

# Chapter 4 物質間的基本交互作用

## 4-1 重力

### 一、萬有引力：

#### 1. 牛頓的萬有引力定律：

(1) 物理意義：具有質量的兩質點間均會①\_\_\_\_\_。

※質點：描述物體運動時，忽略大小形狀，而將其視為具有質量的一個點。

(2) 性質：其吸引力大小與兩質點質量的乘積成正比，與兩質點的距離平方成反比。

(3) 公式： $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$

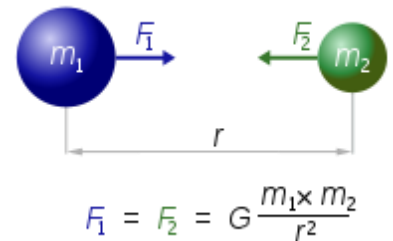
F：兩質點受到的萬有引力（單位：N）

$m_1$ 、 $m_2$ ：兩質點的質量（單位：kg）

r：兩質點之間的距離（單位：m）

G：重力常數(Gravitational constant)或萬有引力常數(Universal gravitational constant)

$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2 \Rightarrow$  由英國物理學家卡文迪西間接測量得到。



(4) 1kg 的物體，根據上面公式代入得到  $W = mg = 1\text{kg} \times 9.8 \text{m/s}^2 = 9.8\text{N} \Rightarrow 1\text{kgw} = 9.8\text{N}$  故，1kg 的物體在地表所受的重力（重量）為 1kgw，即為②\_\_\_\_\_。

(5) 萬有引力定律是牛頓為了成功解釋③\_\_\_\_\_的太陽系行星運動，利用歸納與演繹得到的定律。成功證明之後，牛頓更加以推廣至所有具有質量之物體。而往後的科學家更利用萬有引力公式，推測行星軌道並非完整的橢圓，而觀察結果也證明如此。

### 我在想.....

### 名人語錄

如果你堅持非要力的精確定義不可，  
那你永遠也得不到！

—費曼，《費曼物理學講義》

①相互吸引 ②9.8牛頓 ③克卜勒

## 精選範例 01：

已知太陽質量  $M_S = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ ，地球質量為  $M_E = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ ，地球與太陽間的平均距離為  $R_{SE} = 1.50 \times 10^{11} \text{ m}$ ，而重力常數為  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ，則：

(1) 太陽和地球之間的萬有引力為多少？

(2) 若月球質量為  $M_m = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$ ，地球與月球間的平均距離  $R_{mE} = 3.84 \times 10^8 \text{ m}$ 。將太陽地球和月球皆視為質點，太陽和地球之間的萬有引力大約是地球和月球之間的萬有引力的多少倍？

ANS：(1)  $3.53 \times 10^{22} \text{ N}$

(2)  $1.77 \times 10^2$  倍

## 自我練習 01：

已知地球質量大約是月球質量的 81 倍，地球與月球間的平均距離  $R_{mE} = 3.84 \times 10^8 \text{ m}$ 。現在某一太空船位於地球球心與月球球心連線上，且位於兩星球之間，在不考慮其他星球對於此太空船的引力下，若此太空船受到地球與月球的萬有引力量值相等，則該太空船與月球球心間的距離為何？

ANS： $3.84 \times 10^7 \text{ m}$

## 二、重量與重力：

1. 重量：地球表面所量測到的物體重力，故重量＝重力＝地球吸引表面物體的萬有引力

2. 數學式： $F = W = \frac{GM_E m}{R^2} = mg$

重力加速度  $g = \frac{W}{m} = \frac{GM_E}{R^2}$ ，利用地球質量為  $M_E = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$  以及地球半徑  $R = 6400 \text{ km}$  代入，即可得到  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

