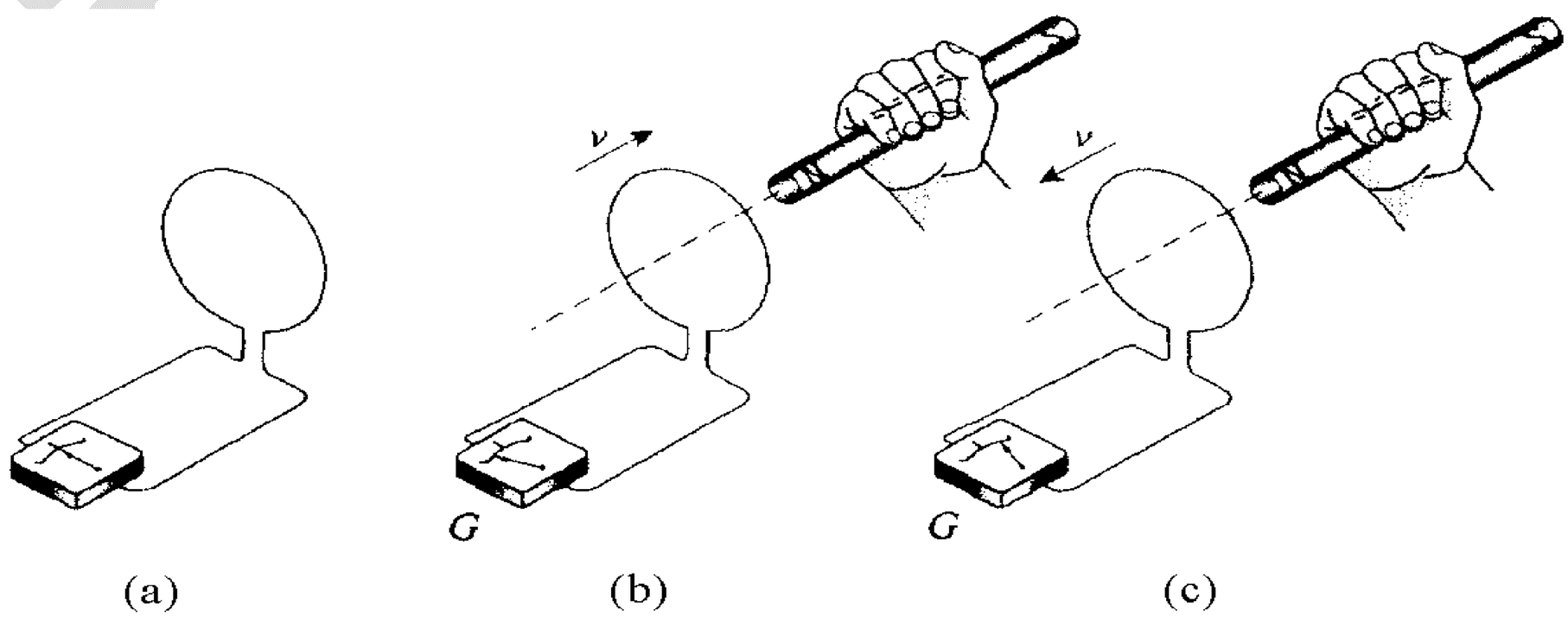
b.將磁棒的 **N** 極自線圈退出，指針向零點的另一方偏轉，如上圖**(c)**所示，可知線圈上又有電流，但方向與上圖**(b)**的相反。

c.若將磁棒掉轉，以 **S** 極插入及退出線圈，則指針偏轉方向與上述者相反，即線圈上的電流方向與 **N** 極進退時的相反。

(2)實驗結果分析：

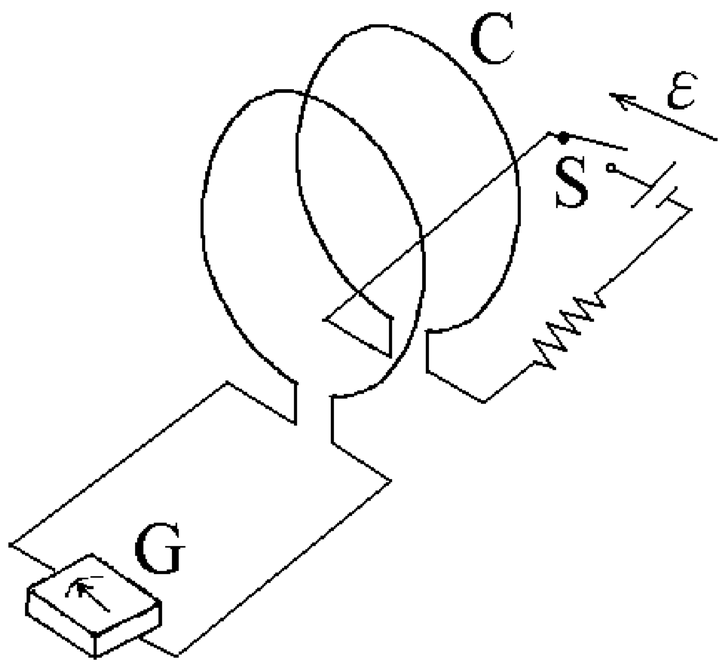
當磁場和線圈有相對運動時，線圈中產生了一感應電流電流的方向，視線圈和磁場相對運動的方向而定。

(3)如下圖，若線圈動而磁棒不動，亦會有相同現象產生。



2. 實驗二：通過線圈的磁場發生變化

就前頁圖中的線圈(連接電流計 **G**)近旁，放置另一線圈 **C**，其線路上接有電池和開關 **S**，如右圖所示。



(1) 實驗過程：

a. 當開關 **S** 接通的瞬間，線圈 **C** 的電流由零上升，產生由小變大的磁場，電流計 **G** 的指針亦隨之偏轉。線圈 **C** 的電流及其所生磁場瞬即達到一定值，指針旋即回復至中央零點位置。

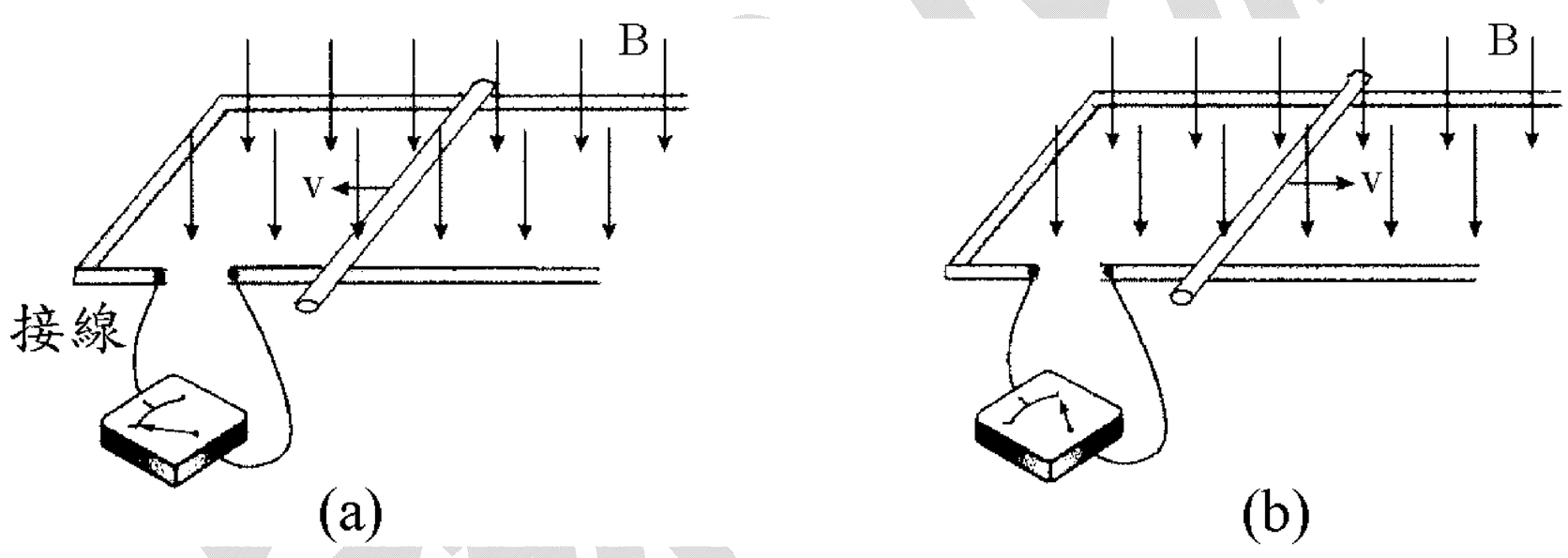
b. 當將開關 **S** 切斷的瞬間，線圈 **C** 的電流降至零，磁場隨之消失，電流計亦作瞬時偏轉後回復至零點，但其偏轉方向與前次 **S** 接通時的相反。

(2) 實驗結果分析：

這實驗顯示感應電流的產生，不需磁棒和線圈有真正的相對運動，只需線圈所在處的磁場有改變，即可產生感應電流。

3. 實驗三：線圈面積改變

如下圖所示，有一連接檢流計的 **U** 型金屬線圈，靜置於一鉛直方向的均勻磁場內，**U** 型線圈上另有可滑動的細金屬棒，細金屬棒與 **U** 型線圈的封閉端構成一個封閉線路。



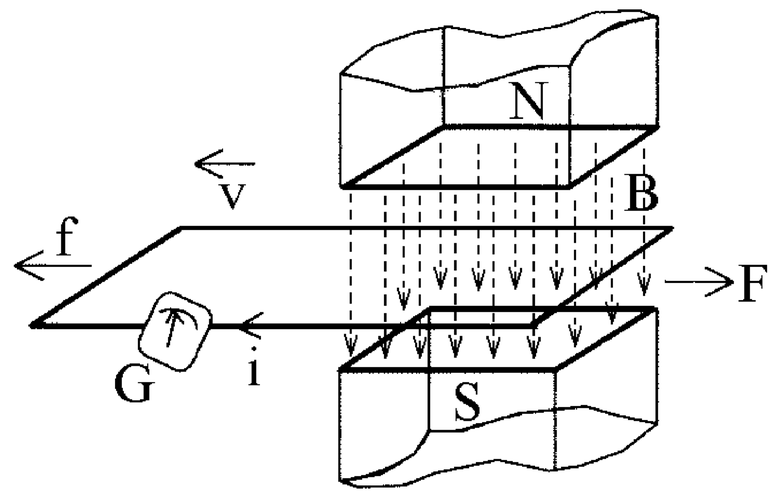
(1) 細金屬棒靜止置於 **U** 型線圈上，此時檢流計的指針停留於中央 **O** 點，無電流流過。

(2) 細金屬棒在線圈上向左方移動(此時封閉線路所圍成的面積變小)，檢流計的指針即會由中央 **O** 點向一側偏轉，如上圖**(a)**所示，顯示封閉線路內有感應電流的產生

(3) 細金屬棒在線圈上反方向(即向右方)移動，則發現檢流計的指針會由中央點向一另側偏轉，如上圖**(b)**所示，顯示封閉線路內的感應電流方向與上述的相反。

4. 實驗四：導線切割磁力線

置一線圈的一直線部分 **AC** 於一磁場中，如圖所示。



(1) 實驗過程：

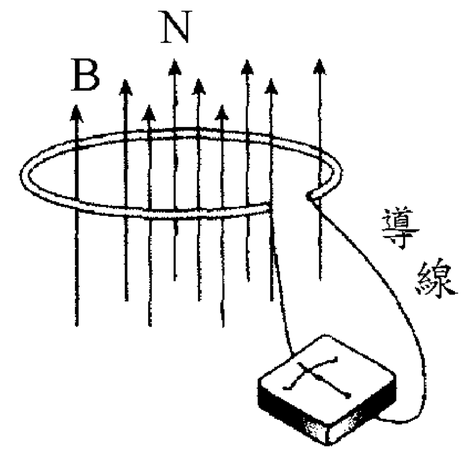
a. 當將 **AC** 沿著與磁場 $\vec{B}$ 垂直的方向拉動時，電流計 **G** 的指針作瞬時偏轉。

b. 當將 **AC** 沿著與磁場 $\vec{B}$ 平行的方向拉動時，則電流計 **G** 的指針無反應。

(2) 實驗結果分析：當一導線切割磁力線時，便有感應電流產生。

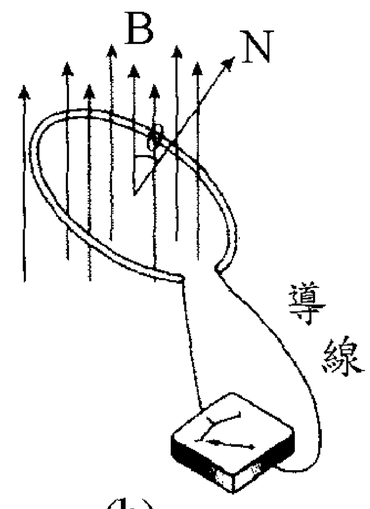
5.線圈方向改變：

如右圖所示，一連接有檢流計的線圈，置於一沿鉛垂方向的均勻磁場中，線圈的面積及磁場在實驗中均維持不變，線圈繞某一水平軸的轉動，以改變線圈與磁場之間的夾角θ。



(a)

實驗結果顯示，當線圈轉動時，檢流計的指針會偏轉，顯示線圈中有感應電流的產生。因為線圈轉動時並不改變線圈的面積或磁場的量值，因此感應電流的產生必由線圈與磁場之間的夾角θ隨時間改變而來。



(b)

6.結論：

(1)穿過一封閉線圈內之磁場**(**或磁力線**)**若發生改變時則線圈會產生感應電流。而磁場的變更可用三種方法產生：

a.在一穩定磁場中，使線圈對磁場作相對運動。

b.線圈固定，使生成磁場的磁鐵對線圈作相對運動。

c.線圈固定，變更生成磁場的電流。

(2)線圈面積大小或面積向量與磁場之夾角改變時，會產生感應電流。

(3)當導體在磁場內運動而切割磁場**(**或磁力線**)**時導體會產生感應電流。

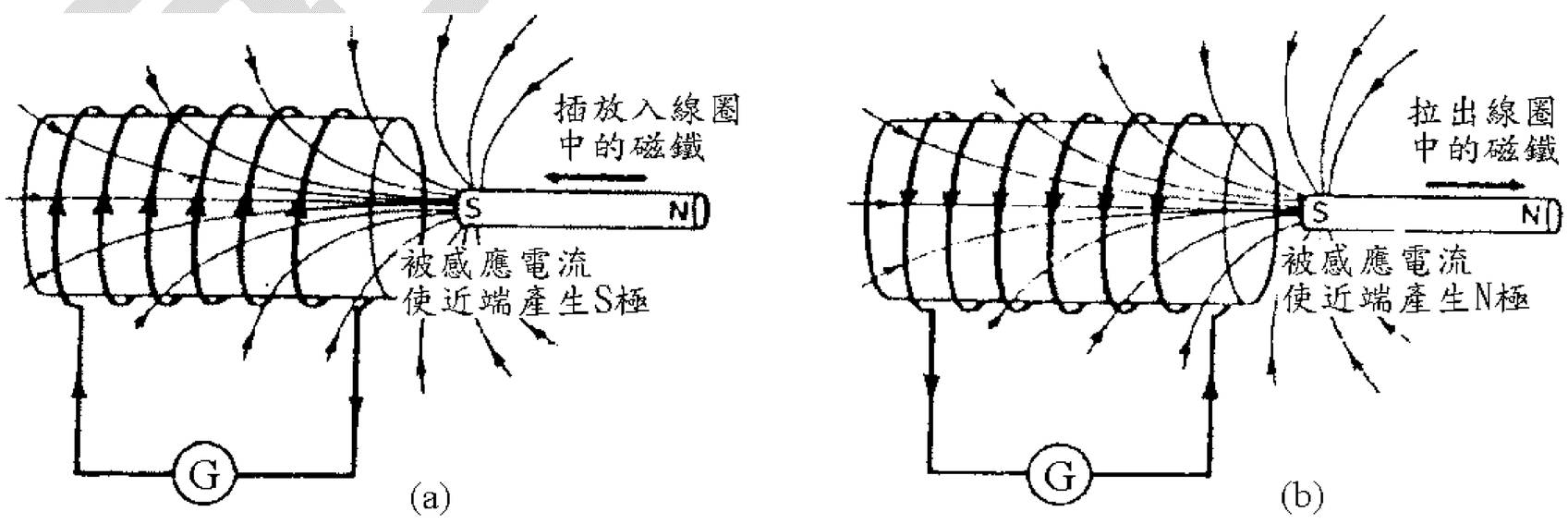
註：導體若非封閉迴路則僅產生感應電動勢而無感應電流。

※冷次定律

一、發現者：冷次**(Heinrich Friedrich Lenze 1804-1865** 俄國**)**在 **1834** 年提出。

二、內容：一導線圈在磁場中運動時，導線圈內所產生的感應電動勢的方向，乃欲使線圈所產生的感應電流能夠阻抗磁通量的改變。

1.下圖顯示當一磁鐵伸入一線圈中時此定律之應用。當磁鐵的南極伸入線圈內之際，被感應電流的方向，是必定可以令正對磁鐵的線圈之一末端能產生一南磁極。於是，既然同極相斥，則磁鐵之運動即遭被感應電流的抗拒；在另一方面，當磁鐵之南極被推離線圈之際，被感應電流之方向即變為相反，線圈接近磁鐵之一端乃變為一北極，於是異極相吸，磁鐵運動之方向復又受到抗拒。



2.從另一觀點看之：

冷次定律不過是能量守恆定律的一個應用。被感應電流通過時消耗能量，而此能量的來源即為磁鐵移動時所作之功。因此，若磁鐵相對於線圈運動而做功，則其必遭遇一抗拒之力。

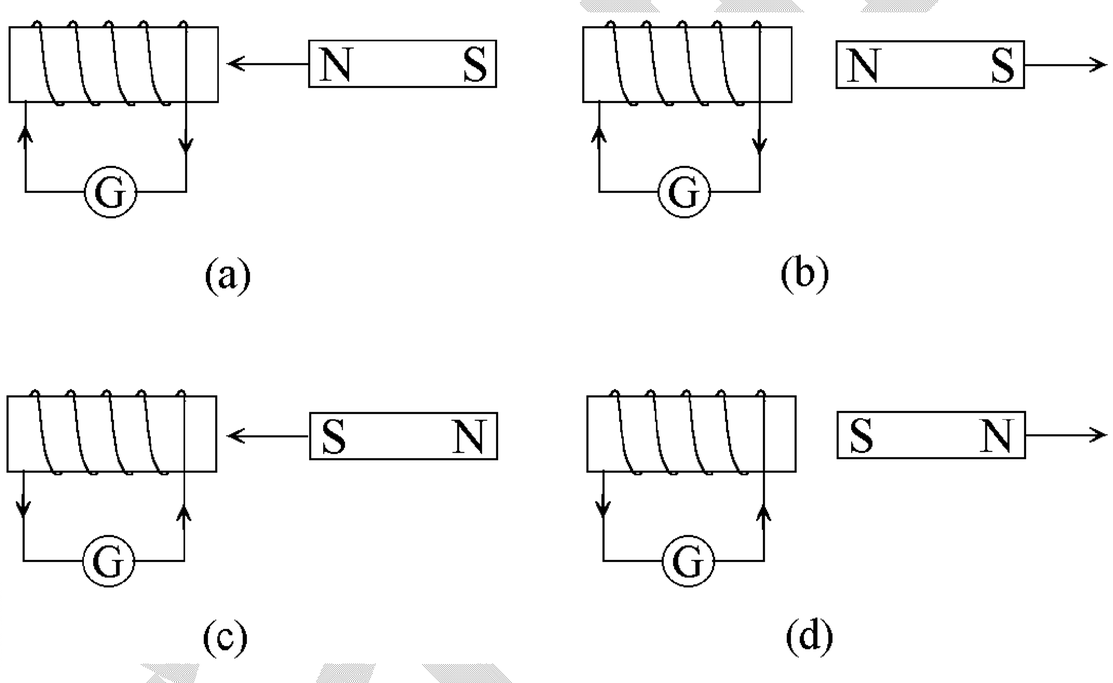
3.用更淺近的說法來註釋：

感應電動勢的方向是要產生感應電流，而此電流又生一磁場。若原來的感應電動勢是由於磁場(或磁通量，詳見§**19-2**之內容)的增加而生，則由感應電流所生的感應磁場與原磁場反向；若是由於磁場的減少而生，則此感應磁場與原磁場同向。

三、涵義：產生感應電流的方向總是在避免違反能量守恆定律。

※原因：因感應電動勢所產生之感應電流必再產生一磁場，此一磁場必定"反抗"發生此一電動勢的"磁場的變化"。因為，假如不"反抗"，則由感應電流所生之磁場竟"助長"原有"磁場之變化"，則必又生成感應電動勢；又驅動電流；又助長磁場之變化；又再生　感應電動勢……，如此因因果果，均無需任何外加之能量，此顯然與能量守恆定律衝突，事實上絕無可能。