## 三、萬有引力與天體運行：

1. 行星繞恆星運行，或衛星繞地球運行，皆是萬有引力之作用。

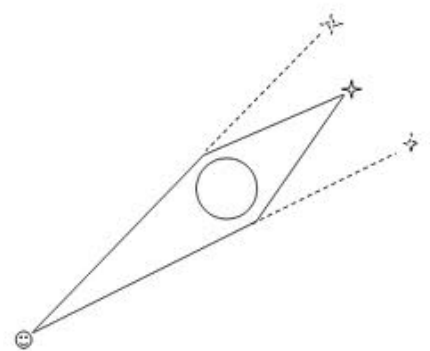
2. 利用萬有引力公式證明克卜勒第三定律：

3. 演繹（推導）和歸納（經驗）為研究科學的兩種重要方式。

### 4. 【補充】

重力透鏡：

根據廣義相對論，重力透鏡效應就是當背景光源發出的光在重力場（比如 星系、星系團及黑洞）附近經過時，光線會像通過透鏡一樣發生彎曲。光線彎曲的程度主要取決於重力場的強弱。分析背景光源的扭曲，可以幫助研究中間做為「透鏡」的重力場的性質。根據強弱的不同，重力透鏡現象可以分為強重力透鏡效應和弱重力透鏡效應。



我 在 想.....

## 4-2 電力與磁力

### 一、電力：

#### 1. 發展歷史：

- (1) 1748 年，Franklin（富蘭克林），命名正、負電荷
- (2) 1785 年，Coulomb（庫倫），發現靜止電荷間的電力作用
- (3) Faraday（法拉第）晚年，提出①\_\_\_\_\_概念。

#### 2. 電性分類：（口訣：師父⇨絲負⇨塑負）

- (1) 正電：絲絹摩擦玻璃棒，玻璃棒上所帶的電性為②「\_\_\_\_\_」。
- (2) 負電：毛皮摩擦塑膠棒，塑膠棒上所帶的電性為③「\_\_\_\_\_」。

#### 3. 電量單位：

- (1) SI 制：庫倫(C)
- (2) 基本電荷：④\_\_\_\_\_ ⇨  $1e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

#### 4. 庫倫靜電定律(Coulomb's law)：

- (1) 1767 年，Joseph Priestley（約瑟夫·普里斯特里）提出關係式與萬有引力類似。
- (2) 1785 年，Coulomb 發現，任何兩個點電荷之間均有吸引或排斥的「靜」電力，其力量大小與電量的乘積成正比，與兩點之間的距離平方成反比。

(3) 公式：
$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

F：兩個點電荷受到的靜電力（單位：N）

$q_1$ 、 $q_2$ ：點電荷的電量（單位：C）

r：兩點之間的距離（單位：m）

k：庫倫常數(Coulomb's Constant)或靜電力常數(Electrostatic constant)

$$k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

#### (4) 【補充】

若將庫倫定律公式加入方向性（將靜電力表示為向量），

公式將變為 
$$\vec{F} = \frac{kq_1q_2}{r^2} \hat{r}$$
,

$\hat{r}$  為方向的單位向量，

$q_1$ 、 $q_2$  則包含正負號（代表電性的正負）。

## 5. 電場與電力線：

(1) 電場：帶有一個電子電量的正電荷（單位正電荷），受到的靜電力。

而電場的特性可以利用①\_\_\_\_\_來描述。

(2) 電力線：（由 Faraday 首創，為描述電力場的假想曲線）

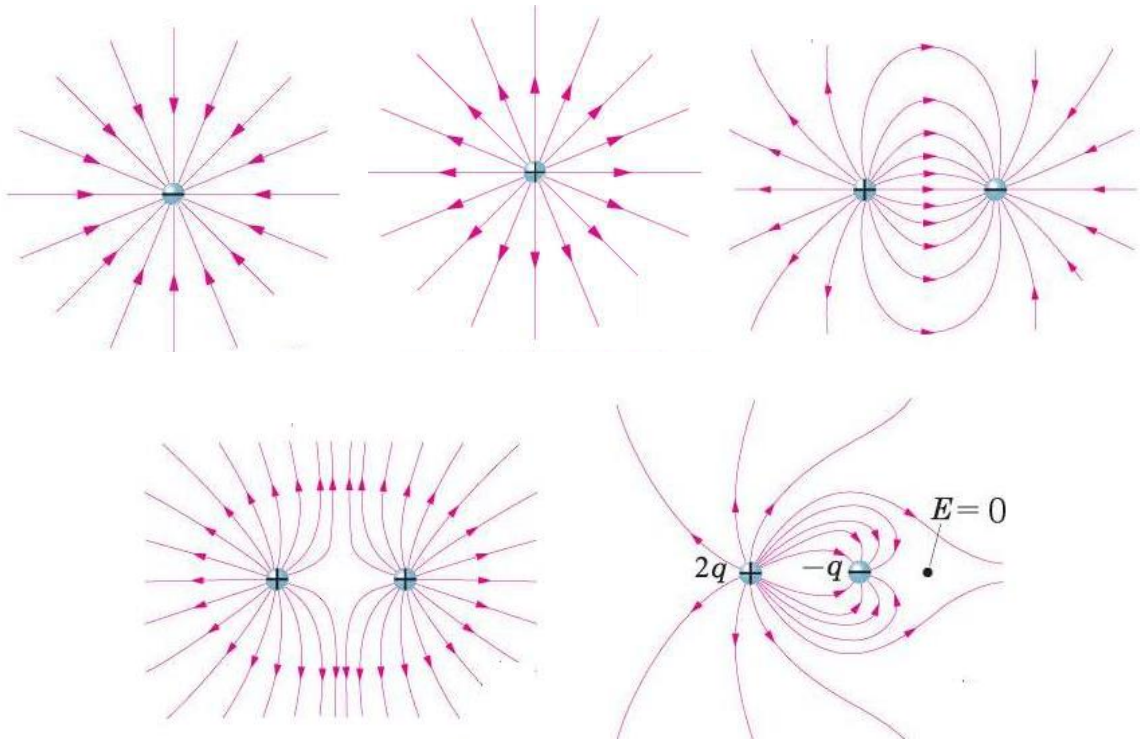
① 電力線的②\_\_\_\_\_ = 電場大小 = 靜電力的大小（單位面積的電力線數目 = 疏密）

② 電力線上點的③\_\_\_\_\_ = 電場方向 = 靜電力的方向

③ 電力線由正電荷出發，指向負電荷。

④ 電力線是平滑曲線，④\_\_\_\_\_、不相交。（點電荷處除外）

⑤ 以下為幾種不同情況的電力線分布：



我在想.....

海賊王驚點語錄

人生三大恨：

1.你得不到；

2.你得到了卻也不過如此；

3.你放棄後才發現它對你很重要

① 電力線 ② 疏密 ③ 切線方向 ④ 不閉合

## 精選範例 01：

已知電子帶一個負基本電荷 ( $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ )，質子帶等量的正電荷。質子的質量為  $1.6 \times 10^{-27} \text{kg}$ ，電子的質量為  $9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ 。設一個質子與電子的距離為  $0.1 \text{nm}$ ，則：

- (1) 質子與電子間的庫倫靜電力為多少？萬有引力為多少？
- (2) 庫倫靜電力是萬有引力的幾倍？

ANS：(1)  $2.3 \times 10^{-8} \text{N}$ ； $1.0 \times 10^{-47} \text{N}$   
 (2)  $2.3 \times 10^{39}$  倍

## 精選範例 02：【87 日大】

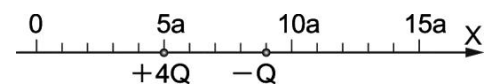
在  $x$  軸上有三個點電荷，電荷 A 置於原點，其電量為  $Q_A = 16 \times 10^{-6} \text{C}$ ，電荷 B 置於  $x = 1 \text{m}$  處，其電量為  $Q_B = -9 \times 10^{-6} \text{C}$ ；電荷 C 置於  $x = d$  處，其電量為  $Q_C > 0$ 。