例：如右圖所示：



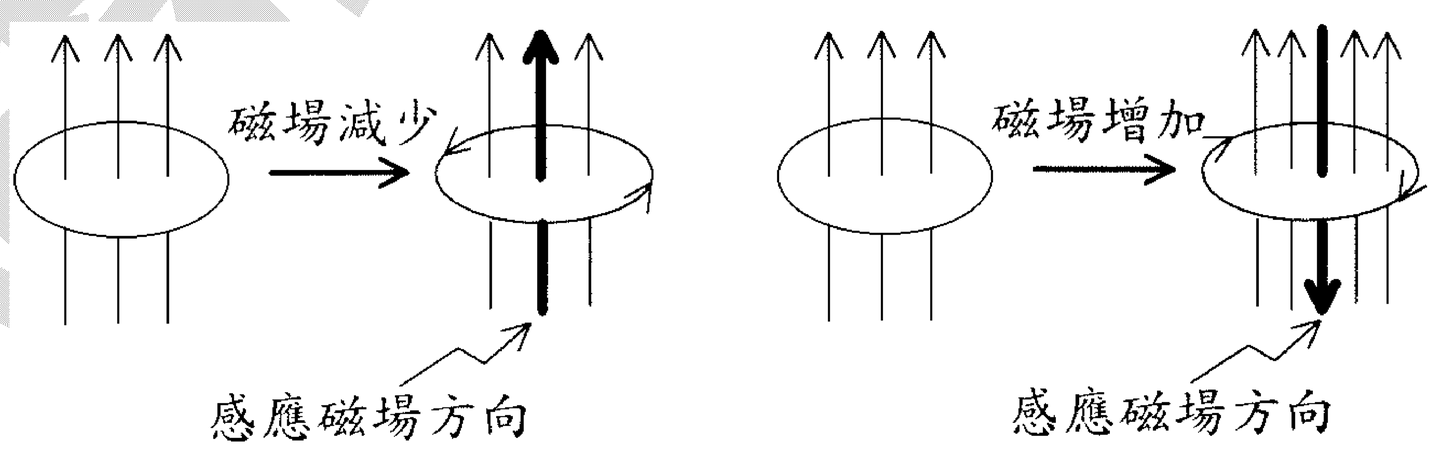
1.當磁鐵**N**極靠近時，線圈中磁場變強(或磁通量變大)，感應電流就在能產生一與原磁場方向相反之磁場的方向以抵消磁場的增大。

2.當磁鐵**N**極移去時，線圈中磁場減弱，感應電流就在能產生一與原磁場同方向之磁場的方向，以補充磁場的減少。

3.當磁鐵**S**極靠近時，線圈中磁場變強，感應電流就在能產生一與原磁場方向相反之磁場的方向，以抵消磁場的增大。

4.當磁鐵**S**極移去時，線圈中磁場減弱，感應電流就在能產生一與原磁場同方向之磁場的方向，以補充磁場的減少。

四、感應電流方向之判定：

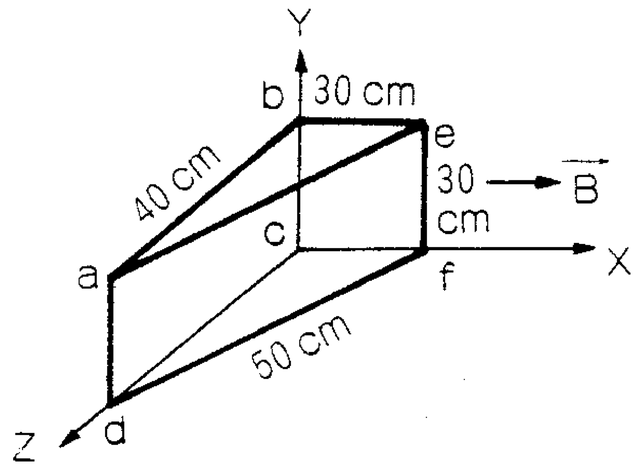


1.先以冷次定律判別感應磁場之方向。

2.次以安培右手定則(拇指指感應磁場方向，其它四指彎曲方向為感應電流之方向)判別感應電流之方向。

※磁通量 $\phi_B = \vec{B}\cdot\vec{A} = BA\cos\theta = B_{\perp}\cdot A$

例 1.如右圖所示，在某一區域內之磁場 B 為 2 特士拉，方向沿正 X 軸，試求：(1)通過面 abcd 之磁通量為若干韋伯？(2)通過面 befc 之磁通量為若干韋伯？(3)通過面 aefd 之磁通量為若干韋伯？答：(1)0.24 韋伯；(2)0；(3)0.24 韋伯

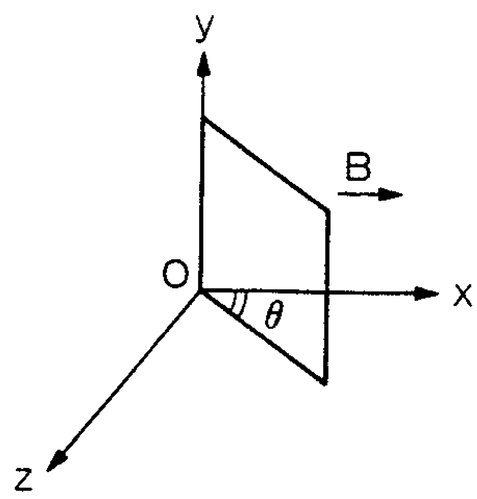


例 2.有一長螺線管直徑 d 為 4.0 厘米，每厘米有線圈 10 匝，當電流為 1.0 安培時，螺線管內之磁通量為若干？答：1.6×10^{-6} 韋伯

類 1.有一電子在半徑 10 厘米之圓周上運動，並且垂直於一均勻磁場。若已知該電子的速率爲 10^6 米/秒，則此圓軌道內之總磁通量爲若干韋伯？答：1.8×10^{-6} 韋伯

類 2.有一半球殼，半徑爲 0.1 米，將其開口面垂直於一磁場，磁場之量值(或磁通量密度)爲 3 特士拉。問： (1)穿過此曲面之總磁通量爲若干？(2)在此殼之表面上，平均磁通量密度爲若干？(3)在表面上之最大磁通量密度爲若干？(4)在表面上之最小磁通量密度爲若干？答：(1)9.4×10^{-2} 韋伯；(2)1.5 特士拉；(3)3 特士拉；(4)0

類 3.一邊長 20 公分的方形線圈以 y 爲轉軸，其指向如右圖，有一均勻磁場 B＝0.5 特士拉，方向向 x 軸，若角度 θ 由 37°變到 53°時，磁通量變化爲何？答：4×10^{-3} 韋伯



類 4.一圓線圈截面積爲 $60\,cm^2$，圈面垂直置於 0.15T 的均勻磁場中，今以其直徑爲軸，轉動 53° 角，則線圈中磁通量變化爲_____韋伯。答：-3.6×10^{-4}

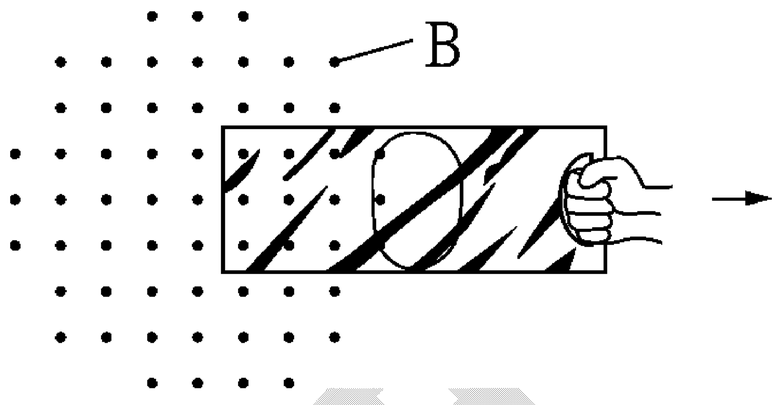
類 5.面積爲 0.5 米^2 的迴線，置於磁通量密度 2 特士拉之磁場中，若迴線平面與磁場夾 37°，則通過此迴線所圍面積之磁通量爲何？答：0.6 韋伯

類 6.下列何者可爲磁通量的單位？ (A)焦耳／安培 (B)伏特・秒 (C)高斯・公尺^2 (D)牛頓・公尺／庫侖 (E)焦耳・秒／庫侖。答：ABCE

吳錫玠物理

※冷次定律與感應電動勢

例 3.將一銅片置於磁場中，如附圖所示。若欲將銅片拉出或推進則將受到一阻力，試解釋其原因？答：因銅片中的感應電流使銅片各邊均受磁力，其中上下二邊的力互相抵消，但左邊有一向左的磁力，吾人所施的力為向右，故此向左之力即為阻力，將銅片推進時亦產生相同之結果。



類 1.下面那幾種情形下線圈(正圓)上才產生感應電動勢？

(A)線圈面和均勻磁場垂直，而磁場慢慢消失。

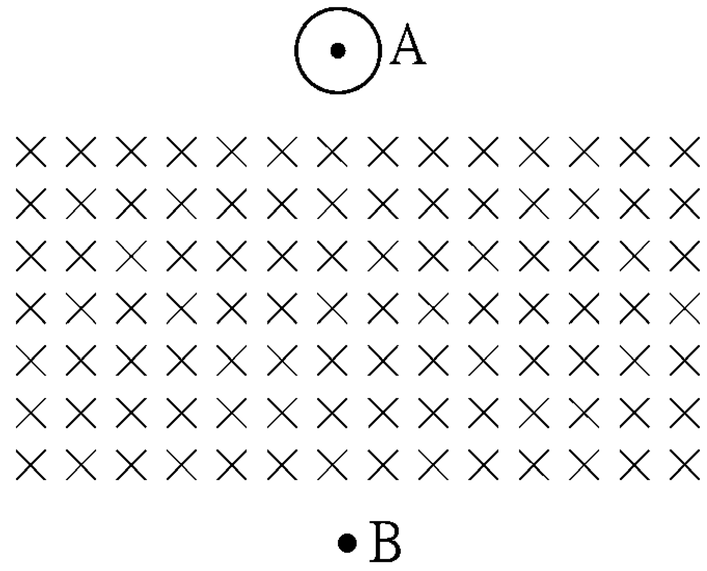
(B)線圈面和均勻磁場垂直以通過線圈中心，且以垂直於圈面的線爲軸轉動。

(C)線圈的面和磁場方向平行，磁場突然增加。

(D)線圈本身有電流，將線圈斷路的瞬間也有電動勢。

(E)線圈面和磁場垂直，將線圈慢慢縮小。答：ADE

類 2.令一小金屬環從一均勻磁場區域之上方 A 處自由掉落，金屬環的平面保持垂直於磁場方向（如附圖），則下列敘述何者正確？ (A)當金屬環底部掉進磁場時，會受到磁力作用而產生轉動 (B)當金屬環只有下半部掉進磁場時，會受到向上的磁力作用 (C)當金屬環全部掉入磁場時，僅會受到重力作用 (D)當金屬環只有下半部掉離磁場時，會受到向上的磁力作用 (E)金屬環從 A 處掉至 B 處所需時間大於 $\sqrt{\frac{2h}{g}}$（h 爲 A、B 之距離）。【79 日大】答：BCDE



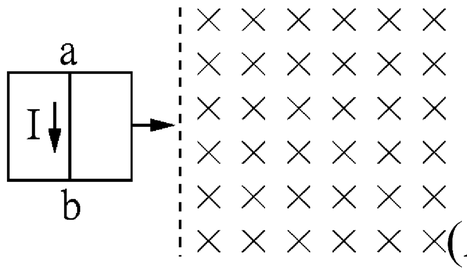
類 3.在 $\varepsilon = -\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$ 式子中的負號，其物理意義爲： (A)磁通量若增加，則感應電流所生的磁場方向與原磁場同向 (B)承(A)，與原磁場反向 (C)磁通量若減少，則感應電流所生的磁場方向與原磁場同向 (D)承(C)，與原磁場反向 (E)能量是守恆的。答：BCE

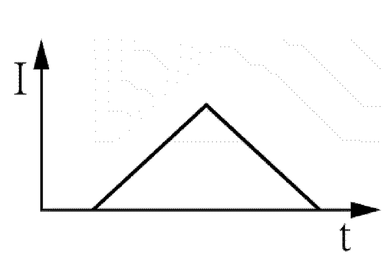
類 4.當線圈與磁鐵之間有相對運動時，感應電流的方向是使線圈所生的磁場阻止其相對運動，稱爲： (A)安培定律 (B)法拉第定律 (C)歐姆定律 (D)冷次定律。答：D

類 5.設均勻磁場方向爲水平由南而北，下述那一情況下，線圈才有感應電動勢？ (A)線圈面水平並由上掉下來 (B)線圈面水平並在水平運動 (C)線圈面和南北向垂直，由上掉下來 (D)線圈面和南北向垂直，將線圈由圓形變爲正方形 (E)線圈面和南北向垂直，以線圈直徑爲軸轉動，轉軸和磁場垂直 。答：DE

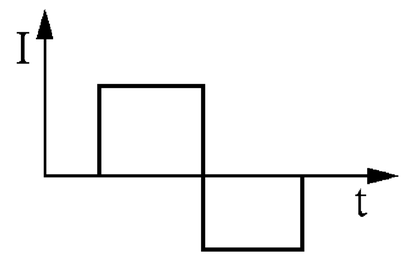
※感應電動勢的方向

例 4.一橫置之日字型電路，以等速度由磁場為零的空間進入一均勻分布的磁場中（如附圖所示）。則導線 ab 間的電流 I（由 a 向 b 為正）隨時間的變化可由下列何者正確表示？

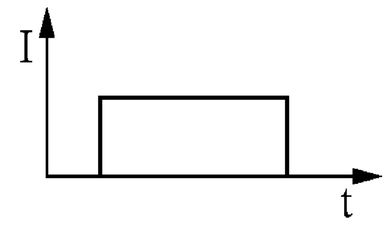




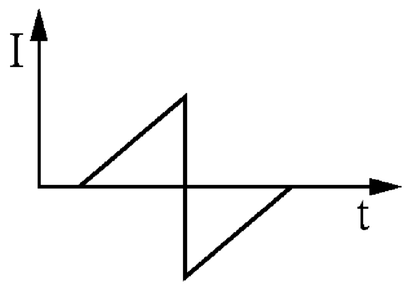
(A)



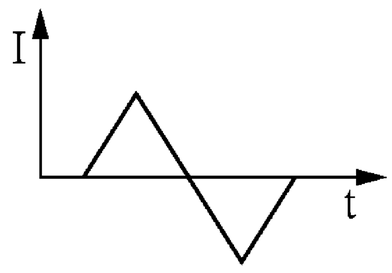
(B)



(C)



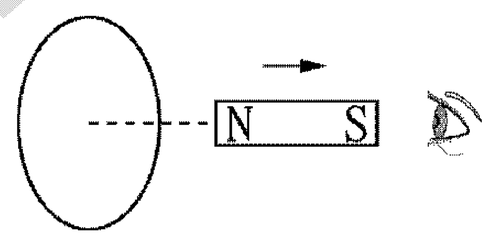
(D)



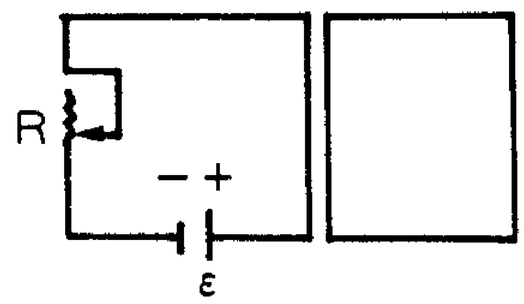
(E)

答：(B)

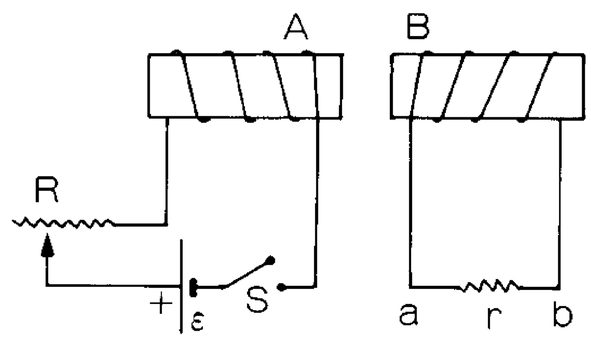
類 1.如附圖，有一固定的超導體圓環，在其右側放置一條形磁鐵時，環上無電流，當把磁鐵向右移走時，在環上產生了電流，則下列何者正確？ (A)環上電流方向順時針，但是，電流很快消失 (B)環上電流方向逆時針，但是，電流很快消失 (C)環上電流方向逆時針，但是，電流大小維持不變 (D)環上電流方向順時針，但是，電流大小維持不變　(E)無法判定。答：A



類 2.如右圖所示，左側電動勢為 ε 之電池外電路為一可變電阻 R，右側為一方形線圈，問當 (1)左側電阻 R 增大；(2)左側電阻 R 減少；(3)左側電阻 R 保持不變；(4)右側方形線圈向右移開時，右側方形線圈中感應電動勢之方向各為何？答：(1)順時針；(2)逆時針；(3)無感應電動勢；(4)順時針



類 3.右圖中 ε 是電源，R 是可變電阻，S 是開關，A、B 是線圈，兩者繞的方向恰好相反。開始時開關 S 未按下如圖所示。則：
(1)現在將開關按下，則在此刻瞬間，右邊線圈 B 電路中電阻 r 內，電流方向為何？
(2)如開關已按下，現在突然將 S 打開，則在此 刻瞬間在右邊線圈 B 電路中電阻 r 內電流方向為何？
(3)當 A 中的電流穩定時，如使 B 向 A 靠近，A 保持不動，則在右邊 B 線圈電路中電阻 r 內電流方向為何？反之，若使 B 遠離 A，則該電流方向又為何？
(4)當 A 中電流穩定時，如將可變電阻 R 調整，令電阻變小，則在右邊 B 線圈電路中電阻 r 內電流方向為何？反之，如調整 R 令其變大，則該電流方向為何？答：(1)← (2)→ (3)←，→ (4)←，→



吳錫玠物理

21-2 法拉第定律

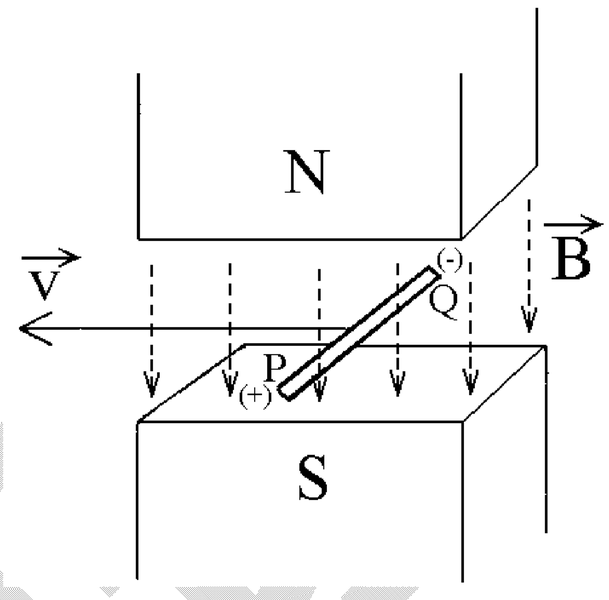
一、感應電動勢

1.定義：非由電源供給，而係藉電磁感應產生之電動勢，稱為感應電動勢。**(**由上述實驗得知**)**

2.產生的方法：由實驗得知，感應電動勢產生之原因為

(1)通過金屬線圈之磁通量發生變化。

(2)導體在磁場中切割磁場運動。



3.感應電動勢和感應電流的關係：

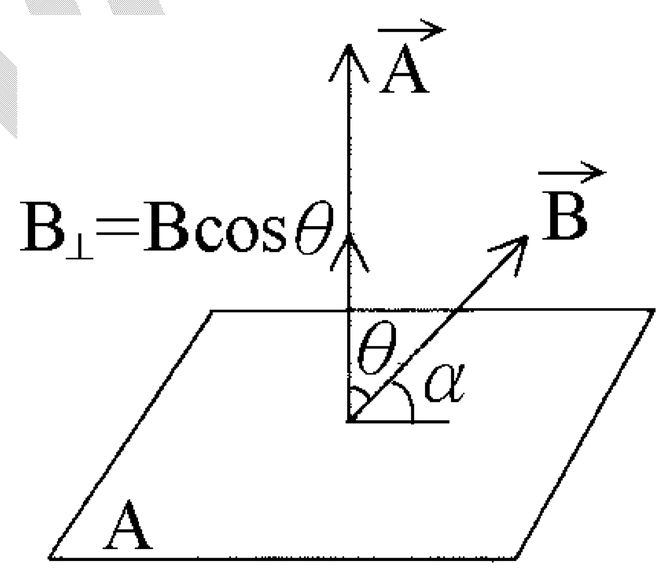
感應電流是由感應電動勢而生，即有電流則必有一電動勢存在；但有感應電動勢，卻未必有電流，必須電路為封閉迴路時才會因有感應電動勢而產生感應電流。

※說明：如右圖所示，導線 **PQ** 垂直於磁場的方向移動時，其兩端會有正負電荷的堆積，表示其兩端有電位差**(**感應電動勢**)**，但是因為其未能構成一個通路，因此沒有電流。必須將導線和其他部份構成一個封閉線圈，始能產生感應電流。