- (1) 要使電荷 C 所受的靜電力為零， $d$  應為多少？  
(無限遠除外)
- (2) 要使電荷 A 及電荷 B 所受的靜電力也分別為零，則  $Q_C$  應為多少？

ANS：(1)  $4 \text{m}$   
 (2)  $1.44 \times 10^{-4} \text{C}$

## 自我練習 01：【95 學測】

如附圖所示，在一直線上有兩個點電荷。電量為  $+4Q$  的點電荷固定於  $x = 5a$ ，電量為  $-Q$  的點電荷固定於  $x = 9a$ 。將一點電荷  $+Q$  置於直線上何處時，此  $+Q$  電荷所受的靜電力為零？



ANS： $13a$

## 二、磁力：

1. 磁性：能吸引鐵、鈷、鎳物質（鐵磁性物質）的性質，稱為磁性。

具有磁性的物質，稱為**①**\_\_\_\_\_。

【補充】磁性產生原因：

所有物質的原子都視為一小磁體，電子繞原子核公轉就像環形的微小電流會產生軌道磁場，同時電子以及原子核的自旋(electron spin)產生自旋磁場，造成磁偶極矩而在鐵鈷鎳這類物質中，物質中的原子或分子因含有一個或多個未成對的電子，而具有一小小的磁矩，積沙成塔就變成具有強大的磁性。

2. 磁極：磁鐵之磁性最強處，分為 N 極與 S 極。

- (1) N 極：地表上磁針指向北方的磁極，稱為 N 極（指北極）—North
- (2) S 極：地表上磁針指向南方的磁極，稱為 S 極（指南極）—South
- (3) N 極與 S 極必須**②**\_\_\_\_\_，也就是說目前未發現「磁單極的存在」
- (4) 同名極相斥，異名極相吸。

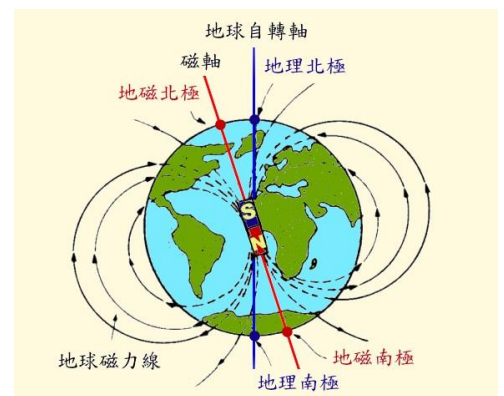


3. 磁化：

使物質具有**③**\_\_\_\_\_的過程。只有鐵、鈷、鎳物質（鐵磁性物質）以及其化合物可以被磁化。有些可以被磁化為暫時磁鐵，有些則是永久磁鐵，後者如「鈷鐵硼合金」。

4. 地磁：

將地球視為一個巨大的棒形磁鐵，所產生的磁場稱為地磁。磁針 N 極指向**④**\_\_\_\_\_，故地磁北極為 S 極（N 極被 S 極所吸引）；同理，地磁南極本身為 N 極。必須分清楚本身所帶之磁性與外界所指之磁性。



①磁鐵 ②同時存在 ③磁性 ④地磁北極

5. 磁場與磁力線：

(1) 磁場：磁鐵周圍，磁力線所能作用的範圍（無限大）

(2) 磁力線：（由 Faraday 首創，為描述磁場的假想曲線）

①磁力線為磁針①\_\_\_\_\_在磁場中特定位置所受磁力方向的連線。

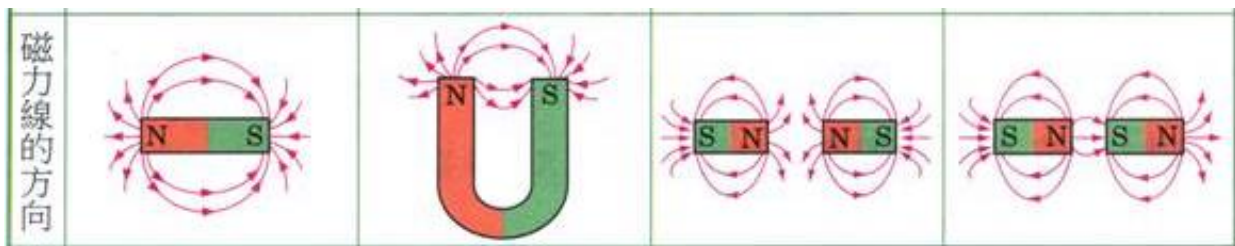
②磁力線上點的②\_\_\_\_\_ = 磁場方向 = 磁力的方向。

③磁力線的③\_\_\_\_\_ = 磁場大小 = 磁力的的大小

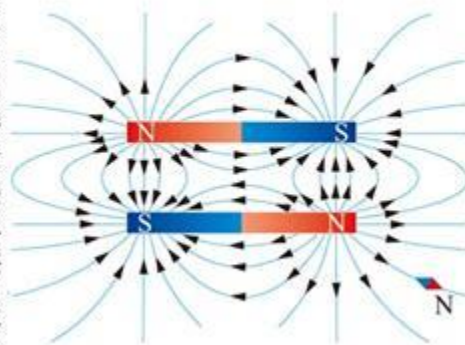
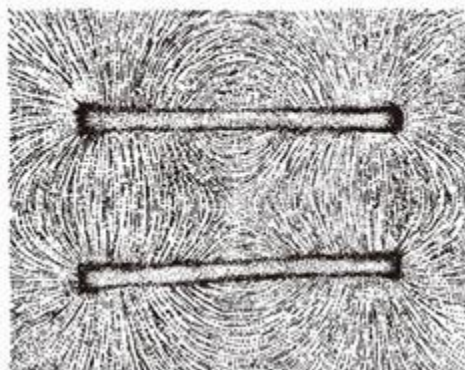
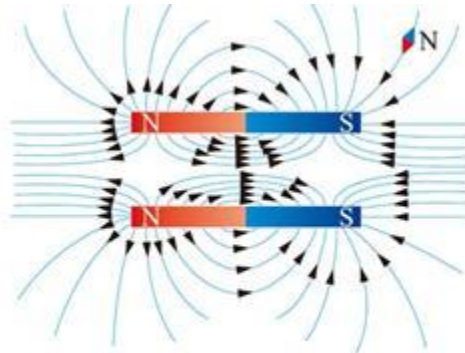
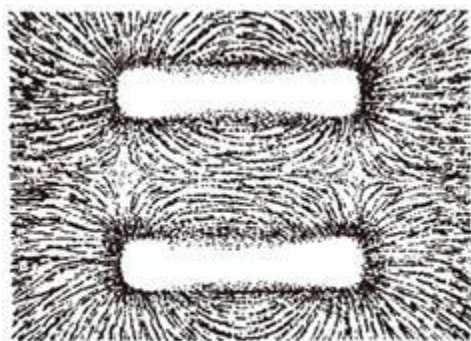
④磁力線在磁鐵外部，方向為從④\_\_\_\_\_，指向 S 極；  
磁鐵內部，從 S 極 指向 N 極。

⑤磁力線是平滑曲線，⑤\_\_\_\_\_、不相交。

以下為幾種不同情況的電力線分布：



磁力線的方向



①N 極 ②切線方向 ③疏密 ④N 極出發 ⑤閉合



## 三、電力線與磁力線的比較：

	電力線	磁力線
相同處	平滑曲線	
	永不相交	
	疏密程度表示場的強弱	
	切線方向為該點的電場方向 (即正點荷受力方向)	切線方向為該點的磁場方向 (即 N 極受力方向)
相異處	開放曲線	封閉曲線
	正電荷出發，指向負電荷	外部，N 極→S 極； 內部，S 極→N 極。