二、磁通量：

1.定義：通過一面積的總磁力線數。以 ϕ_B 或 ϕ 表之。

2.數學式：磁場 **B** 垂直於線圈面的分量 $\mathbf{B}_\perp$ 與線圈面積 **A** 的乘積。



(1)均勻磁場：$\phi_B = \vec{B}\cdot\vec{A} = BA\cos\theta = B_\perp \cdot A$

(2)非均勻磁場：$\phi_B = \int \vec{B}\cdot d\vec{A}$

※θ 為磁場 $\vec{B}$ 與線圈平面法線**(**$\vec{A}$ 的方向**)**夾角，α 為磁場與線圈面夾角。

註：感應電流**(**或電動勢**)**產生的條件為通過線圈的磁通量必須發生變化，而磁通量變化情形有三：**(a)A** 改變 **(b)B** 改變 **(c)** θ 改變。

3.單位：韋伯**(Weber)**＝特士拉**-**公尺 ^{2}**(T-m^2)**＝牛頓**-**公尺**/**安培**(N-m/A)**

＝10^8 高斯**-**公分 ^{2}**(Gauss-cm^2)＝10^8** 馬克士威**(Maxwell)＝10^8** 條磁力線

三、法拉第電磁感應定律**(**又叫法拉第**-**亨利定律**)**

1.內容：任何形狀線圈其感應電動勢 ε 等於通過線圈內磁通量時變率**(**$\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$**)**的負值。

2.數學式：

(1)平均感應電動勢 $\varepsilon = -\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$

(2)瞬時感應電動勢 $\varepsilon = \lim_{\Delta t\to 0}(-\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}) = -\frac{d\phi_B}{dt}$

註：**a.**感應電動勢的量值與磁通量變化率成正比而與磁通量量值無關。

b.此定律在 **1831** 年由法拉第及亨利分別在英國及美國同時發現。

c.式中的負號係表示感應電動勢的方向乃係用來產生一感應電流

(因此而產生一感應磁場)以阻止線圈中磁通量的改變。

d.若有 **N** 匝線圈 $\Rightarrow$ 感應電動勢 $\varepsilon = N(-\dfrac{\Delta\phi_B}{\Delta t})$

四、感應電動勢公式推導：

1.迴線以等速度 $\vec{v}$ 向左橫掠磁場 $\vec{B}$，迴線中即生感應電流 **i**，如右圖所示：

2.導線在磁場中受磁力 $\vec{F}_B = iLB$ 向右之作用(**L**：切割磁場之導線長度)

3.欲維持導線等速運動，則需施以外力 $\vec{F} = -\vec{F}_B = -i\vec{L}\times\vec{B} = iLB$ 方向向左

4. Δ**t** 時間內導線位移若為 $\Delta\vec{d}$，則外力作功為

$W = \vec{F}\cdot\Delta\vec{d} = \vec{F}\cdot\vec{v}\Delta t = -i(\vec{L}\times\vec{B})\cdot\vec{v}\Delta t$ ……**(1)**

5.導線中電荷 **Q** 所獲能量 $W = Q\varepsilon = (i\cdot\Delta t)\varepsilon$ ……**(2)**

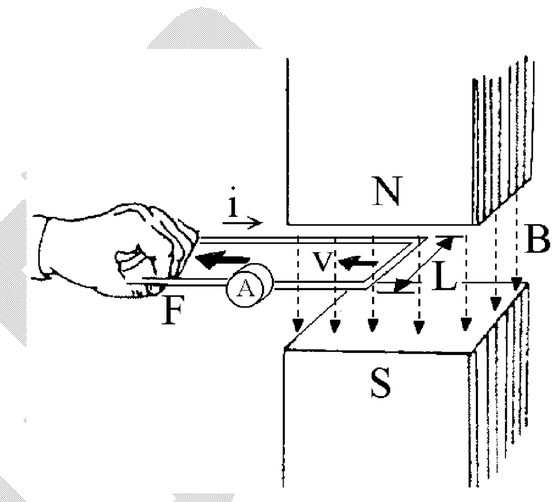
6.由**(1)(2)**及依能量守恆原理得 $(i\cdot\Delta t)\varepsilon = -i(\vec{L}\times\vec{B})\cdot\vec{v}\Delta t$

$\Rightarrow$ 瞬時感應電動勢 $\varepsilon = -(\vec{L}\times\vec{B})\cdot\vec{v} = -\vec{L}\cdot(\vec{B}\times\vec{v}) = \vec{L}\cdot(\vec{v}\times\vec{B})$

7.感應電場強度 $\vec{E} = \vec{v}\times\vec{B}$

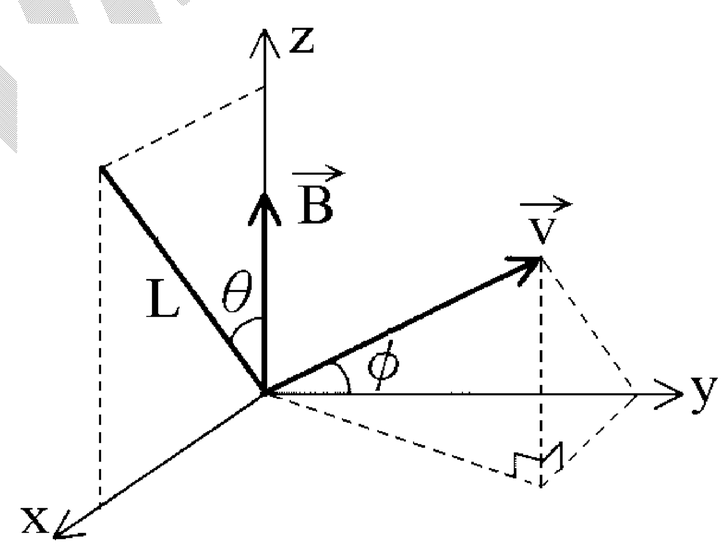
8.若迴線在 Δ**t** 時間內，橫割磁場的面積 Δ**A**＝**Lv**Δ**t**

$\Rightarrow$ 感應電動勢 $\varepsilon = \dfrac{W}{Q} = \dfrac{-iLB\cdot v\Delta t}{i\Delta t} = \dfrac{-B(Lv\Delta t)}{\Delta t} = -\dfrac{B\Delta A}{\Delta t} = -\dfrac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$



註：若 θ 為磁場 $\vec{B}$ 與導線 $\vec{L}$ 間的夾角，ψ 則為速度 $\vec{v}$ 與 $\vec{B}$、$\vec{L}$ 所成平面(**x**、**z** 平面)的法線之夾角，如圖所示。

$\Rightarrow$ 感應電動勢 ε ＝**L**$\sin\theta$ ・**B**・**v**$\cos\psi = \vec{L}\cdot(\vec{v}\times\vec{B})$



五、以 **F** 之拉力，拉迴線以等速 **v** 橫割垂直的均勻磁場運動

1.所需的拉力量值 **F**＝磁力量值 **i LB**＝$\dfrac{\varepsilon}{R}$**LB**＝$\dfrac{Lv}{R}$**LB**＝

$\dfrac{L^2vB^2}{R}$

2.對迴線所作的功率 **P**＝**F**・**v**＝$\dfrac{L^2vB^2}{R}$ ・**v**＝$\dfrac{L^2v^2B^2}{R}$

3.感應電動勢 ε ＝**LvB**

4.若迴線電阻為 **R**，則產生的熱功率 **P'**＝$\dfrac{\varepsilon^2}{R} = \dfrac{L^2v^2B^2}{R}$

5.由 **2.&4.**知力學能(施力所作的功)轉換為電能(感應電動勢)再轉換為熱能。

※結論：迴線上電阻發生的熱能等於施力拉迴線時對迴線所作的功。

※法拉第電磁感應定律 $\varepsilon = -N\dfrac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$ ⇨平均感應電動勢

例 5.一線圈有 1000 匝，截面積 $50cm^2$，圈內有均勻磁場 10N/A-m，若在 0.01 秒內增加到 30N/A-m，則線圈兩端平均感應電動勢為若干？答：10^4V

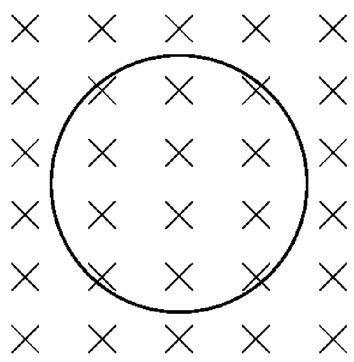
類 1.線圈 b 的開關 S 在接通的 0.001s， 使得 a 線圈中之磁通量增為 5×10^{-4} 韋伯，求 a 線圈每一匝之平均感應電動勢。答：0.5V

類 2. 5 匝線圈繞成一長方形，邊長 2 厘米×3 厘米，其中通過均勻（垂直於長方形面積）磁場 4×10^{-2} 牛頓/安培-米，若此磁場在 10^{-3} 秒內變為零，則線圈之平均感應電動勢大小為若干？答：0.12 伏特

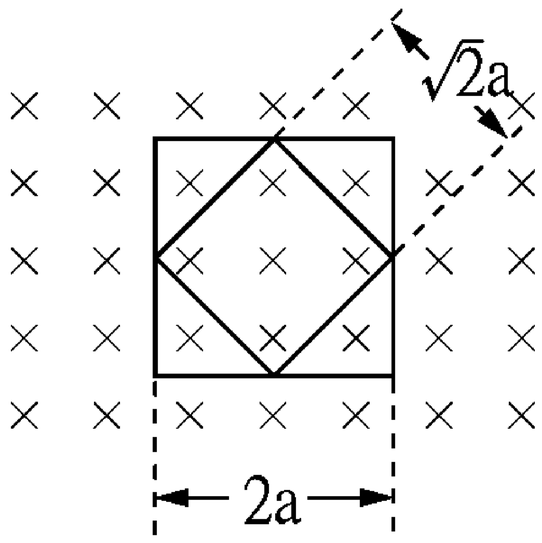
類 3.一線圈半徑為 0.50m 共有 10 匝，置於一電磁場中，磁場垂直於線圈面，若磁場於 10 秒內由 0 增為 1.0T，求線圈之感應電動勢。答：0.79V

類 4.一個 600 圈之迴線內之磁通量由 8×10^{-5} 韋伯減為 3×10^{-5} 韋伯，歷時 0.15 秒，則平均感應電動勢為_____伏特。答：0.2

類 5.半徑 r 之圓形迴線置於均勻磁場 B 內，如附圖所示，若此磁場在 t 時距內均勻減少至零時，迴線內之電流強度為 I，則此迴線之電阻為： (A)Ibrt (B)$\dfrac{It}{Br}$ (C)$\dfrac{Br}{It}$ (D)$\dfrac{It}{Br^2}$ (E)$\dfrac{B\pi r^2}{It}$。答：E



類 6.同一材質與粗細的電阻線折成兩個邊長各為 2a 及 $\sqrt{2}$a 的正方形，今將小正方形放置於大正方形內；兩者共面，且接觸處相互絕緣。一均勻磁場 B 垂直於此平面，如附圖所示。若磁場隨時間 t 作均勻變化，求大、小正方形導線的(1)感應電動勢的比值為_____(2)感應電流的比值為_____。【以上均假設感應電流所生的磁場可略】答：(1)2；(2)$\sqrt{2}$



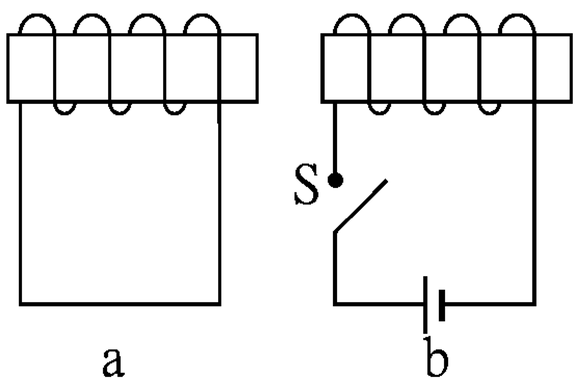
※法拉第電磁感應定律 $\varepsilon = -\dfrac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$ ⇨兩組線圈

例 6.直徑 3.0cm 的長螺線管為 200 圈/厘米，載有 1.5 安培的電流，且於其內又有一直徑 2.0cm，緊密纏繞 100 匝的線圈，兩者沒有接觸，則當螺線管的電流以穩定變率在 0.050 秒內降到零再反向升到 1.5 安培，則(A)當電流為 1.5 安培時，通過內線圈每一匝之磁通量？ (B)內線圈每一匝之磁通量變化量？ (C)內線圈的感應電動勢？答：(A)1.2×10^{-5}weber (B)2.4×10^{-5}weber　(C)4.8×10^{-2}V

例 7.二同軸圓形線圈，相距 10 公尺，大線圈半徑為 0.50 公尺，小線圈半徑 0.050 公尺，今如在大線圈中通以電流，歷時1×10^{-9}秒，達到 10 安培之電流，試問小線圈的平均感應電動勢為_____。答：1.23×10^{-2}V

類 1.一螺線管長爲 1.0 公尺，截面積爲 20 平方厘米，共有 1000 匝。若在 0.0010 秒內其所載電流由 1.0 安培變爲－2.0 安培，則其平均感應電勢之大小爲：(A)$1.2\pi\times10^{-2}$伏特 (B)1.8π伏特 (C)3.6π伏特 (D)$2.4\pi\times10^{-3}$伏特 (E)2.4π伏特 。答：E

類 2.若線圈 b 的開關 S 在接通的 0.001 秒時間內，使得 a 線圈中之磁通量由零增爲6×10^{-4}韋伯，如附圖所示，則 a 線圈的平均感應電動勢爲：(A)0.3 伏特 (B)0.6 伏特 (C)1.8 伏特 (D)3.6 伏特 (E)5.4 伏特 。答：C



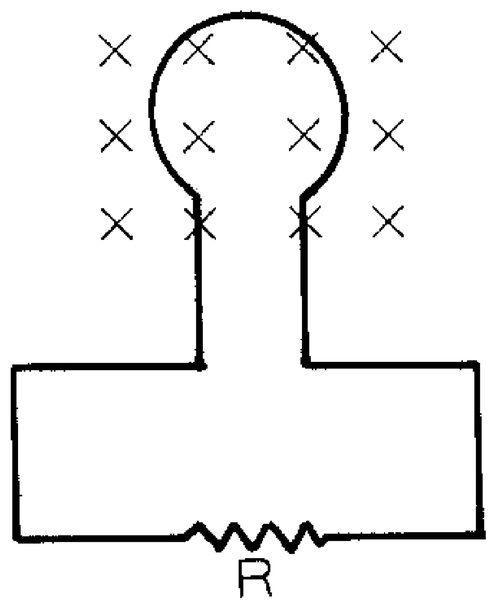
類 3.有一螺線管計 100 匝，長爲 10 公分，截面積爲 5 公分^2，帶電流 0.25 安培。有一「副線圈」計 2 匝，纏繞於此螺線管上。當電鍵打開時，在 0.05 秒之時間內，螺線管中之磁場變爲零，問在此時間內副線圈中之平均感應電動勢爲若干？答：$2\pi\times10^{-6}$ V

類 4.質料相同，粗細一樣二同心線圈，半徑各爲 r_1 及 r_2（$r_2>r_1$），如果只有通過內圈之磁通量發生改變，則以下敘述何者爲真？ (A)二線圈上之電場強度一樣 (B)二線圈上之感應電動勢一樣 (C)內圈上的感應電動勢較外圈上者爲大 (D)二線圈上之電流相等 (E)外圈上之電流小於內圈上之電流。答：BE

吳錫玠物理

※法拉第電磁感應定律 $\varepsilon=-\dfrac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$ ⇨ $\phi_B(t)$

例 8.如右圖所示，垂直穿過線圈面之磁通量乃指入紙面，且磁通量大小隨時間變化關係 $\psi_B=6t^2+7t+1$，其中 ψ 單位為韋伯，t 單位為秒，則 (A)感應電動勢 $\varepsilon=-12t-7$ 伏特(B)感應電動勢 $\varepsilon=6t^2$ 伏特 (C)4 秒末與 9 秒末感應電動勢比為 11:23(D)4 秒末與 9 秒末感應電動勢比為 4：9(E)感應電流方向為逆時針方向。答：(A)(C)(E)



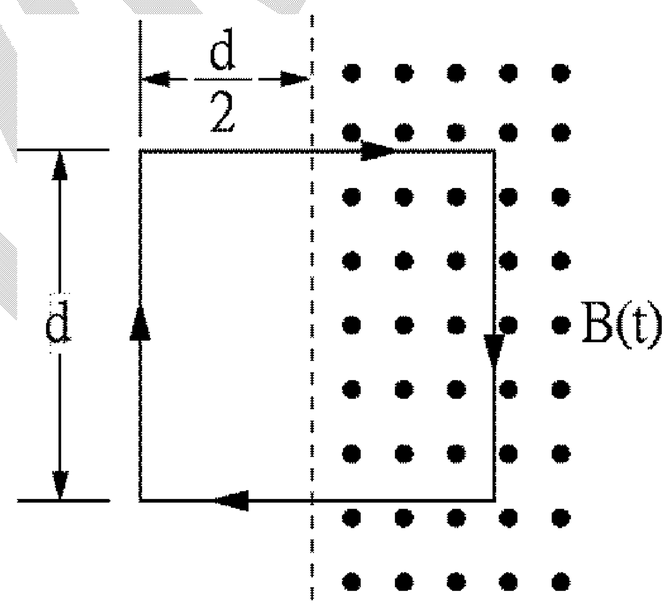
類 1.空間有一磁通量變化，在其外 5m 之圓上一點之電場強度量值為 1nt/coul，則此磁通量之變化率為若干？答：10π 伏特

類 2.有一邊長為 d 的正方形線圈，線圈電阻為 R。線圈內有一半的地方沒有磁場。另一半則有均勻但隨時間 t 而改變的磁場 B(t)。磁場與線圈面垂直，方向為射出紙面，如附圖所示。設 B(t)＝ct，其中 c 為正的常數。

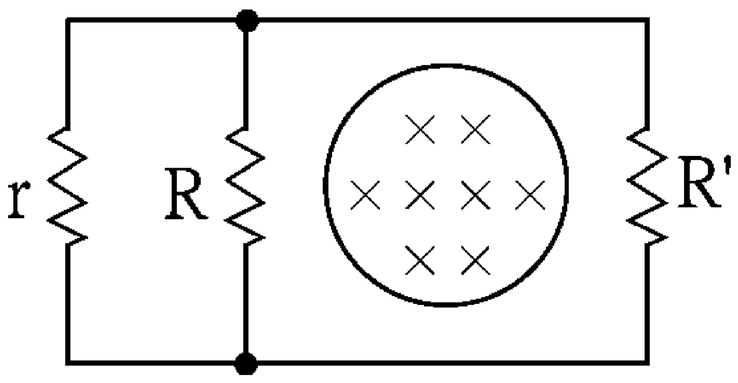
(1)求線圈中感應電流的大小為_____。

(2)線圈所受磁力的方向為_____。

(3)求線圈在 t 時刻所受磁力的量值為_____。答：(1)$cd^2/2R$；(2)向左；(3)$c^2d^3t/2R$



類 3.如附圖所示之線路，三個電阻器之電阻分別為 r、R 及 R'而圓形螺線管之磁場隨時間 t 變化，使通過右邊正方形內部，進入紙面之磁通量為 $\phi_B(t)=At$（A 為正值）。若以 i、I 及 I'分別代表通過 r、R 及 R'的電流，試求：

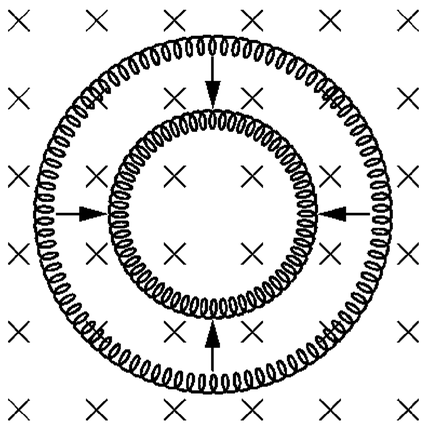


(1)電流比 $\dfrac{I}{i}$ 與 $\dfrac{I}{I'}$

(2)正方形線路上之電動勢 ε 與電流 I'。（答案須給出量值與方向）答：(1)I/i＝r/R，I/I'＝r/r+R

(2) ε＝－A（負號代表逆時鐘方向） $I'=\dfrac{-A(R+r)}{RR'+R'r+Rr}$

類 4.如附圖所示，半徑為 20 厘米之圓形彈簧線圈，其半徑在 0.1 秒內突然縮小為一半，若線圈圈面與均勻磁場垂直，而磁場強度為 2 特士拉，則此瞬間產生於線圈上之感應電動勢為若干伏特？答：1.88V



吳錫玠物理

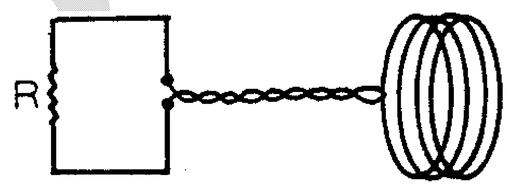
※法拉第電磁感應定律 $\varepsilon=-\dfrac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$ ⇨電量、功率

例 9.有一N匝線圈（無電阻）兩端接一電阻為R之電阻器成一迴路，若在△t時間內每一匝有△φ之磁通量變化量試求：(A)平均感應電動勢 (B)流經電阻器之電流 (C)流經電阻器之電量　(D)線圈中平均功率　(E)線圈所生之熱。