## 本章節重點：

了解如何描述電力與磁力，並分辨其不同點。電力的計算在於庫侖定律，觀念在於電場的描述。而磁場因計算太過艱深，所以只有觀念的闡述。



## 四、補充資料：

## 居禮點 (Curie temperature)

也稱居禮溫度或磁性轉變點。是指磁性材料中自發磁化強度降到零時的溫度，是鐵磁性或亞鐵磁性物質轉變成順磁性物質的臨界點。低於居禮點溫度時該物質成為鐵磁體，此時和材料有關的磁場很難改變。當溫度高於居禮點溫度時，該物質成為順磁體，磁體的磁場很容易隨周圍磁場的改變而改變。這時的磁敏感度約為 $10^{-6}$ 。居禮點由物質的化學成分和晶體結構決定。

## 4-3 強力與弱力

### 一、強力(Strong Interaction or Strong Force)：

#### 1. 功用：

①\_\_\_\_\_。在原子核之中，質子之間存在庫倫排斥力；若要原子核穩定，即需要比庫倫排斥力更強大的作用力，將質子束縛在原子核之中，此作用力即為「強作用力（強力）」

2. 作用對象：強子，即為中子與質子（或者說，由夸克所組成之強子）。

3. 作用範圍：為構成原子核的主要作用力，故範圍約為原子核的大小 → ②\_\_\_\_\_。

### 二、弱力(Weak Interaction or Weak Force)：

1. 自然界有許多元素其原子核十分不穩定，有時候產生激烈的變動而自行產生輻射現象轉變成其他元素，這種情形叫做③「\_\_\_\_\_」。

$\beta$ 衰變—特定原子核藉由放出電子，衰變為另一種原子核。

2. 功用：促使此衰變現象之主要交互作用稱為「弱作用力（弱力）」

3. 作用範圍：④\_\_\_\_\_

#### 4. 作用反應式：

中子  $\rightarrow$  質子 + 電子 + 反微中子

$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}$

5.  $\beta$ 衰變會產生⑤\_\_\_\_\_，亦稱為 $\beta$ 射線。

衰變所產生的射線有三種，分別為 $\alpha$ 射線、 $\beta$ 射線、 $\gamma$ 射線（第七章詳細介紹）

本章節重點：

了解強力、弱力的功用、作用對象及範圍即可。不會有繁雜的計算....



我在想.....

海賊王驚點語錄

人生就像天氣預報，可以預料、卻往往出乎意料。

①穩定原子核 ② $10^{-15}$  m ③衰變 ④ $10^{-18}$  m ⑤高速電子束

## 4-4 自然界的基本作用力

### 一、作用力：

作用力又稱為「交互作用」，是基本粒子之間的交互影響。粒子間交互作用之後，會互相變化，有些消滅而產生其他粒子，並非粒子不滅的轉換（如化學變化間的原子不滅）。

### 二、四種基本作用力之比較：

作用力	相對強度	作用範圍	主要作用
重力 (萬有引力)	$10^{-38}$	無限制 (長程力)	星體間的作用 (大質量物體之運動)
電磁力	$10^{-2}$	無限制 (長程力)	帶電體之間
強作用力	1	約 $10^{-15}$ m (短程力)	結合質子與中子
弱作用力	$10^{-6}$	約 $10^{-18}$ m (短程力)	$\beta$ 衰變

### 自我練習：

- 四大基本作用力由大到小依序排列為：\_\_\_\_\_
- 那些作用力只侷限在原子核或更小的範圍內？\_\_\_\_\_
- 哪個作用力使原子核內的質子與中子緊密結合？\_\_\_\_\_
- 星體的運行軌跡需要用哪個作用力來探討？\_\_\_\_\_
- 促成單獨中子衰變的作用是哪個作用力？\_\_\_\_\_

### 我在想...

### 練習題 參考答案

- 強作用力 > 電磁力 > 弱作用力 > 重力
- 強作用力、弱作用力
- 強作用力
- 重力 (萬有引力)
- 弱作用力