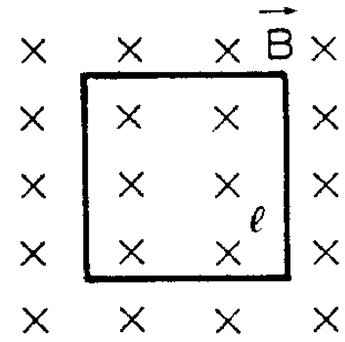
答：(A) $\dfrac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$ (B) $\dfrac{N\Delta\Phi}{R\Delta t}$ (C) $\dfrac{N\Delta\Phi}{R}$ (D) $\dfrac{1}{R}\left(\dfrac{N\Delta\Phi}{\Delta t}\right)^2$ (E) $\dfrac{(N\Delta\Phi)^2}{R\Delta t}$

類 1.在封閉迴路中，磁通量的變化量爲 x，總電阻爲 R，則通過迴路中某截面的電量爲多少？(A)X／R (B)RX (C)X／R^2 (D)R^2X (E)（X／R）^{2} 。答：A

類 2.如右圖所示，共有 N 匝線圈;當通過線圈中之磁通量自 ϕ_1 變爲 ϕ_2 時，流過總電阻爲 R 之電路中的電量爲若干？答：$\dfrac{N(\phi_1-\phi_2)}{R}$



類 3.如圖所示一正方形迴線(每邊長爲 ℓ)置於垂直於紙面向內之均勻磁場 B 中。若此磁場在 t 時間內均勻減少至零時，(1)所生之感應電動勢爲若干？(2)假定迴線之電阻爲 R，則感應電流爲若干？(3)流過迴線截面之電量爲若干？答：(1) $\dfrac{B\ell^2}{t}$ (2) $\dfrac{B\ell^2}{Rt}$ (3) $\dfrac{B\ell^2}{R}$



類 4.一圓迴線全部放置在一均勻磁場內，若磁場強度之增加與時間成正比，下列敘述那幾項是對的？

(A)以右手拇指指向磁場方向，則感應電流是在食指的方向。

(B)感應電動勢與圓迴線半徑平方成正比。

(C)圓迴線半徑增倍時感應電流也增倍。

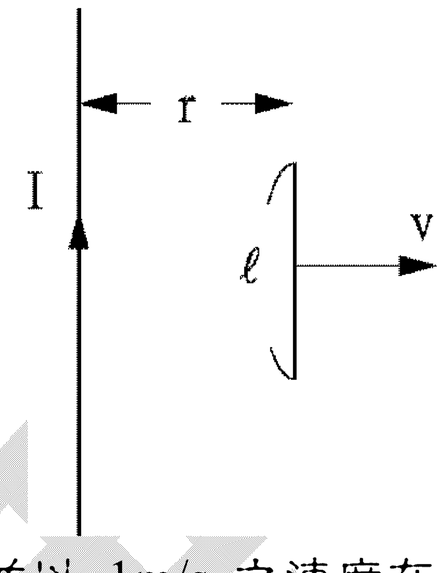
(D)每秒產生的熱與圓迴線半徑成正比。

(E)圓迴線固定時，感應電動勢與時間成正比。答：BC

類 5.一個電阻爲零之 N 匝線圈，兩端接至一電阻爲 R 之電阻器，該一迴路如在 Δt 時間內每一線圈中有 $\Delta\phi$ 之磁通量變化，則在此時間內下列各量之大小（不計正負號）何者爲正確？(A)流經電阻器之電荷爲 $N\dfrac{\Delta\phi}{R}$ (B)平均電流爲 $N\dfrac{\Delta\phi}{R^2}$ (C)平均感應電動勢爲 $N\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$ (D)電阻器共產生熱 $N\dfrac{(\Delta\phi)^2}{R(\Delta t)^2}$ (E)平均消耗之功率爲 $\dfrac{(N\Delta\phi)^2}{R\Delta t}$ 。答：AC

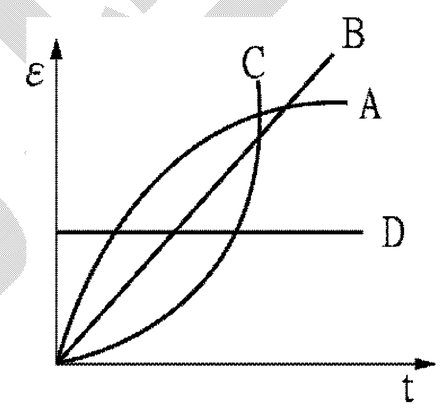
※導線在磁場中運動的感應電動勢⇨ $\varepsilon = LvB$

例 10.如附圖，一長直導線載有電流 I，附近 r 處有一金屬棒長度 ℓ，正以速度 v 垂直導線向外離去，則金屬棒上的瞬時感應電動勢為_____。答：$\dfrac{\mu_o I\ell v}{2\pi r}$



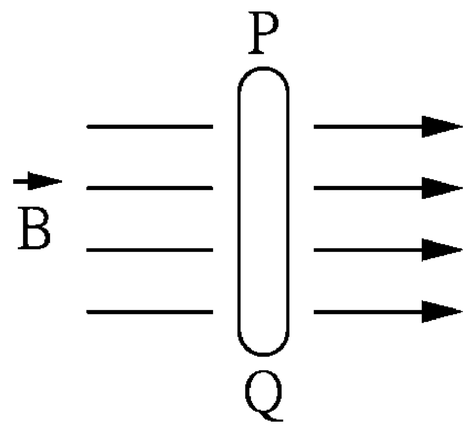
類 1.一直導線長 10cm，置於均勻磁場中，B＝0.5T，軸線與磁場垂直，並以 1m/s 之速度在垂直於磁場及軸線之方向運動，則導線上之感應電動勢爲何？答：0.05V

類 2.使一段直導線自由落下，但導線的方向始終保持和地磁及重力方向垂直，得感應電動勢 ε 與時間 t 之關係，則附圖曲線中何者正確？答：_____。答：B

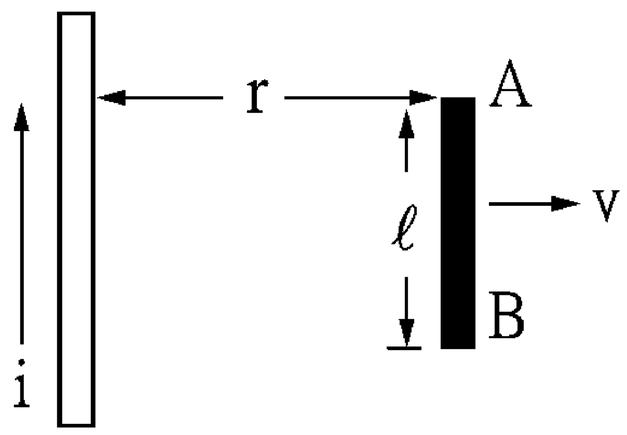


類 3.飛機在磁傾角斜向下的區域向北飛行時，_____機翼的電位較高。答：左

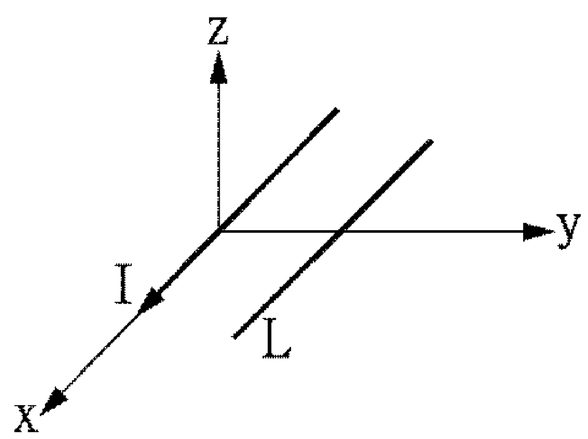
類 4.如附圖，在一向右的均強磁場內，導線 PQ 以垂直進入紙面的方向橫掃磁場，則： (A)P 端的電位較高 (B)Q 端的電位較高 (C)導線內之電場方向爲 $\overrightarrow{QP}$ 向 (D)電子所受電力的方向爲 $\overrightarrow{PQ}$ 向 (E)電子所受磁力的方向爲 $\overrightarrow{PQ}$ 向。答：BCD



類 5.如附圖，一長直導線（載有定值電流 i）附近 r 遠處，有一金屬棒 AB、長度 ℓ，正在以一定的速度 $\vec{v}$，垂直長直導線向外離去，則 A、B 兩端感應電動勢（ε）與距離（r）之關係爲：(A) $\varepsilon \propto r^2$ (B) $\varepsilon \propto r$ (C) ε 爲常數 (D) $\varepsilon \propto \dfrac{1}{r}$ (E) $\varepsilon \propto \dfrac{1}{r^2}$。答：D

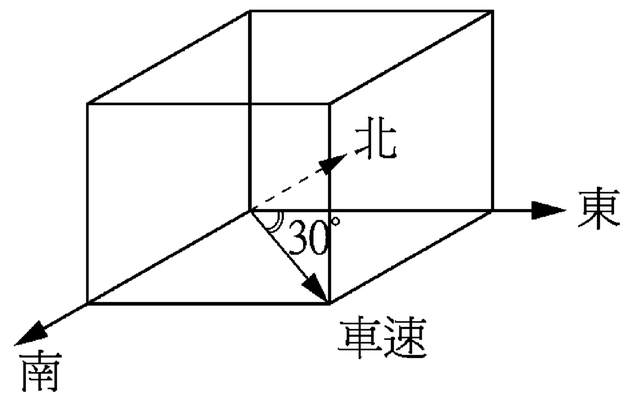


類 6.如附圖，x 軸上有一無限長之導線，其上有電流流向 x 的正向，另一段導線 L，置於 y＝1 的直線上，則下列何種情況，可以使 L 上產生感應電動勢？ (A) L 導線繞 x 軸作圓運動 (B) L 導線朝 x 軸的正向作等速度運動 (C) L 導線朝 y 軸的負向作等速度運動 (D) L 導線朝 x 軸的正向作等加速度運動。答：C

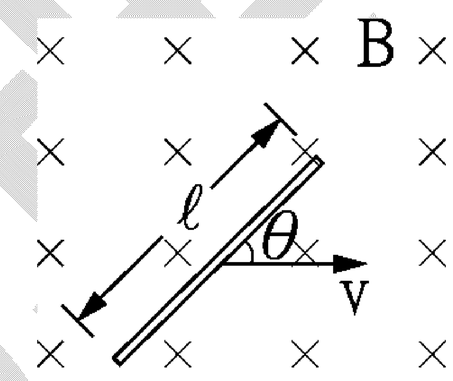


※導線在磁場中運動的感應電動勢⇨ $\varepsilon = \vec{L}\cdot\vec{E} = \vec{L}\cdot(\vec{v}\times\vec{B})$

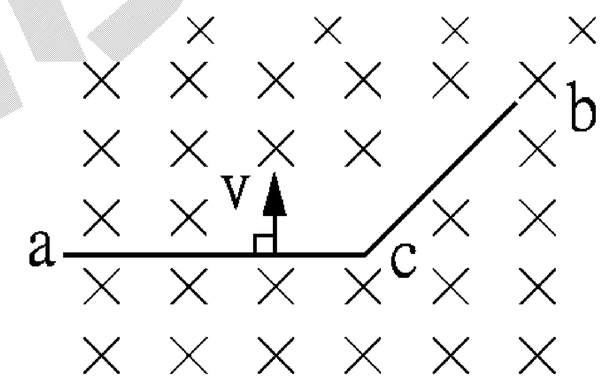
例 11.汽車在強度 10^{-2} 特士拉之均勻磁場中以 20 米／秒向東偏南 30°之方向行駛，若磁場方向向北方，則車頭一根長 1 米與鉛直線夾 30°角之天線兩端產生之感應電動勢值 ε 為_____伏特，其方向向_____。答：0.15，上



類 1.如附圖所示，均勻磁場垂直指向紙面，其大小為 B＝1.0 韋伯／平方公尺。有一長為ℓ＝2.0 公尺的導線在磁場中以 v＝10 米／秒的速度向右運動，導線與運動方向的夾角 θ＝53°，且維持不變，則導線中的感應電動勢為： (A)20 伏特 (B)16 伏特 (C)12 伏特 (D)8.0 伏特 (E)14 伏特。答：B



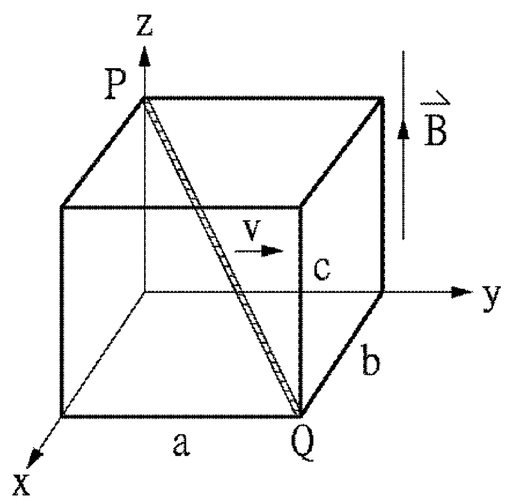
類 2.附圖有一金屬棒 ab，總長度為 l，在其中點 c 處彎成∠acb＝120°，使棒在均勻磁場 B 中，沿著垂直磁場方向以速度 v 作等速度運動，ab 的感應電動勢為_____。答：$\frac{3}{4}lvB$



類 3.在均勻磁場中移動長為 20 厘米的直導線，已知磁感應強度 B＝0.1 特士拉，導線與磁場方向成 30° 角，為了使導線兩端產生的電動勢每秒鐘增加 0.1 伏特，那麼移動導線的最小加速度為_____米/秒。答：10

類 4.在磁傾角 60° 的某地，地磁強度為 B，有一東西向水平放置的導線長度 L，從空中自由落下，t 秒末的瞬間，導線兩端的電位差為： (A)BLgt (B)$\frac{1}{2}$BLgt (C)$\frac{\sqrt{3}}{2}$BLgt (D)$\frac{1}{\sqrt{2}}$BLgt (E)2BLgt 。答：B

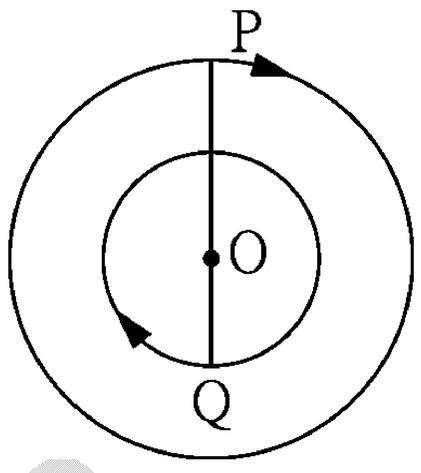
類 5.PQ 為一細導線，以 v 等速向＋y 軸方向運動，均勻磁場 B 為＋z 軸方向，如附圖，則導線上的感應電動勢為多少？ (A)vaB (B)vbB (C)vcB (D)0 。答：B



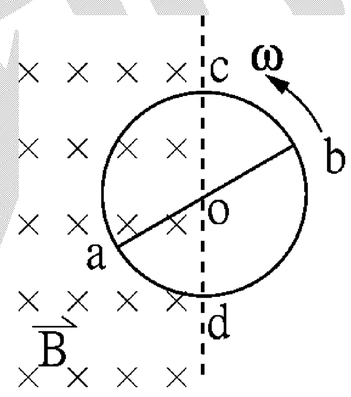
類 6.某地的均磁強度為 B，方向水平向北，有一東西向且水平的導線長度為 L，沿斜角 30° 的光滑斜面下滑，t 秒末導線兩端的感應電動勢為： (A) $BLgt$ (B) $BLgt/2$ (C) $BLgt/4$ (D) $\sqrt{3}BLgt/4$。答：C

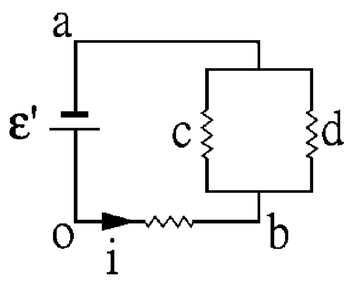
吳錫玠物理

※導線在磁場中運動的感應電動勢⇨轉動

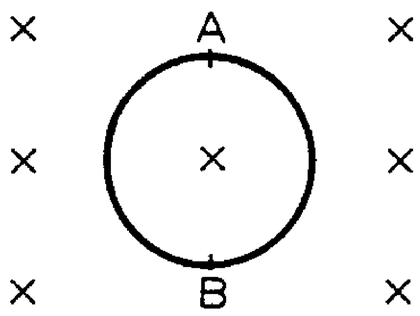


例 12.在一均勻磁場中，有一長為 $\frac{3}{2}l$ 的金屬直棒 POQ，以 O 為圓心，垂直於磁場，以等角速度 ω 旋轉。若 OP＝ℓ，OQ＝$\frac{\ell}{2}$，則： (A)OP 間的感應電動勢為 $\frac{1}{2}\ell^2\omega B$ (B)OQ 間的感應電動勢為 $\frac{1}{8}\ell^2\omega B$ (C)QP 間的感應電動勢為 $\frac{5}{8}\ell^2\omega B$ (D)QP 間的感應電動勢為 $\frac{3}{8}\ell^2\omega B$ (E)若 OQ 長變為 ℓ，OP 仍為 ℓ，則 QP 間的感應電動勢為 $\ell^2\omega B$。答：ABD



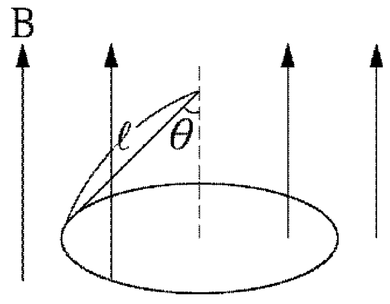


類 1.半徑 R＝0.1m、電阻 0.4Ω的圓形線圈上，固定有通過圓心 o、電阻 0.1Ω的導體棒 $\overline{ab}$，設法使線圈以角速度 ω＝100 rad/s 繞 o 均勻轉動，求(1)當 ao 進入強度 0.2T 的均勻磁場 $\vec{B}$ 後，其感應電動勢如何？(2)此時通過 $\overline{ob}$ 的電流如何？答：(1) 0.1 伏特，方向由 a 到 o；(2) 0.5A

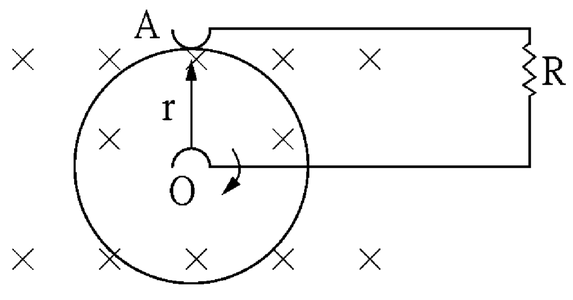


類 2.如圖一空心圓環在強度 B 之均勻磁場中繞圓心等速轉動，則其在直徑兩端 A、B 之電位差為何？答：0

類 3.一金屬螺旋槳旋轉時，其半徑為 R，在磁傾角(地磁 $\vec{B}$ 方向與水平方向之夾角)為 θ 處，以頻率 f 水平旋轉，則槳之尖端與軸間之感應電動勢為何？答：$\pi BR^2 f\sin\theta$



類 4.一金屬棒 ℓ，以一端為軸，使棒作與鉛直夾 θ 角的圓錐轉動，角速率 w，若空間有一均勻鉛直向上的磁場 B，則棒兩端的電動勢為_____。答：$(Bw\ell^2\sin^2\theta)/2$

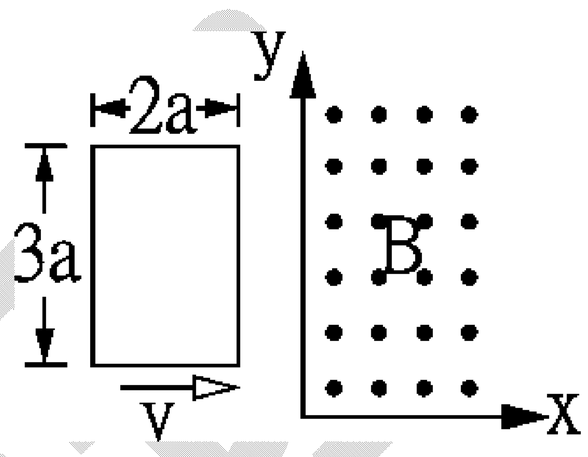


類 5.如附圖，一圓形銅板半徑為 r，有垂直於板的均勻磁場 B，板以頻率 f 繞過圓心 O 且平行磁場之軸旋轉，求(1)通過 R 之電功率；(2)轉動圓板所需之功率。答：(1) $\frac{\pi^2 r^4 f^2 B^2}{R}$；(2) $\frac{\pi^2 r^4 f^2 B^2}{R}$

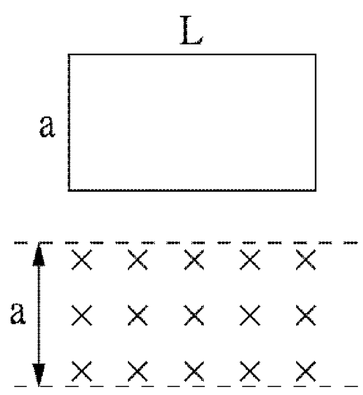
吳錫玠物理

※導線在磁場中運動的感應電動勢⇨線圈面進出磁場

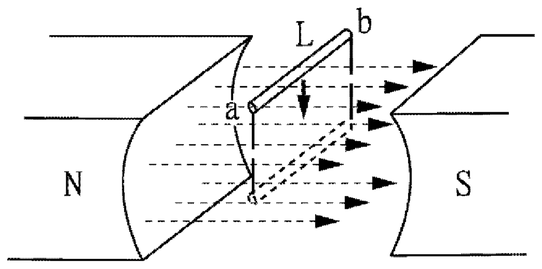
例 13.在 x＞0 的空間有一朝 z 方向(垂直射出紙面)的均勻磁場 B，在 x＜0 的空間則無磁場。在 xy 平面上有一長方形線圈，長與寬分別為 3a 及 2a，線圈之電阻為 R。如線圈以等速 v，平行於 x 軸的方向，由無磁場區進入磁場區(如附圖所示)，則下列敘述何者為正確？ (A)當部分線圈進入磁場區域時，線圈內的電流是順時鐘方向 (B)當線圈有電流時，電流的量值為 $\frac{3aBv}{R}$ (C)當線圈有電流時，須有量值為 $\frac{6a^2B^2v}{R}$ 朝正 x 方向之外力，作用於線圈上，線圈才能維持等速運動 (D)當線圈有電流時，線圈消耗之電功率為 $\frac{9a^2B^2v^2}{R}$ (D)線圈由無磁場區完全進入磁場區之過程中，線圈產生之熱能為 $\frac{18a^3B^2v}{R}$。答：ABDE



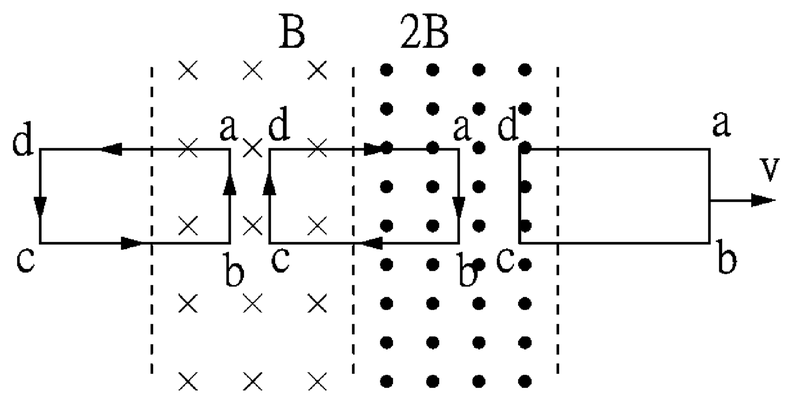
類 1.電阻爲 R 的矩形導線框，長邊爲 L，短邊爲 a，質量爲 m。今自某高度自由落下，通過一均勻磁場，磁場方向垂直紙面向內，如附圖所示，若磁場寬度爲 a，導線框恰好以等速通過磁場，則框中產生的熱爲多少？(A)mga (B)mgL (C)2mga (D)$2mga^2$／L (E)mgL^2／a 。答：C



類 2.一根導線長 L，由磁場上緣鉛直自由落入一均勻水平磁場 B 中，如附圖所示，則：
(1) t 秒末（尚未離開磁場）導線上的感應電動勢爲_____。
(2)承上題，哪一端的電位較高？_____端（填 a 或 b）。答：(1) LBgt；(2) a

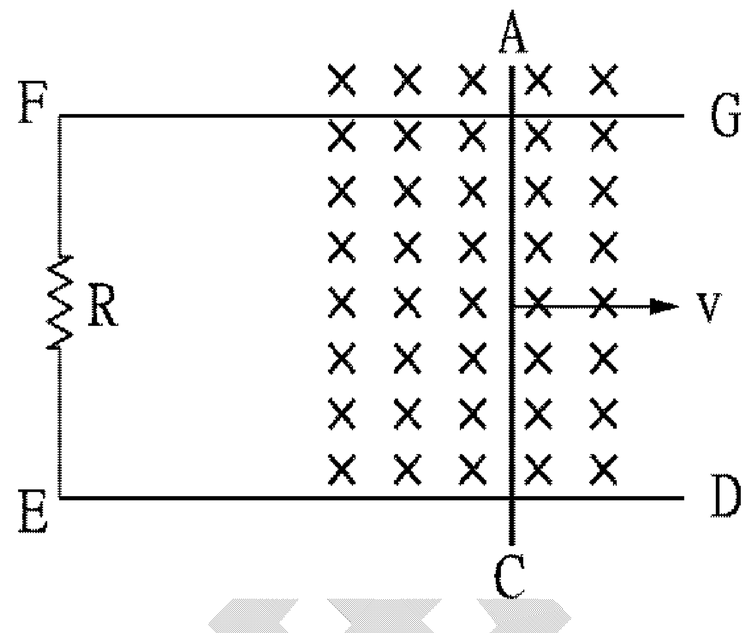


類 3.電阻 R 之長方形線圈長度爲 L，寬度爲 ℓ，垂直於 ℓ 之方向維持以 v 的等速度進出強度分別爲 B、2B 的均勻磁場。B 垂直紙面向內，範圍寬爲爲 L；2B 垂直紙面向外，範圍寬度爲 L，如圖所示，ℓ 與磁場界平行，線圈面與磁場垂直，時刻 t=0 時，線圈前邊剛進入磁場 B 邊界，則下列敘述何者正確？ (A)0＜t＜$\frac{L}{v}$ 期間，感應電流爲 $\frac{\ell Bv}{R}$ 逆時鐘方向 (B)$\frac{L}{v}$＜t＜$\frac{2L}{v}$ 期間，感應電流爲 $\frac{3\ell Bv}{R}$ 順時鐘方向 (C)$\frac{L}{v}$＜t＜$\frac{2L}{v}$ 期間，線圈的電功率爲 $\frac{9\ell^2B^2v}{R}$ (D)$\frac{2L}{v}$＜t＜$\frac{3L}{v}$ 期間，線圈所受磁力爲 $\frac{2\ell^2B^2v}{R}$ 向左 (E)爲維持線圈等速運動，施於線圈的外力須爲一定力。答：ABCD

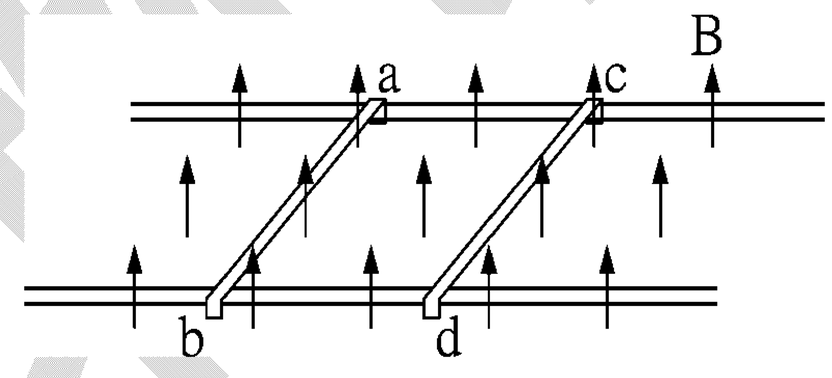


※導線在磁場中運動的感應電動勢⇨滑軌

例 14.設有一導線 AC 以 v 之固定速率在金屬軌道 DEFG 上向右滑動，通過一均勻磁場 B。(如附圖)設電路 ACEFA 只有 EF 段有電阻 R，則在導線 AC 通過此均勻磁場之期間內，下列物理量中有哪些是與 v 成正比的？ (A)導線 AC 中之電流 (B)磁場作用於導線 AC 之力 (C)電阻 R 中所產生之總熱能 (D)電路 ACEFA 中所消耗之電功率 (E)電路 ACEFA 中所消耗之總電功。答：ABCE



類 1.如附圖所示，兩水平平行軌道相距 ℓ，強度 B 的均勻磁場垂直軌道面向上，兩條材料相同的金屬導線 ab，cd 分別跨在軌道上，若 ab 及 cd 之速度大小各為 v、2v，則下列敘述何者正確？ (A)若 ab，cd 均向右運動，則迴路感應電動勢為 ℓBv (B)若 ab，cd 均向左運動，則迴路感應電動勢為 ℓBv (C)若 ab 向右運動，cd 向左運動，則迴路感應電動勢為 3ℓBv (D)若 ab，向左運動，cd 向右運動，則迴路感應電動勢為 3ℓBv (E)若 ab，cd 均向右運動，產生的感應電動勢方向與 ab 向左，cd 向右運動所產生者方向相同。答：全



類 2.右圖中，ℓ =2.0 公尺，v=0.50 公尺/秒，磁場 B=6.0×10^{-5} 牛頓/安培-公尺，電路 ABCD 之電阻 R=1.2×10^{-5} 歐姆，則：

(1)電路中的感應電動勢為若干？

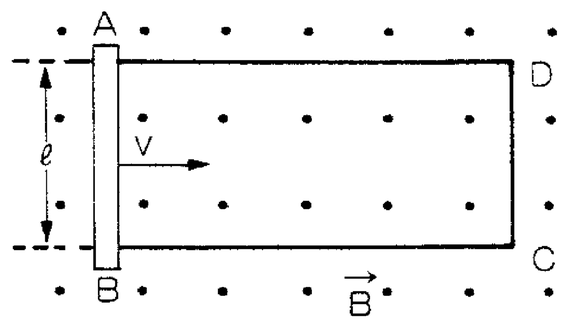
(2)導線 AB 中之電場強度為若干？

(3)導線中電流及方向如何？

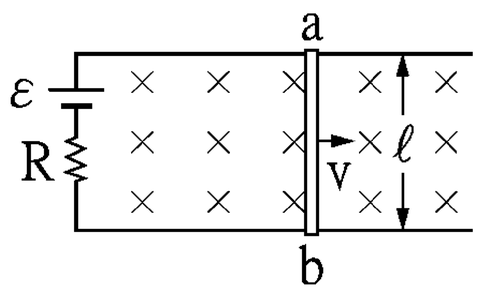
(4)保持導線以此速度運動，所需外力量值為若干？

(5)外力對此導線作功之功率為若干？

(6)電能變為熱能之功率為若干？答:(1)6.0×10^{-5}V;(2)3.0×10^{-5}V/m;(3)5A，A 向 B;(4)6.0×10^{-4}N；(5)3.0×10^{-4}W；(6)3.0×10^{-4}W

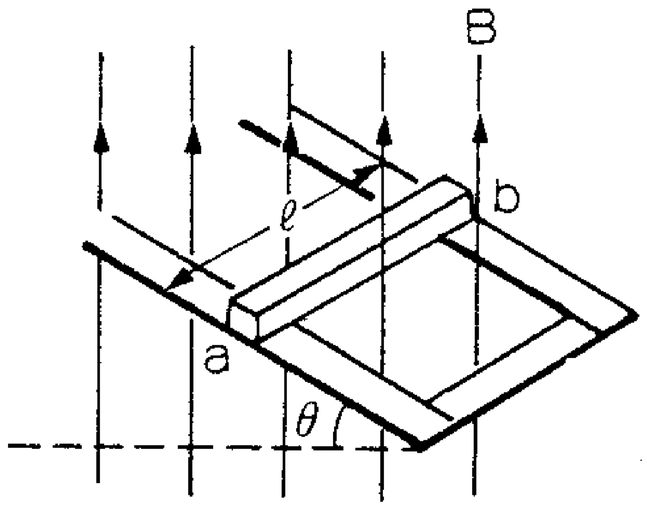


類 3.在一水平面上有兩條平行金屬軌道，相距 ℓ。兩軌道間有朝下之均勻磁場 B。一金屬棒 ab 跨在兩軌道間可左右運動。一電阻 R 及一電動勢為 ε 之電池連接兩軌道與金屬棒 ab 形成一電路，如附圖所示。金屬軌道及金屬棒之電阻均可忽略，電路中電流產生的磁場也可以忽略，當金屬棒以速度 v 向右運動時，電阻內消耗的電功率為_____。答：$\dfrac{(\varepsilon - lvB)^2}{R}$



※終端速度

例 15.角柱形銅條質量為 m，電阻為 R，長度為 ℓ，水平放置在傾斜角度為 θ 的兩平行軌條上如右圖所示，軌條相距為 ℓ，光滑無摩擦力，有鉛直向上之磁場作用於此區域，則此銅條滑下之最大速率為若干？答：$\dfrac{mgR\sin\theta}{\ell^2B^2\cos^2\theta}$



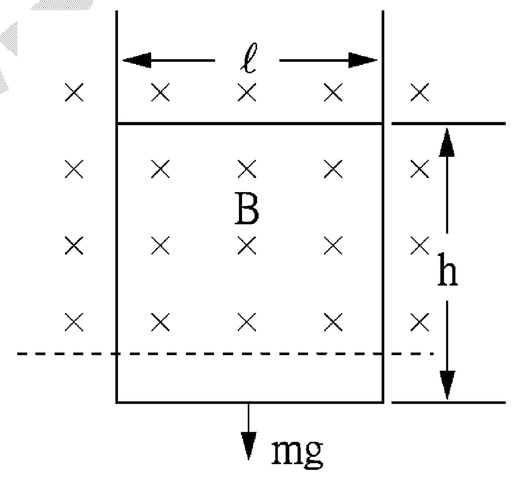
類 1.一長方形金屬線圈，寬度為 l，高度為 h，質量為 m。線圈之上端在一均勻磁場區內，磁場之量值為 B，方向為垂直進入紙面；線圈之下端則在磁場區外，如附圖所示。線圈受重力之作用而向下運動，設線圈之電阻為 R，在線圈之瞬間速率為 v 時，計算

(a)線圈內之感應電動勢 ε 的大小及方向（註明方向是順時鐘或逆時鐘）。

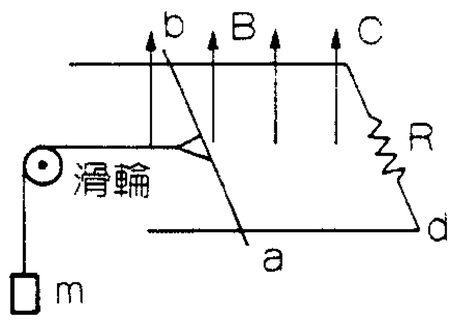
(b)線圈消耗之電功率 P。

(c)線圈之瞬時加速度 a（朝下為正）。

(d)在線圈上端末離開磁場區前，此線圈之速率最後會趨近於一定值 V_T，求 V_T。答：(a) ℓvB，順時鐘方向；(b) $\ell^2v^2B^2/R$；(c) $g-\dfrac{\ell^2vB^2}{mR}$（向下）；(d) mgR/ℓ^2B^2



類 2.右圖中，於鉛直向上之均勻磁場 $\vec{B}$ 中短導線 ab 長度為 ℓ，受鉛直懸掛質量 m 之作用，沿水平軌道向左自靜止開始移動，若短導線質量可予忽略，全部迴線電阻可視為 R。當短導線維持等速度移動時 (A)感應電流沿逆時鐘方向 (B)短導線上 a 端電位較高 (C)迴線上電流為 $\dfrac{mg}{\ell B}$ (D)短導線速度為 $\dfrac{mgR}{\ell B}$ (E)生熱功率 $\dfrac{m^2g^2R}{\ell^2B^2}$。答：(C)(E)

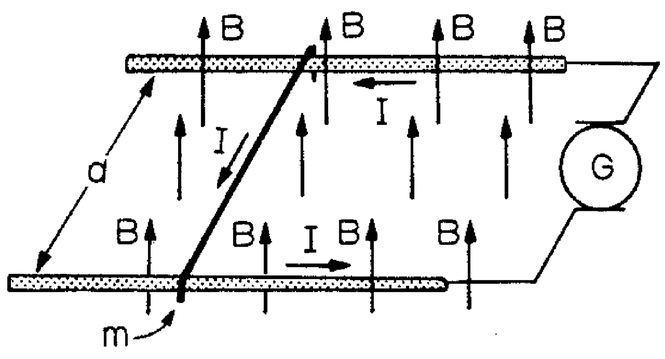


類 3.右圖表一發電機 G 與一對相距為 d 的平行軌條相聯結。軌條無摩擦亦無電阻，有一金屬線質量為 m，電阻為 R，橫跨於軌條上。全體置於均勻向上的磁場 B 中，則：

(1)由發電機 G 內流出穩定電流 I，沿一軌條經金屬線至另一軌條。當 t=0 時，金屬線為靜止。試求 t 秒後的金屬線速度。

(2)若發電機之 ε 保持不變，導線之終端速度為若干？

(3)同(2)，當金屬線達到終端速度後，電流為若干？ 答：(1) $\dfrac{IdBt}{m}$；(2) $\dfrac{\varepsilon}{dB}$；(3)0



21-3 發電機

一、意義：利用電磁感應產生電流(即將力學能轉換成電能的裝置)。

二、構造：(如下圖)

1.場磁鐵：產生磁場的裝置。

2.電樞：產生感應電流的轉動線圈。

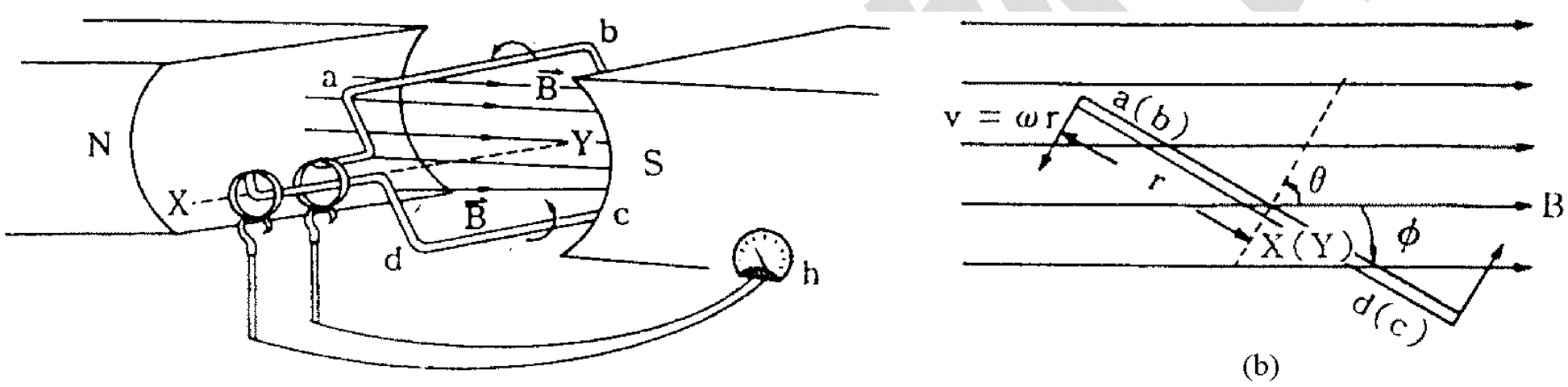
3.匯電環(或集電環)：導出電流的金屬環，並與電樞之線圈一齊轉換。

4.電刷：電流由此輸送至外線路。

三、原理：應用電磁感應原理，使線圈在磁極間迅速運動，而產生感應電流。

1.交流電發電機：

設矩形迴線 **abcd** 共有 **N** 匝，長 **L**，寬 **2r**，面積 **A＝2Lr**，在磁場 **B** 中以頻率 **f** 繞軸 **XY(**角速率 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=2\pi f$**)**轉動。當線圈轉動時，其兩端各與一環形線圈保持接觸以輸出電流，而線圈面的法線與 **B** 方向的夾角為 θ，如圖所示。



(a)　　(b)

沿(a)圖中的XY方向觀察線圈

(1)感應電動勢：

※因 **ab** 及 **cd** 邊的切線速率 $v=r\omega$，故感應電動勢其值均相等為

$\varepsilon_{ba}=\varepsilon_{dc}=LvB\sin\theta=L(r\omega)B\sin\theta=Lr\omega B\sin\theta$

而 **ab** 及 **bc** 邊導線的自由電子因不受沿 **ad** 及 **bc** 邊方向的磁力作用，自由電子由 **a** 移至 **d** 或由 **b** 移至 **c** 均不作功，故在線圈繞 **OO'**軸轉動時，該兩邊無感應電動勢。

※又 ε_{ba} 與 ε_{dc} 可視為串聯，故一匝線圈的電動勢為

$\varepsilon_1=\varepsilon_{ba}+\varepsilon_{dc}=2Lr\omega B\sin\theta$　但 $2Lr=A$ 且 $\theta=\omega t$

$\Rightarrow \varepsilon_1=A\omega B\sin\theta=A\omega B\sin\omega t$

今有 **N** 匝線圈總電動勢 $\varepsilon=N\varepsilon_1=NA\omega B\sin\theta=Na\omega B\sin\omega t$

註：上式亦可由下列方法推導之：

設時間 $t=0$ 時 $\theta=0$，即線圈面與磁場 $\vec{B}$ 垂直

則時間 $t=t$ 時 $\theta=\omega t\Rightarrow$ 磁通量 $\psi_B=BA\cos\theta=BA\cos\omega t$

$$\therefore \varepsilon=-\frac{d\phi_B}{dt}=-N\frac{d}{dt}(BA\cos\omega t)=NA\omega B\sin\omega t$$

(2)當迴線面的法線與磁場 $\vec{B}$ 的夾角為 θ 時的瞬間：

a.感應電動勢 $\varepsilon=BA\omega\sin\theta$。

b.通過圈面的磁通量 $\psi_B=BA\cos\theta$。

(3)當迴線面與磁場$\vec{B}$的夾角為ψ時的瞬間：

a.感應電動勢$\varepsilon = BA\omega\cos\psi$。

b.通過圈面的磁通量$\psi_B = BA\sin\psi$。

(4)最大感應電動勢$\varepsilon_{max} = NAB\omega = 2\pi NABf$　**(**當線圈面與磁場平行時**)**

(5)因線圈轉動時，集電環亦隨著轉動，電樞在磁極間每轉半周，應電流的方向變更一次，所以輸出的電流方向是交替的，稱為交流電。

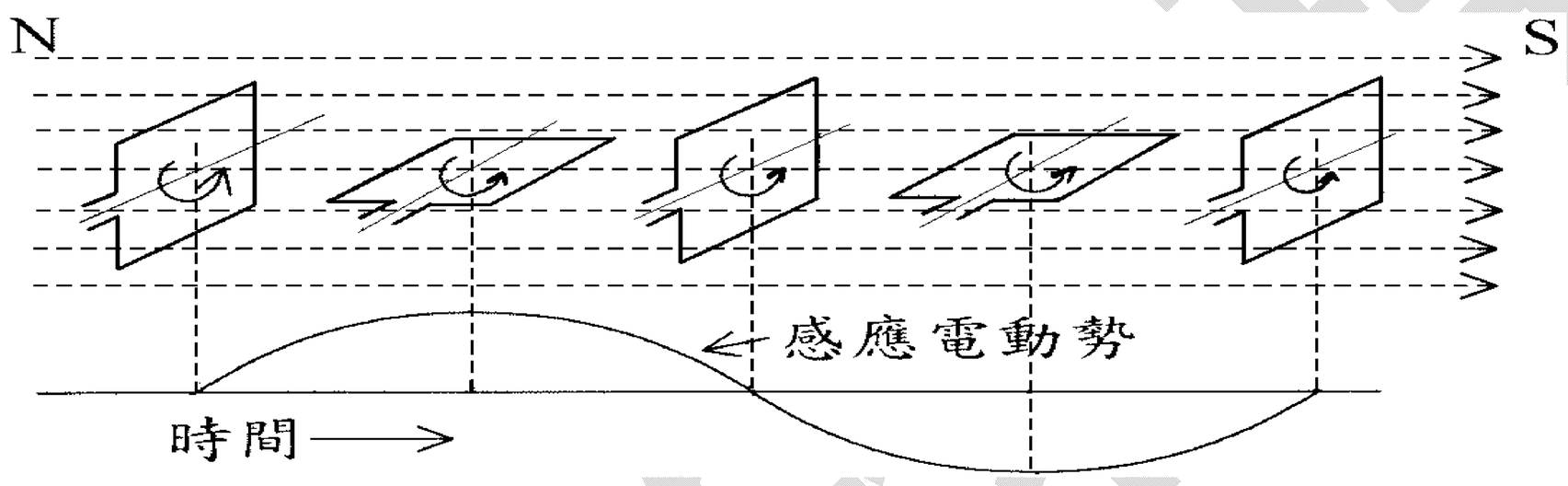
(6)當$\theta = 0^o$，180^o時**(**線圈面與磁場垂直時**)**

～～通過線圈的磁通量最大**(**$\psi_B = BA$**)**，感應電動勢為最小**(**$\varepsilon = 0$**)**。

(7)當$\theta = 90^o$，270^o時**(**線圈面與磁場平行時**)**

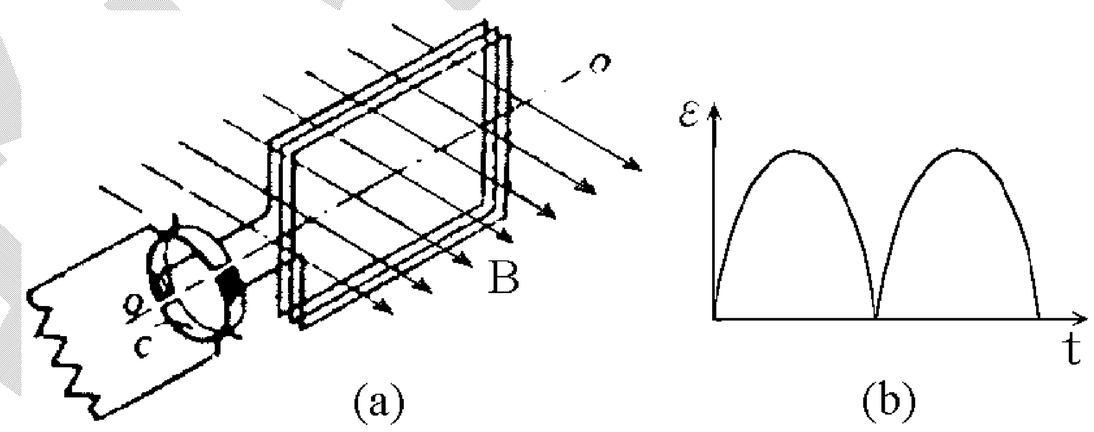
～～通過線圈的磁通量最小**(**$\psi_B = 0$**)**，感應電動勢最大**(**$\varepsilon = NAB\omega$**)**。

(8)當迴線圈的圈面與磁場方向垂直時，電流方向將改變**(**交流電**)**。



2.直流發電機：

將交流發電機的兩圓形金屬匯電環，換以彼此絕緣的二半圓形金屬環時**(**即整流環**)**，如圖**(a)**所示，當電樞每轉半週，電流方向改變時，電樞兩端和金屬刷接觸的半環恰好互換位置，如此由金屬刷輸出的電流，其方向固定不變**(**但電流大小會隨著時間而變更**)**，稱為直流電，如圖**(b)**所示。



註：**(a)**電解、電鍍、蓄電池的充電等，都用直流電。由乾電池、蓄電池供給的電都是直流電。

(b)日常電燈、電熱器、電動機都是用交流電。臺灣電力公司所供給的電是交流電的。

(c)直流發電機之感應電動勢為$\varepsilon = \varepsilon_o \left| \sin\omega t \right|$　　**(**$\varepsilon_o = NA\omega B$**)**

四、發電機與電動機之比較：

	發電機	電動機
功用	力學能轉換成電能	電能轉換成力學能
構造	場磁鐵、電樞、集電環	與發電機相似
作用	由磁場變化產生應電流	由電流產生磁場
原理	電磁感應	電流的磁效應
種類	交流與直流兩種	交流與直流兩種
定則	由「夫來明右手定則」或「冷次定律」以決定感應電流的方向。	由「夫來明左手定則」或「右手掌定則」以決定導線運動的方向。

※發電機的原理與特性

例 16.下列何者可增大均勻磁場中轉動線圈的感應電動勢？ (A)增加線圈的匝數N (B)增大磁場強度B，即使用較強的場磁鐵 (C)以較快的速率(ω)轉動線圈 (D)用面積較大的線圈。(E)增大集電環之半徑。答：ABCD

類 1.直流發電機和交流發電機電樞（即導線圈部分）上所生的電流方向 (A)固定不變 (B)每轉動半週都改變一次 (C)直流發電機改變，交流發電機不變 (D)直流發電機不變，交流發電機改變 (E)每轉動一週都改變一次。答:B

類 2.直流發電機：

(A)和交流發電機原理相同，主要差別是輸出裝置不同。

(B)集電環是兩個半圓形互相絕緣的銅環。

(C)產生的電流方向不變。

(D)產生的電流其振幅與交流發電機者相同。

(E)可用兩組互成 90°或三組互成 60°之線圈，產生的電流可更接近於平穩狀態。答：全

類 3.一線圈以與均勻磁場垂直之軸轉動，則：

(A)當圈面與磁場垂直時，感應電動勢最大。

(B)當圈面與磁場平行時，感應電動勢最大。

(C)當圈面與磁場垂直之瞬時，電動勢方向發生改變。

(D)當通過圈面的磁通量最大時，感應電動勢也最大。

(E)當通過圈面的磁通量最小時，感應電動勢也最小。答：BC

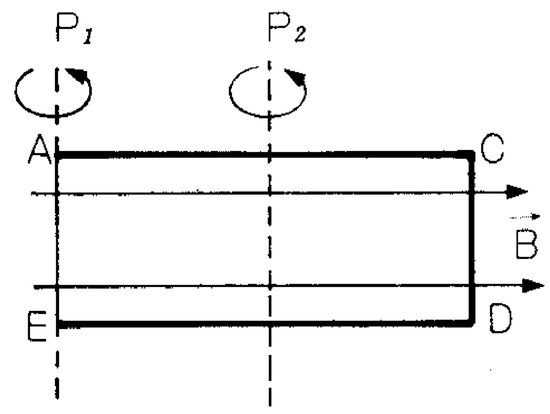
類 4.下列電器中，依據法拉第定律而設計的為： (A)變壓器 (B)電動機 (C)電容器 (D)電磁鐵 (E)電磁爐 。答：AE

類 5.若欲使交流發電機最大電動勢加倍，理論上有哪些方法？ (A)電樞轉動角速度加倍 (B)線圈數目加倍 (C)外加磁場強度加倍 (D)線圈長、寬均加倍 (E)使用變壓器且使副線圈匝數為原線圈二倍。答：ABCE

吳錫玠物理

※瞬時感應電動勢

例 17.右圖所示矩形迴線，係置於一均勻磁場中，



(1)當整個迴線繞 P1 軸旋轉，恰轉至迴線面與書面重合，而 CD 運動方向正進入書面中時，感應電流的流動方向如何？(順時針或逆時針方向)

(2)當轉速一定，繞 P1 與 P2 為軸時，迴線中電流之比是若干？

(3)當轉速一定，感應電動勢與迴線的面積成什麼關係？

(4)設 B=1.5 牛頓/安培-米，AC=10 厘米，CD=4 厘米，當線圈以 60/π r.p.s.繞 P1 旋轉時，所產生最大感應電動勢 ε 是若干？

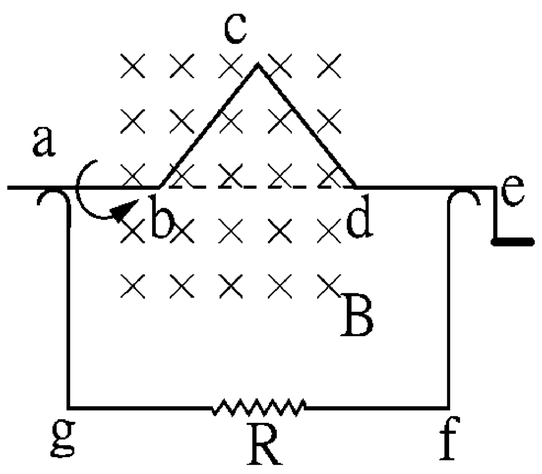
(5)當線圈自與紙面平行旋轉轉入與紙面成 30°時，在該時刻之瞬時間的感應電動勢 ε 是若干？又在該段時距內的平均感應電動勢是若干？

(6)若迴線的電阻是 1 歐姆，應施力若干於迴線 CD 邊方可使其繞 P1 旋轉後所得最大感應電動勢如(4)項所述及？

(7)在(6)項中情形下，CD 邊運動速率是若干？

(8)當電動勢最大時，輸入的功率是若干？消耗變作熱的功率是若干？答：(1)順時針；(2)相等；(3)正比；(4)0.72V；(5)0.62V，0.687V；(6)4.32×10^{-2} 牛頓；(7)12m/s；(8)0.518W

類 1.(1)如附圖中，bcd 三角形導線段在均勻磁場 B（＝0.2 T）中，以 10 rps 的頻率繞 $\overline{ab}$ 軸轉動，R＝100Ω，$\overline{bc}=\overline{cd}=\overline{db}=2$ m，不計任何阻力，則轉動此裝置所需的最大功率為： (A)$0.24\pi^2$ (B)0.24 (C)$0.48\pi^2$ (D)0.48 (E)9.6 瓦特。答：C



(2)感應電動勢最大值為： (A) $2\sqrt{3}\pi$ (B) $4\sqrt{3}\pi$ (C) $2\sqrt{3}$ (D) $4\sqrt{3}$ (E)4 伏特。答：B

類 2.一交流發電機的電樞共有 N 圈（長 a、寬 b），在均勻磁場 B 中，最初圈面與磁場垂直開始轉動，頻率為 f，則：(A)當磁場與圈面的夾角為 α 時，瞬時感應電動勢為 2πNfabBcos α (B)當磁場與圈面法線的夾角為 β 時，瞬時感應電動勢為 2πNfabBsin β (C)當迴線面與磁場平行時，瞬時感應電動勢為 2πNfabB (D)當迴線面法線與磁場平行瞬時感應電動勢為 0 (E)感應電動勢恆為一定值。答：ABCD

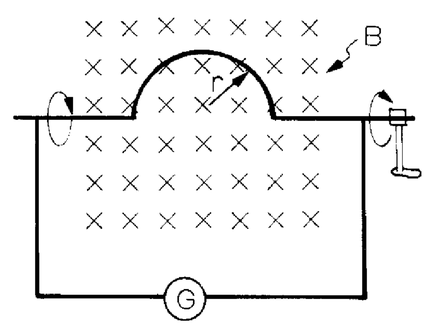
類 3.一質量為 m 的物體，用細繩繞在一台直流發電機的軸上，該發電機的場磁鐵為永久磁鐵。設發電機電樞的總電阻為 R，當物體以速度 v 等速下降時，發電機的電動勢 ε 為_____。

答：$\sqrt{Rmgv}$

※平均感應電動勢

例 18.某交流發電機，在每一象限之轉動中，產生之平均感應電動勢為 ε，則其最大感應電動勢為：　(A) πε　(B) 2πε　(C) $\frac{\pi\varepsilon}{2}$　(D) $\frac{\varepsilon}{2\pi}$　(E) ε。答：C

類 1.如右圖，半徑 r 之半圓形線圈，可藉右側手搖柄處轉動，使線圈在磁場強度為 B 特士拉之均勻磁場中旋轉，電流計 G 之內電阻為 R，若線圈每秒鐘轉 f 圈，試求：



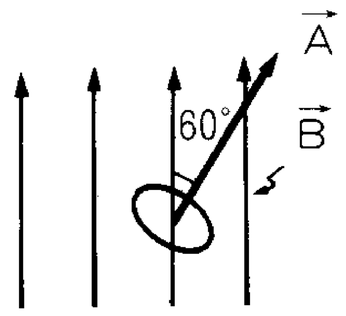
(1)當半圓導線由圖中位置轉 180° 時掃過之磁通量為何？

(2)承(1)，此期間之平均感應電動勢值為何？

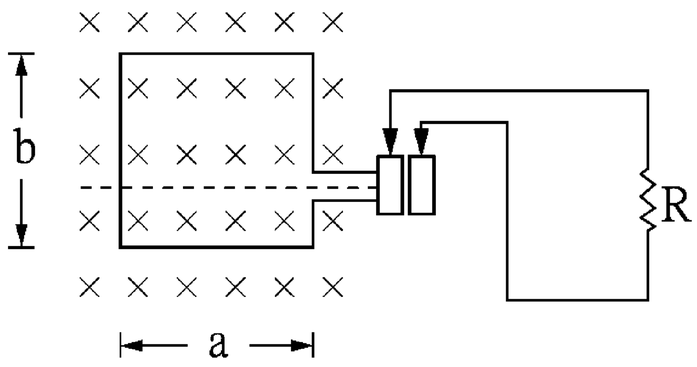
(3)電路其餘部分之電阻可忽略不計時，感應電動勢與感應電流的振幅各為若干？

(4)於右側手搖柄處搖動線圈所需之最大機械功率為何？答：(1) $B\pi r^2$　(2) $2fB\pi r^2$　(3) $\pi^2 r^2 fB$；$\frac{\pi^2 fBr^2}{R}$　(4) $\frac{\pi^4 f^2 B^2 r^4}{R}$

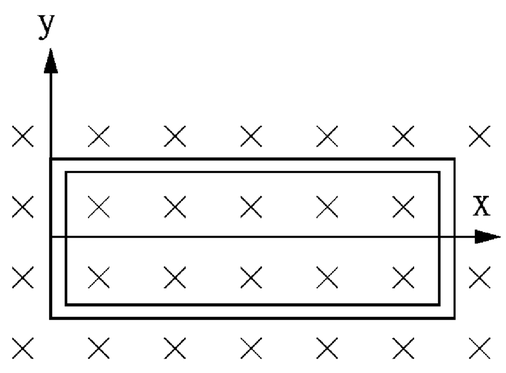
類 2.如右圖所示，一面積大小為 0.01 公尺 ^{2} 的迴路平面上法線與磁場 $\vec{B}$ 之夾角為 60°。若均勻磁場的量值為 1 韋伯/公尺 ^{2}，且在 2 秒內該值直線降至為零，試求在這段時間內迴路的平均感應電動勢大小為若干？答：2.5×10^{-3} V



類 3.如附圖所示，為一發電機之略圖，左側矩形線圈長為 a，寬為 b，在均勻磁場 B 中，以每秒 f 次轉動。當線圈中產生感應電流後，由電刷導出，使之經外電路 R，完成一通路，此發電機所發生之最大感應電動勢為_____，轉動 1/4 周產生感應電動勢之平均值為_____。答：2πfabB，4abfB



類 4.有一均勻磁場，其強度為 B，方向為垂直進入紙面。將面積為 A 之線圈放於紙面上，如圖所示。使線圈繞水平軸 x 轉動 60°，若轉速為 N 轉／秒，則此時間內磁通量之平均變率為_____。答：3NBA

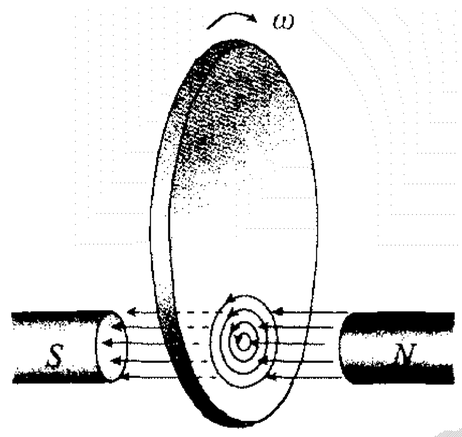


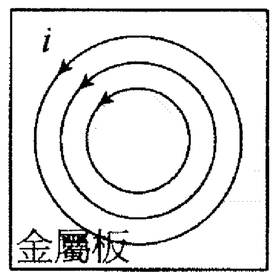
類 5.截面積皆為 A 的線圈共 N 匝，總電阻為 R，連接一檢流計，線圈平面垂直於一均勻磁場 B。在一短時間內，線圈翻轉了 180°，則此段時間內流經此檢流計的電荷 Q 為_____。答：$\frac{2NBA}{R}$

21-4 渦電流(Eddy Current)

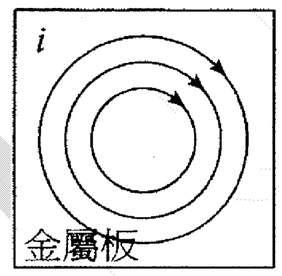
一、變動磁場造成的渦電流

1.當通過金屬面的磁通量發生改變時，按法拉第電磁感應定律知：金屬面會像線圈一般，產生反抗磁通量變化的感應電流。





(a)



(b)

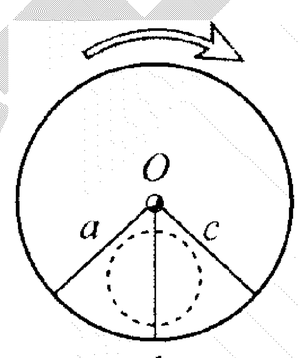
2.右圖**(a)**中，通過金屬板表面的磁場逐漸增強時，板上感應出逆時針方向的電流，以反抗磁通量的增強；

3.右圖**(b)**中，通過金屬板表面的磁場逐漸減弱時，板上則感應出順時針方向的電流，以反抗磁通量的減弱。

4.在上述的情況中，感應電流的流向呈現環狀，故稱此種電流為「渦電流」。

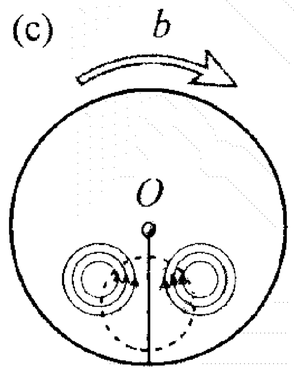
二、金屬局部通過磁場

※除了變動的磁場可以在金屬上造成渦電流外，當導體局部通過磁場時，也會有類似的現象。在右圖**(c)**中，有一個導體圓盤繞著通過**O**點的垂直軸轉動，在圓盤下方的小區域中，有垂直於紙面的磁場通過。



(c)

※考慮 **abc** 三線段的運動，由於 **a**、**c** 兩線段不在磁場中，故兩線段上皆無感應電動勢；但線段 **b** 切割磁力線，其兩端具有感應電動勢，由感應電動勢的公式知：線段 **b** 在靠近圓心 **O** 的一端極性為正，而靠近圓周的一端極性為負，因此感應電流會由線段 **b** 與圓心 **O** 靠近的一端流出，經過磁場外的導線 **a**、**c**，再流回到線端 **b** 靠近圓周的一端，如圖**(d)**所示。由於這樣的感應電流，也呈現環狀，因此也是一種渦電流。

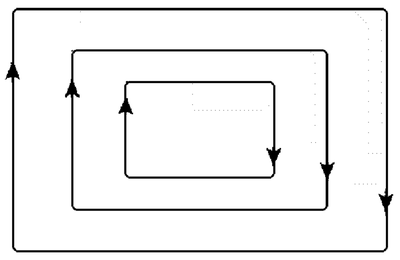


(d)

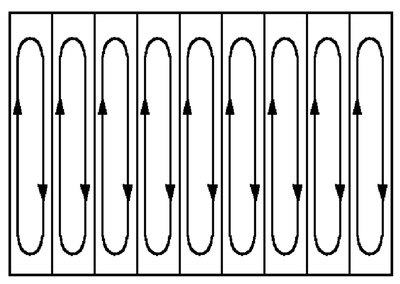
三、降低渦電流的方法

※渦電流的產生，對某些電器而言，例如變壓器，必須盡可能減少，方能減少能量的損失**(**轉換為不必要的熱能**)**。

※右圖為大塊金屬置於變動磁場中，在其橫截面上的渦電流，此渦電流會造成熱消耗**(i^2R)**。



※要減少上述的熱消耗現象，可將大塊金屬，改成由許多片狀的金屬組成，且各金屬片間以導電性極差的物質分開，如右圖所示，如此一來，每一金屬片，由於截面積很小，所造成的感應電動勢、感應電流都變小了，故而其熱損耗也隨之降低了。

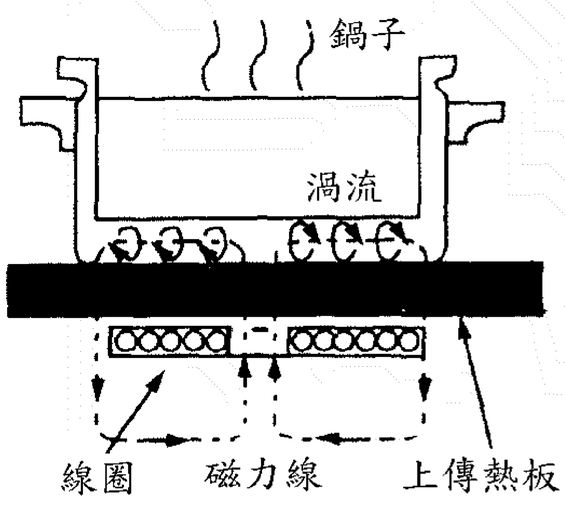


四、渦電流之應用：

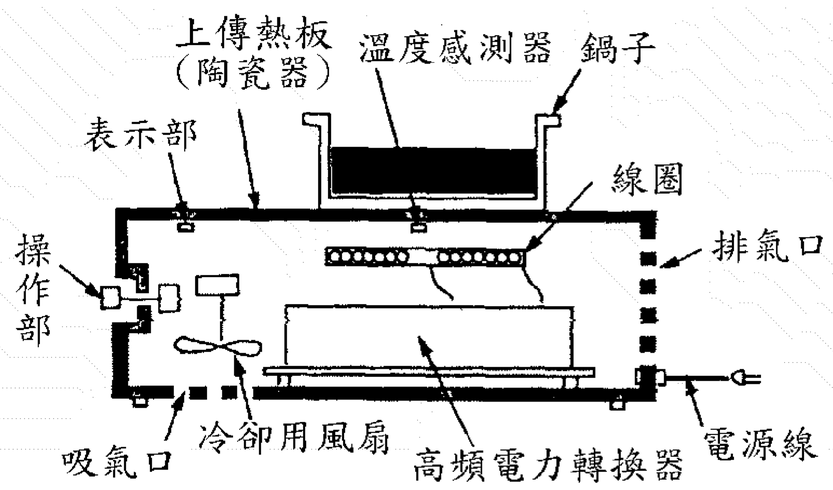
※可應用在磁浮列車。火車之剎車系統部分。半導體之產製與精化。還有電磁爐中渦電流生熱以烹食物。

五、電磁爐：

※電磁爐是能產生高頻率變化電流**(**即高頻率變化磁場**)**以使在其上方所置之鍋底產生渦電流。使鍋底生熱以加熱調理的食物。如左下圖**(a)**為簡單加熱原理，而右下圖**(b)**為電磁爐的整體構造。



(a)



(b)

※關於電磁爐的整個操作過程，可由右上圖**(b)**，當接通電源**(**交流電**)**經高頻電力變換電路，便會將此高頻變化電流送入線圈。再如左上圖**(a)**在此線圈周圍產生磁通量經過鍋底**(**鐵或不銹鋼材料**)**產生渦電流**(**此電流大部分在鍋底表面**)**，再因導體**(**鍋底**)**之電阻而生熱。而生熱多寡之控制可改變線圈上之電流為之。

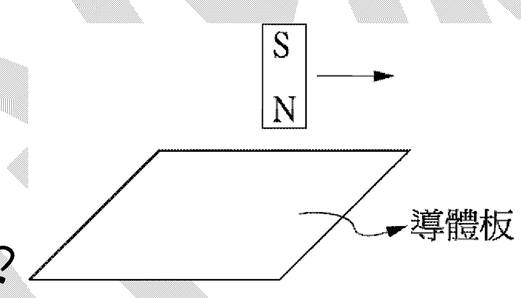
※電磁爐使用之特點：

1.安全無火焰，不必擔心不完全燃燒生成一氧化碳或缺氧，安全性好。

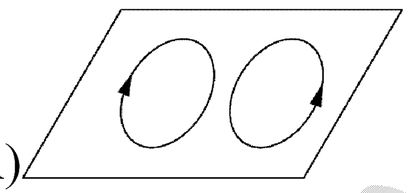
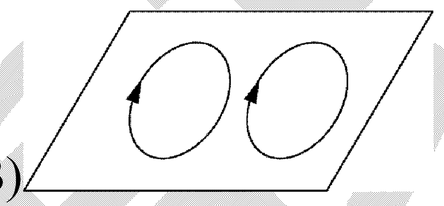
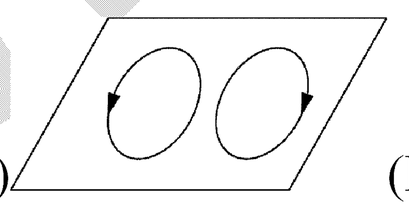
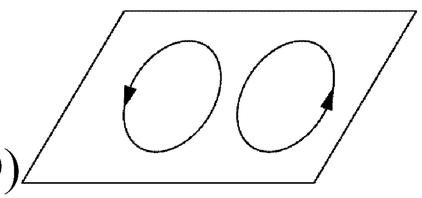
2.因直接對鍋底加熱。故熱效率很高，約達 **83% (**氣體小爐約 **50%**，小電爐約 **56%)**。

3.在使用中如將鍋子拿開「上傳熱板」，會自動停止加熱。因此較不浪費電力。

※渦電流

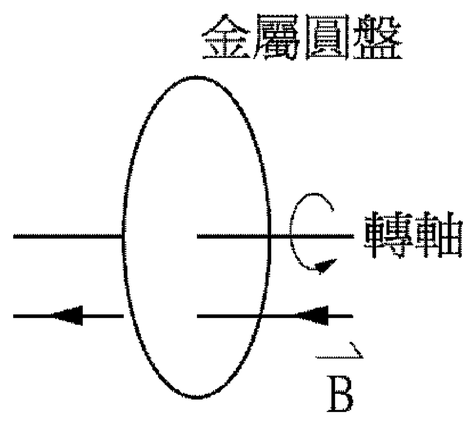


例 19.有關於「渦電流」的產生，下列何者正確？

(A) 
(B) 
(C) 
(D) 
。

答：A

類 1.下列有關「渦電流」的敘述，何者正確？ (A)磁極在導體表面上移動時可以產生渦電流 (B)如附圖，在金屬圓盤轉軸下方有一均勻磁場，當圓盤轉動時，盤上可以產生渦電流 (C)渦電流與一般的電流相同，同樣可以使導體產熱 (D)捷運的剎車系統，是利用渦電流的阻尼作用 (E)金屬片分割的面積愈小，所形成的渦電流愈大。答：ABCD

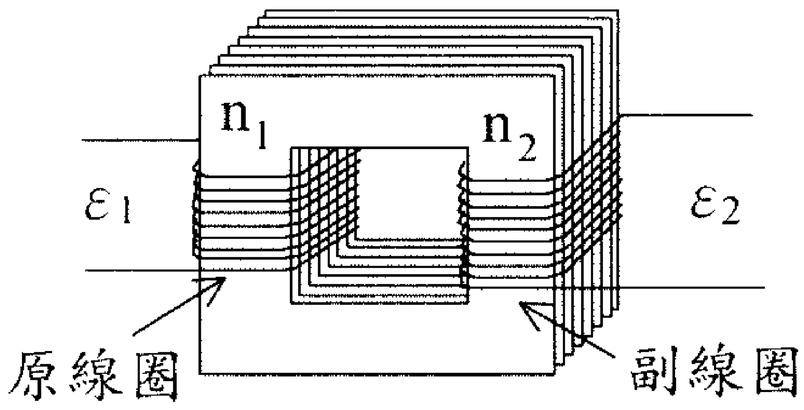


類 2.下列何者可使金屬板上產生渦電流？ (A)有變化的磁通量垂直板面通過金屬板 (B)有變化的磁通量平行板面通過金屬板 (C)有磁棒垂直落下 (D)有磁棒水平掃過 (E)有磁棒靜置其上。

21-5 變壓器

一、變壓器之構造：

變壓器係由兩組匝數不同的線圈纏繞於同一軟鐵心框體而成，如圖。



1.原線圈(或稱主線圈)～～

接受輸入電流的線圈稱為原線圈，與交流電源相連接，利用電流的交互變化，使鐵心內產生交互變化的磁通量。

2.副線圈～～

輸出電流的線圈稱為副線圈，因鐵心內磁通量的變化，生一感應電動勢，用來供應外接的電路使用。

二、變壓器之功用及種類：

變壓器是一種能將交流電的電壓升高或降低的裝置。因而分成升壓變壓器及降壓變壓器兩種。

三、變壓器之原理：依據法拉第定律而設計

1.交流電通過變壓器之原線圈使鐵心磁化，鐵心中之磁通量因交流電作用亦不斷改變，因而通過副線圈之磁通量發生變化而產生感應電流。

註：若原線圈的電阻可忽略不計時，則由於變化的磁通量而在原線圈中自己感應出與交流電源的電壓相等而方向相反的電動勢。

2.理想的變壓器，任一瞬間通過副線圈的磁通量，皆應與原線圈中相同，故二線圈內的磁通量時間變率 $\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t}$ 亦相同，因而每匝線圈中所生的感應電動勢應相等

※設 ε_1：加於原線圈之總電壓(或電動勢)　　$\mathbf{n_1}$：原線圈之匝數

ε_2：副線圈感應之總電壓(或電動勢)　　$\mathbf{n_2}$：副線圈之匝數

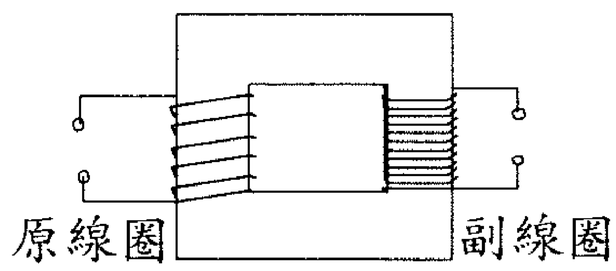
則由法拉第感應定律得：

$$\varepsilon_1 = -\mathbf{n_1}\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \ \& \ \varepsilon_2 = -\mathbf{n_2}\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

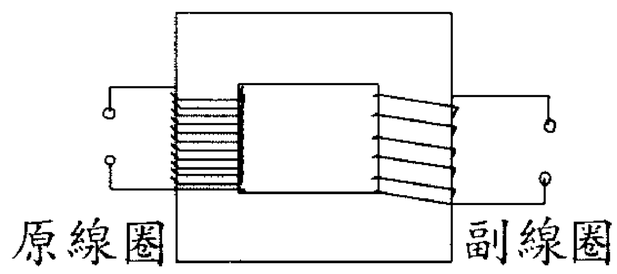
※因此變壓器兩端的電壓與其線圈匝數成正比。

註：**(1)**若 $\mathbf{n_2} > \mathbf{n_1}$，則 $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$，即輸出電壓比輸入電壓為高，這種變壓器稱為升壓變壓器如圖**(a)**所示。

(2)若 $\mathbf{n_2} < \mathbf{n_1}$，則 $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$，即輸出電壓此輸入電壓為低，這種變壓器稱為降壓變壓器如圖**(b)**所示。



(a)



(b)

(3)由能量守恆原理知在理想狀態下的變壓器(變壓器效率極高，幾乎達 **99%**)，其原線圈輸入電功率應與副線圈輸出電功率相等。

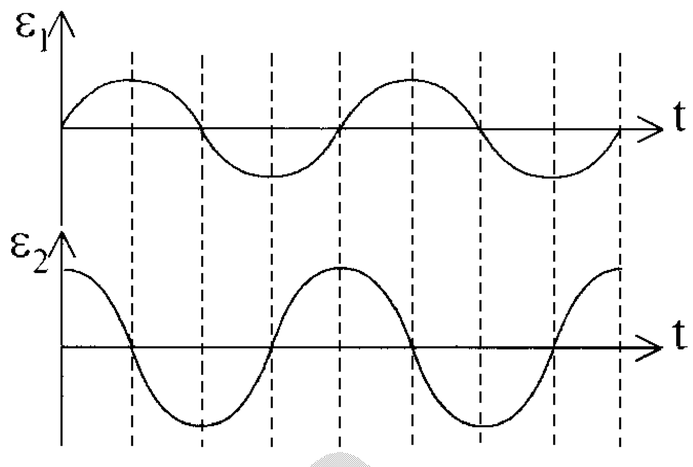
若原線圈和副線圈中之電流分別為 $\mathbf{i_1}$ 和 $\mathbf{i_2}$

則 $\mathbf{i_1}\varepsilon_1 = \mathbf{i_2}\varepsilon_2 \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$

吳錫玠物理

※理想變壓器中電流、電壓及線圈匝數三者間的關係：$\frac{i_1}{i_2}=\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}=\frac{n_2}{n_1}$

註：升壓變壓器，副線圈上之電流減小，而降壓變壓器，副線圈上之電流加大。由於電磁感應，原線圈與副線圈上交流電壓之關係如右圖，即原線圈與副線圈上之交流電壓相位差為$\frac{1}{4}$。



四、變壓器中的能量消失：

變壓器的設計是儘量令其內的能量減少損耗。重要的特色是：

1.線圈由低電阻銅線形成以令熱損失甚小；

2.薄板製成的心可減少渦流損耗；

3.以軟磁物質製成心軸以減少磁場轉換時所需的能量；

4.有效率的軸心設計以保證原通量與副通量是相連的。

五、交流電輸送比直流電輸送的優點：

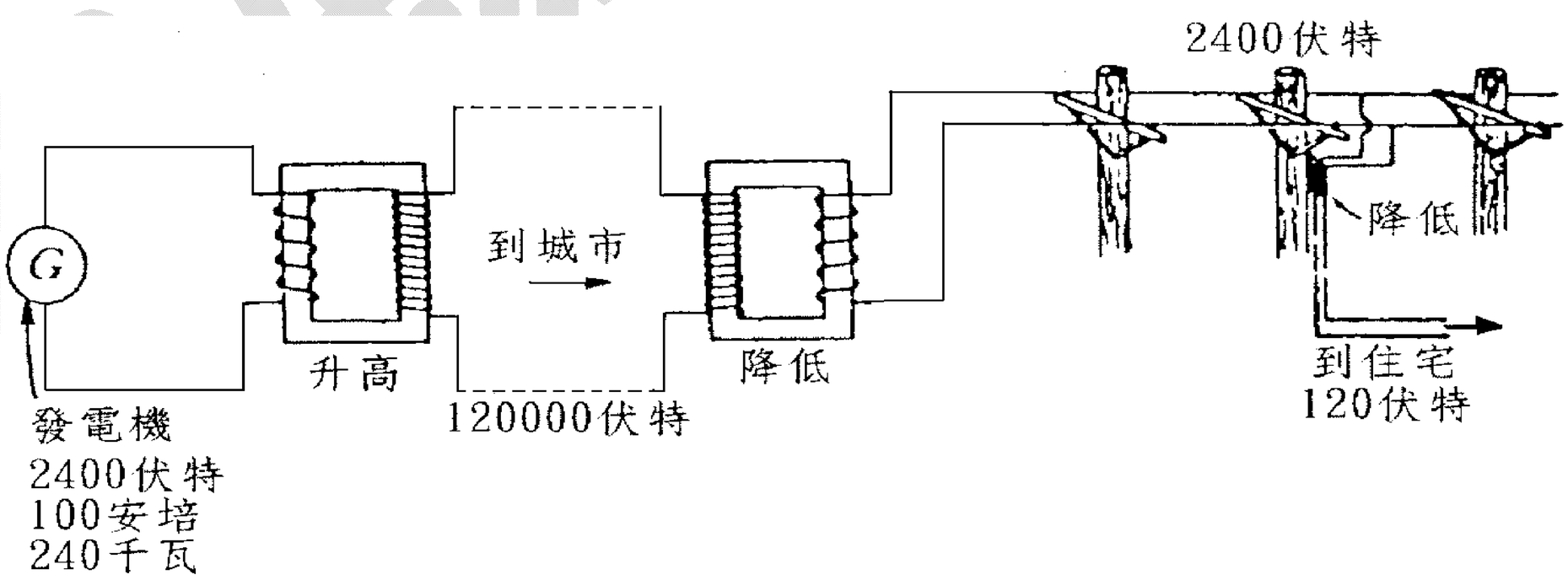
1.交流電其中一個主要的優點便是可以用變壓器來輕易改變電壓，而其間所損失的能量很小。

※因此緣故，電力通常是用交流電來輸送的，理由是它可變為極高的電壓以作長距離輸送，但所損失的電力極小。這樣電力便可以在容易取得水力或煤礦，或位置方便的核子發電廠裡產生，再利用電壓架空電線(電力線網)輸送到全國各地去。

2.穩定電流的電壓不能用變壓器來升高或降低，因此沒有方法可用以減低輸電損失。由於這一緣故，穩定電流不能輸送到遠處。

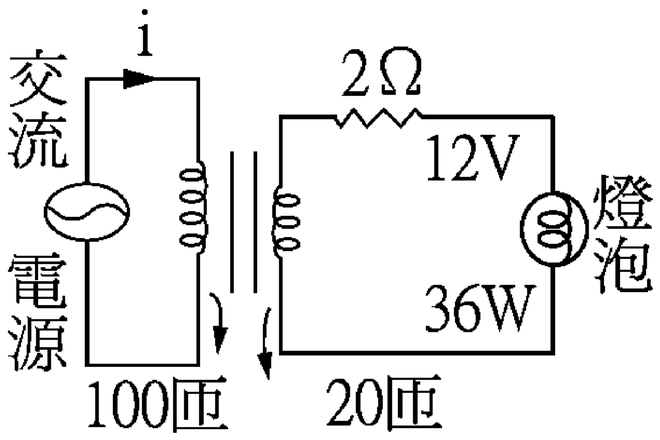
◎參考：

下圖為一輸電系統的圖解。發電機的電壓為 **2400** 伏特。為將電自發電廠輸送到遠處的城市，我們先用一升高變壓器將 **2400** 伏特的發電機電壓升高到 **120,000** 伏特。在到達城市的變電所時，我們再用一降低變壓器將這一高壓電回降到 **2400** 伏特。在進入住宅前，這一電壓尚要經一降壓變壓器降到 **110** 伏特。

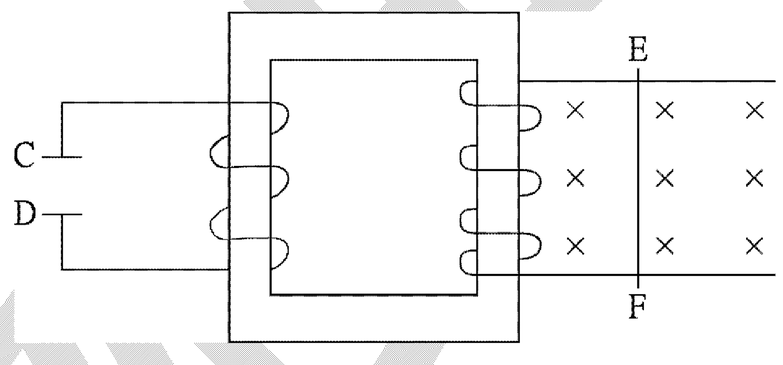


※理想變壓器之電壓與電流

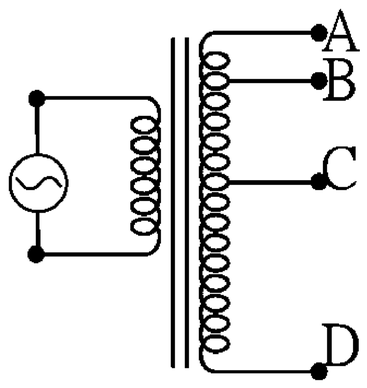
例 20.附圖利用變壓器使 12V、36W 的燈泡能正常使用，則
(1)交流電源的電壓 ε 為_____。
(2)原線圈上的電流 i 為_____。答：(1)90V；(2)0.6A



類 1.如附圖，導體 $\overline{EF}$ 沿軌道在均勻磁場內滑動，下列何者正確？ (A)若 EF 向右等速運動，則 C 帶正電，D 帶負電，且電量不變 (B)若 EF 向左等速運動，則 C 帶正電，D 帶負電，且電量漸增 (C)若 EF 向右加速運動，則 D 板電位較高 (D)若 EF 向左加速運動，則 D 板電位較高，且電量不變。答：C



類 2.如附圖，原線圈 200 匝，副線圈 A、B、C、D 各接點間的匝數分別為 40、160、300 匝。交流電源電壓為 100V，則：(A)A、B 間電壓為 20V (B)A、D 間電壓為 250V (C)若將 B、C 接出輸出端，且其間總電阻為 40Ω，則原線圈電流為 1.6A (D)承(C)，應為 2.5A (E)欲自副線圈引出 6 伏特的電壓，則接點應在 A、B 之間的中央位置。答：ABC



類 3.將一升壓變壓器接到 120V 之電路上，供應 18000V 之電壓，若在原線圈接上最大容量 10 mA 之保險絲，則線圈之最大電流為_____mA。答：1/15

類 4.一變壓器，其原線圈為 4000 匝，副線圈為 200 匝，如輸出電壓為 110 伏特交流電，試問 (1)原線圈之輸入電壓為何？(2)如在副線圈加上 1000 歐姆的負載，則消耗之電功率為若干？(3)使用 100 小時消耗電能若干度？答：(1)2200 伏特 (2)12.1 瓦特 (3)1.21 度

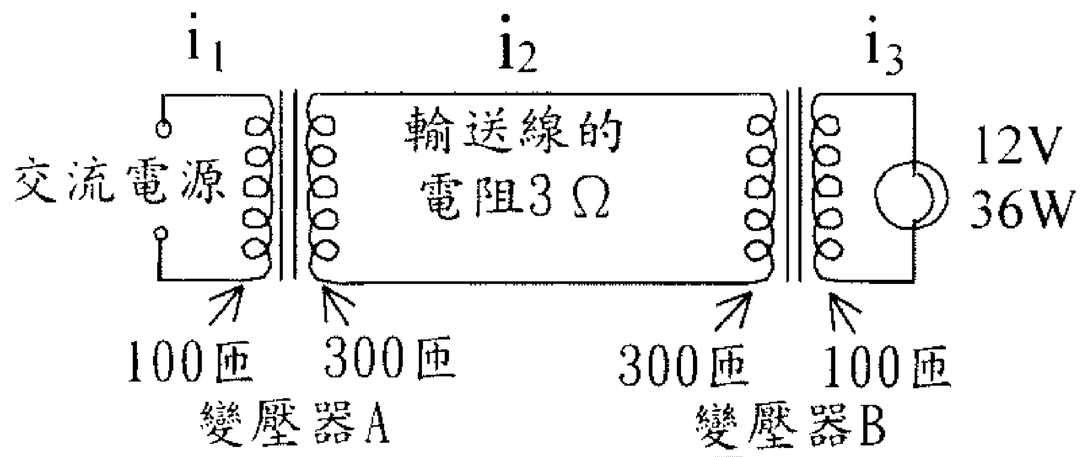
類 5.欲將 6000 伏特之交流電，用降壓器降低為 240 伏特。若原線圈為 12000 匝，其中之電流為 1 安培；求在理想情形下，副線圈之匝數及其中之電流。答：480 匝，25 安培

類 6.一理想變壓器原線圈有 2000 匝，副線圈有 50 匝，原線圈有 120V 之電壓輸入，而副線圈聯結一電阻為 0.6 歐姆電燈泡，求 (1)副線圈電壓;(2)有多少電流通過燈泡？(3)原線圈電流多少？(4)原線圈與副線圈之功率各多少？答：(1)3V (2)5A (3)0.125A (4)皆為 15W

類 7.理想變壓器之原線圈與副線圈中何者相同？ (A)一匝線圈之磁通量 (B)一匝線圈磁通量之變化率 (C)總功率 (D)端電壓 (E)電流。答：ABC

※變壓器的功率

例 21.右圖中 A、B 均為理想變壓器，燈泡正依其規格 12V、36W 操作中，求
(1)通過燈泡的電流 i_3；
(2)在輸送線上的電流 i_2；
(3)變壓器 A 之原線圈上的電流 i_1；
(4)輸送線的生熱功率 P；(5)電源的供電功率 P_1；(6)電源電壓 ε_1。答：(1)3A；(2)1A；(3)3A；(4)3W；(5)39W；(6)13V



類 1.電力輸送時，以高壓 V 將功率 P 從甲地輸送到乙地，輸送線損失 $\frac{4}{100}P$。若以電壓 $\frac{V}{2}$ 將功率 P 亦從甲地輸送至乙地，則乙地得到之功率為_____。答：$\frac{84}{100}P$

類 2.變壓效率為 95%的降壓器，將 2000 伏特的電壓降為 100 伏特，輸出的功率為 9.5 千瓦，原線圈為 5000 匝，求 (1)副線圈匝數;(2)輸入的功率;(3)兩線圈的電流。答:(1)250 匝 (2)10 千瓦(3)原線圈 5 安培，副線圈 95 安培

類 3.某變電站利用變壓器將 3.3KV 之電壓降壓為 110V 供給某社區使用，若此時社區使用電器之等效電阻為 $2.2\times10^{-3}\Omega$，則：
(1)此變壓器原線圈匝數為副線圈匝數的_____倍。
(2)流經變壓器原線圈的電流約為_____安培。
(3)此變壓器的輸入功率為_____瓦。答：(1) 30；(2) 1.7×10^{3}；(3) 5.5×10^{6}

類 4.試回答下列問題：
(1)一變壓器之原線圈為 3000 匝，如欲將 6600 伏特之交流電，變壓成為家庭用電(110 伏特)，則副線圈的匝數應為若干？
(2)若在室內有一 10 歐姆的電器用品，則消耗多少電功率？
(3)以此電器用品使用 5 小時，則耗費幾度電？(一度電為 1 瓩一小時。)答：(1)50 匝；(2)1.21kW；(3)6.05 度電

類 5.利用一降壓器將 2400 伏特之電壓降為 120 伏特，設該降壓器之效率為 92%，輸出之功率為 9.0 仟瓦，原線圈為 4000 匝。試求：(1)副線圈之匝數？(2)輸入之功率？(3)兩線圈上之電流？答：(A)200 匝；(B)9782W；(C) $I_P=4.1A$，$I_S=75A$

21-6 電磁波

一、電磁輻射原理

1.靜電場：

不隨時間而變的電場，稱為靜電場。靜電場可由靜止不動的電荷造成。因此靜止不動的電荷，便是造成靜電場的場源。庫侖定律便是描述靜電場與電荷間的作用。

2.靜磁場：

不隨時間而變的磁場，稱為靜磁場。靜磁場可由等速度移動的電荷或穩定的電流造成。因此等速度移動的電荷或是穩定電流，便是造成靜磁場的場源。安培定律便是描述靜磁場與電流間的作用。

3.時變電場與時變磁場：

會隨著時間而變動的電場，稱為時變(或稱交變)電場；會隨著時間而變動的磁場，稱為時變磁場。時變電場與時變磁場，可由加速度運動的電荷或不穩定的電流造成。

二、電磁波：在空間中傳播的時變電場與時變磁場，稱為電磁波。

1.電磁波的發現：

(1)法拉第最早發現時變磁場可以產生電場的定律，而馬克士威則認為除了電流會產生磁場外，時變電場也可以產生磁場。因此馬克士威修改了安培定律，並將之與庫侖定律、法拉第電磁感應定律聯合起來，組成馬克士威電磁場方程式。

(2)馬克士威由電磁場的方程式中，導出振盪的電荷或隨時間而變的電流，會產生電磁波，且電磁波在真空時的波速約為3×10^8公尺/秒。由於電磁波的波速與光速相同，因此科學家認為電磁波與光是同一種現象的不同表現，而這種看法也為後來的實驗所證實。

2.電磁波的證實：

(1)德國科學家赫茲於 **1886-1888** 年間，在實驗室中利用簡單的電磁振盪裝置，成功的發射出電磁波，並在另外一處接收此波，而證實了馬克士威有關電磁波的理論。為紀念他，我們以每秒一週的頻率稱一赫茲**(1Hz)**為頻率的單位。

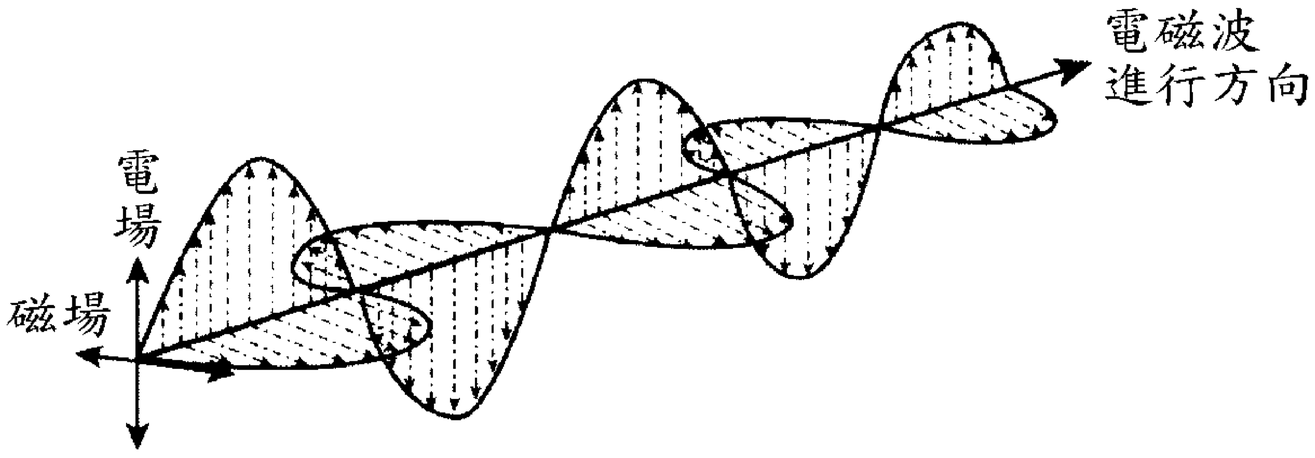
(2)無線電之父馬克尼，也在 **1901** 年間，首先由英吉利海峽兩岸，成功傳送無線電波橫越大西洋，而開啟了電磁波的實際應用。

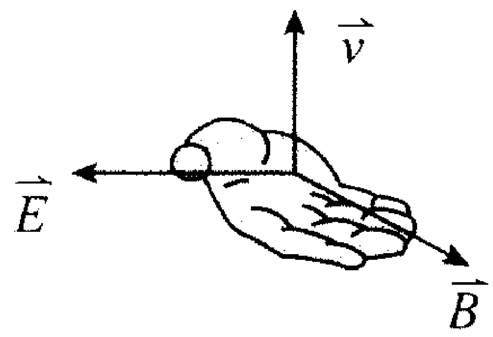
3.電磁波的特性：

(1)電磁波的傳播，不需倚賴介質，在真空中也能傳播，但進入介質時速率較慢，不同波長電磁波其波速亦異。。

(2)所有頻率(或波長)的電磁波在真空中都具有相同的傳播速度，均以光速 **c** (即 $\mathbf{3\times10^8}$**m/s)** 傳播。

(3)電磁波由時變電場與時變磁場所組成，在電磁波傳播的過程中，電場方向、磁場方向與波傳播方向，三者互相垂直，如下圖所示，且由於電場與磁場方向恆垂直波傳播方向，故稱電磁波是一種橫波。

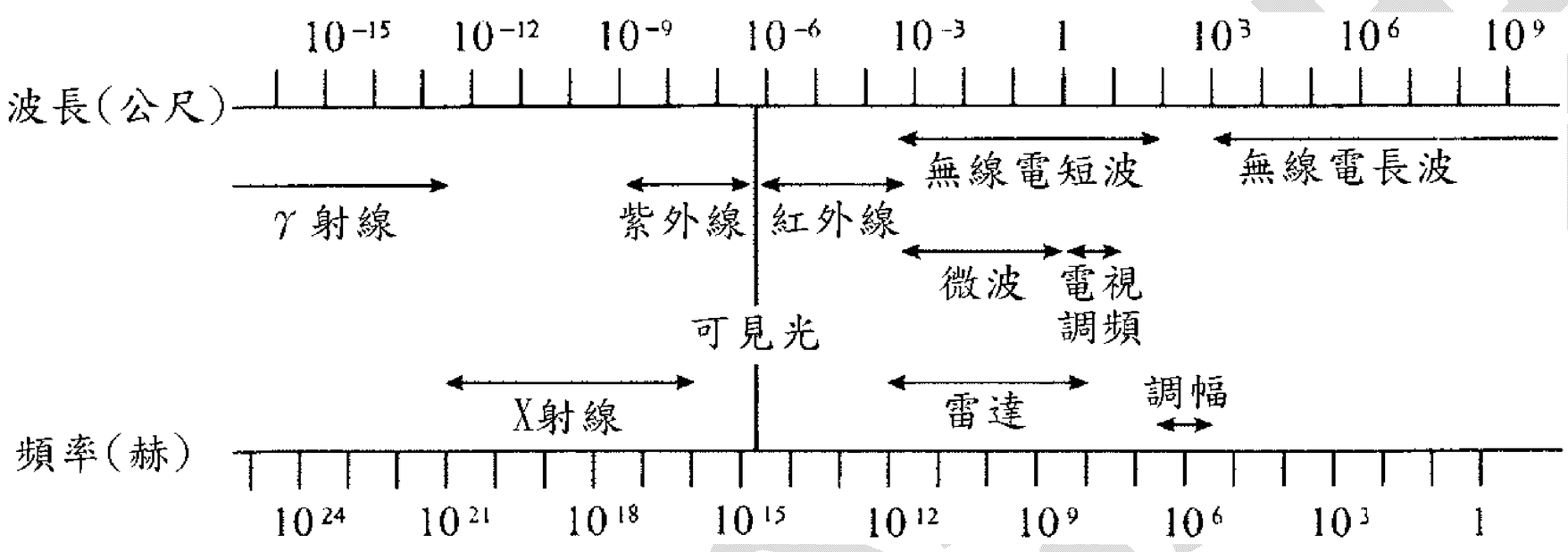




三、電磁波譜

1.電磁波譜：

電磁波的波長範圍很大，下圖為各種電磁波的波長與頻率分布，稱為電磁波譜。



(1)無線電波：頻率最低，波長最長，可利用電子振盪電路產生。一般在通訊中常用的微波**(**或稱厘米波**)**，也落在這個範圍內。

(2)紅外線、可見光、紫外線：可由高溫物體產生，其波長為連續分布。

(3)x 射線：頻率比紫外線更高，具有連續光譜與不連續光譜兩種，連續光譜的 **x** 射線，可由陰極射線管產生；不連續光譜是因原子的能量狀態變化時所放射出。**(**有關 **x** 射線的理論，在物理**(**下**)**冊中會有詳細的介紹。**)**

(4) γ 射線：頻率比 **x** 射線更高，它是由放射性元素所放射出。

註：在電磁波譜中，雖然有許多不同名稱的電磁波分布其間，但他們的波長**(**或頻率**)**分布範圍，常有重疊而非涇渭分明的。因此，其名稱的規定，往往是參酌電磁波產生的方式，或探測儀器的不同來命名的。

例：微波爐與白熾燈都發射波長為 $\mathbf{10^{-4}}$ 公尺的電磁波，但來自微波爐的電磁波歸類為微波，而白熾燈的電磁波則歸類為紅外線。

2.光波：也是電磁波，一般將能引發視覺的電磁波，稱為可見光**(**或簡稱光**)**。可見光在大氣中的波長約在 **0.4** 微米到 **0.7** 微米**(**即 **4300** Å 到 **7000** Å**)**。

※電磁波的種類、性質、產生

例 22.下列何者可發生電磁輻射？ (A)通以交流電之導線 (B)電子在一直線來回振動 (C)質子作等速運動 (D)質子作減速度運動 (E)電子或質子作等速率圓周運動 (F)電子繞原子核運動 (G)穩定直流電。答：ABDE

類 1.下列有關電場與磁場的敘述，哪些是正確的？ (A)導線周圍一定有磁場 (B)由兩平行金屬板構成的電容器，在充電過程中，其周圍一定有磁場 (C)馬蹄形電磁鐵兩極間一定有電場 (D)磁通量隨時間變化時，會產生電場 (E)當電荷在一導線中振動時，會發射出波動的電場和磁場。答：BDE

類 2.下列何者可產生電磁波？(A)將質子置於均強的電場後放手 (B)將電子置於均強的電場後放手 (C)將電子垂直射入均強的電場 (D)將電子平行射入均強的電場 (E)在 β 加速器中被加速的電子。答：ABCDE

類 3.馬克士威爾(J.C.Maxwell)應用下列哪些定律，加上自己獨見而創獲者，以推導電磁輻射的理論？ (A)必歐－沙伐定律 (B)庫侖定律 (C)法拉第電磁感應定律 (D)安培定律 (E)克希荷夫定律。答：BCD

類 4.下面是根據波長的長短（由短至長）所排列的電磁波，哪些是對的？ (A) γ 射線－可見光線－無線電波 (B)紫外光－微波－可見光 (C)紅外光－微波－無線電波 (D)X 射線－紫外光－紅外光 (E)紫外光－可見光－X 射線。答：ACD

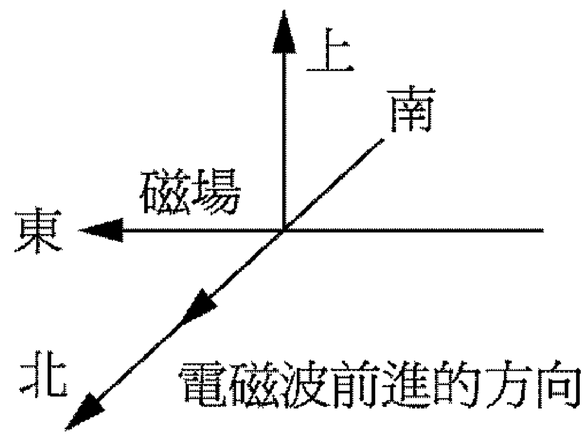
類 5.下列射線中，哪些屬於電磁波？ (A)陰極射線 (B)X 射線 (C) α 射線 (D) β 射線 (E) γ 射線。答：BE

類 6.有關電磁波的敘述下列何者正確？ (A)為一互相垂直的電場與磁場 (B)在真空中傳播速率為 C (C)進入介質後速率不變 (D)經過電場或磁場會偏向 (E)在真空中光速是絕對的，即對任何速度運動的觀察者都是以 C 傳播。答：ABE

類 7.當兩導線中有電流通過時，通常只考慮兩者之間的磁交互作用，而不考慮其電交互作用，主要的原因是 (A)當電子之速度遠小於光速時，兩電子間的磁交互作用遠大於電交互作用 (B)兩帶電質點間之磁力與距離成反比，電力則與距離平方成反比 (C)磁場是沒有方向性的，可用代數法相加；電場則是有方向性的，必須用向量相加，易引起抵消 (D)由於導線中負電荷與正電荷所產生的電場大致抵消了。答：D

※電磁波的波長&電場、磁場的方向

例 23.如附圖，自南向北前進的電磁波於某瞬間其磁場方向朝東，則其電場方向為何？ (A)向西 (B)向南 (C)向上 (D)向下 (E)無從判定。答：C



類 1.利用 3.0×10^{16} 赫之電磁波可用來探測下列何物的存在？ (A)大飛機 (B)10 厘米長之鳥 (C)月球 (D)氣體分子 (E)原子核。答：ABC

類 2.一調頻廣播電台所發射電磁波的頻率為 1.0×10^{8} 赫，若電磁的速率為 3×10^{8} 公尺／秒，則其波長為： (A)3.0×10^{-6} 公尺 (B)3.0×10^{-2} 公尺 (C)3.0 公尺 (D)3.0×10^{2} 公尺 (E)30×10^{4} 公尺 。答：C

類 3.某地區大哥大所使用之頻率為 600 MHz，則其波長為_____ m。（已知光速 $c=3\times10^{8}$ m/s）。答：0.5

類 4.有一電磁波其電場向上迎面而來，則所見磁場方向為：（人面朝北） (A)向東 (B)向西 (C)向上 (D)向下。答：B

類 5.一束電磁波向觀察者射來，此時觀察者所在之處並無磁場，但時間稍後即有 一磁場鉛直向下，隨磁場而來之電場方向為： (A)向右 (B)向左 (C)向下 (D)向上 (E)向前。答：B

類 6.電磁輻射中，某一瞬間通過某處之磁場為 3 N/A－m 向北，電磁輻射向西進行，則伴隨產生之電場為若干 N/C？ (A)3×10^{8} 向上 (B)9×10^{8} 向上 (C)9×10^{8} 向下 (D)3×10^{8} 向下 (E) 10^{8} 向上。答：B

類 7.下列有關電磁輻射的敘述，何者不正確？ (A)由西向東傳播的電磁波，某瞬間其電場方向向下，此時其磁場方向向北 (B)將電子垂直磁場方向射入磁場中，電子在磁場運動時，會輻射電磁波 (C)吾人眼睛能感覺到的電磁波波長約 10^{-6} m (D)微波或 X－射線在真空中的傳播速度均為 3×10^{8} m/s (E)電磁波在某介質中傳播時，必須藉該介質的物質來傳遞電磁波。答：E

類 8.下列有關電磁波之敘述，何者正確？ (A)電磁波能在真空中傳播 (B)帶電粒子在真空中等速或加速度時可產生電磁波 (C)電磁波進行之方向與其電場及磁場均垂直 (D)雷射光也是電磁波的一種 (E)電磁波能傳遞能量。答：ACDE

吳錫玠物理