

# 目次

## 1 緒論 2

- 壹 物理學簡介 3
- 貳 物理量的單位 6

## 2 物質的組成和交互作用 16

- 壹 原子與物質的三態 18
- 貳 原子與原子核的組成 21
- 參 物質間的基本交互作用 25

## 3 物體的運動 44

- 壹 運動的描述 46
- 貳 牛頓運動定律 69
- 參 克卜勒行星運動定律與萬有引力 94



## 4 電與磁的統一 102

- 電流的磁效應 104
  - 示範實驗一 載流導線的磁效應 106
- 電磁感應 109
  - 示範實驗二 電磁感應 111
- 波的性質與現象 113
- 光與電磁波 123
  - 示範實驗三 楊氏雙狹縫干涉 128

## 5 能 量 146

- 功與力學能 147
  - 示範實驗四 力學能守恆 152
- 能量的守恆 156
- 核 能 159
- 能源的有效利用與節約 166

## 6 量子現象 182

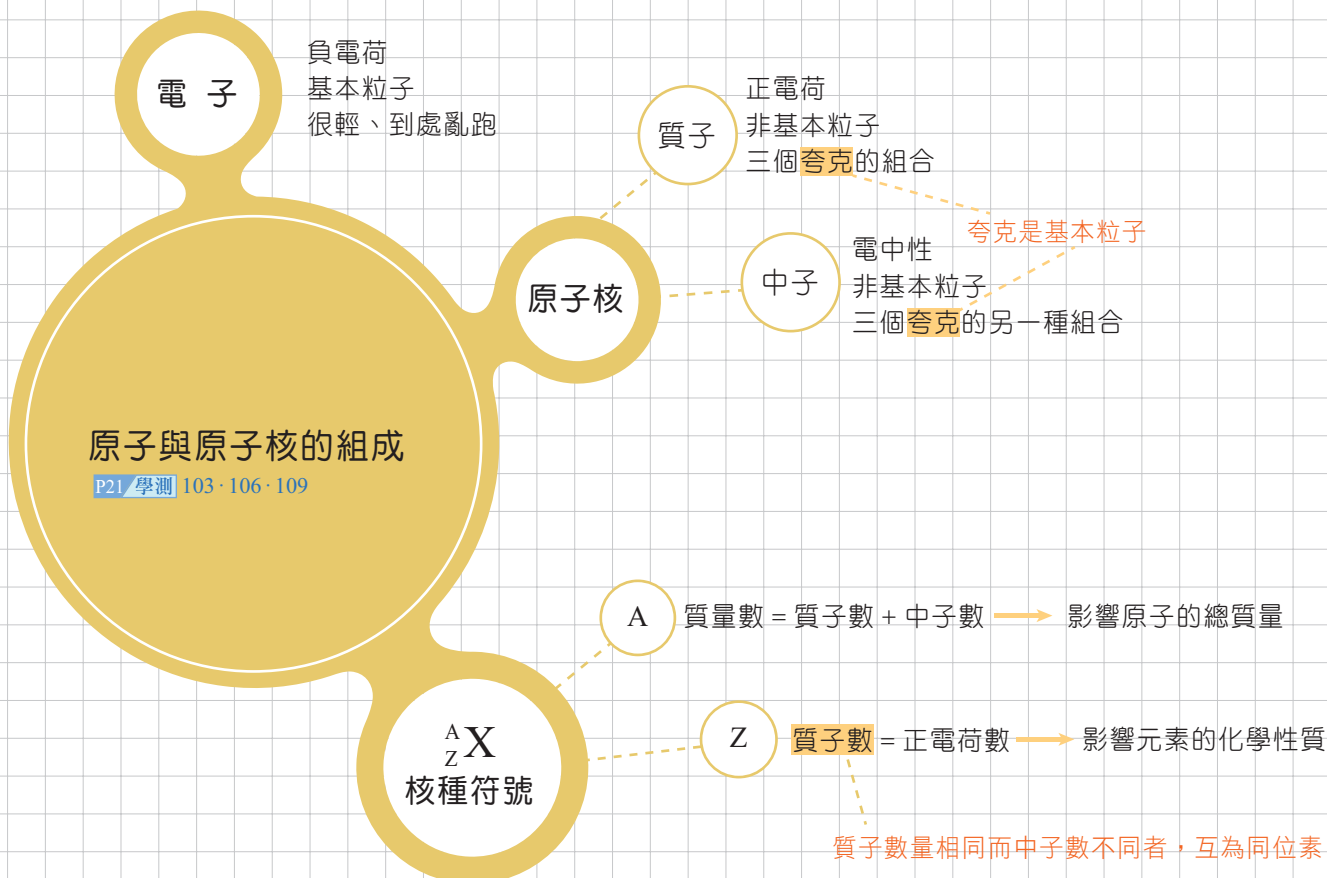
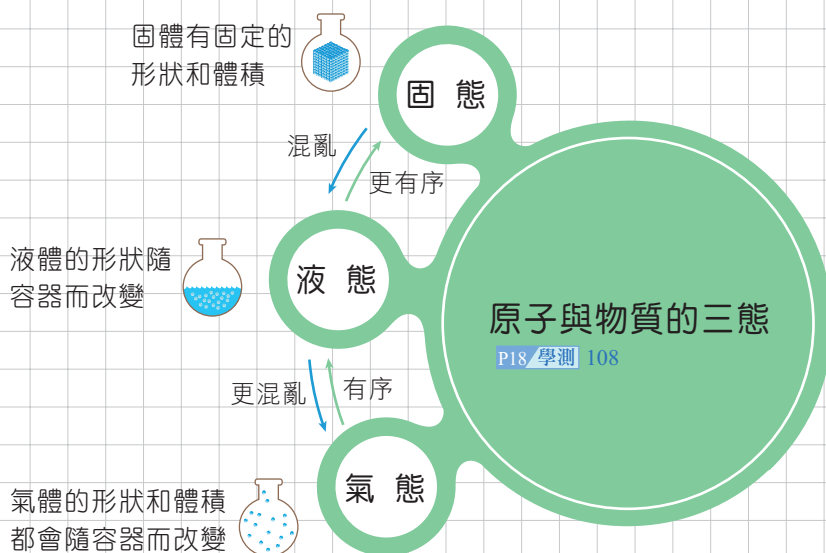
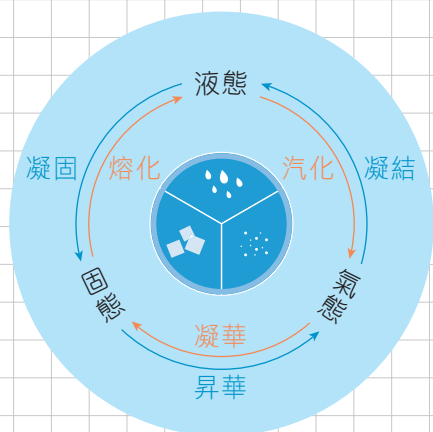
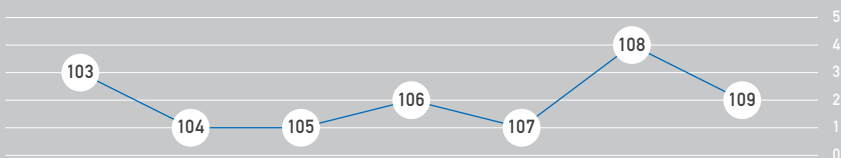
- 光電效應與光子 183
- 波粒二象性與量子論 186
- 原子光譜 189

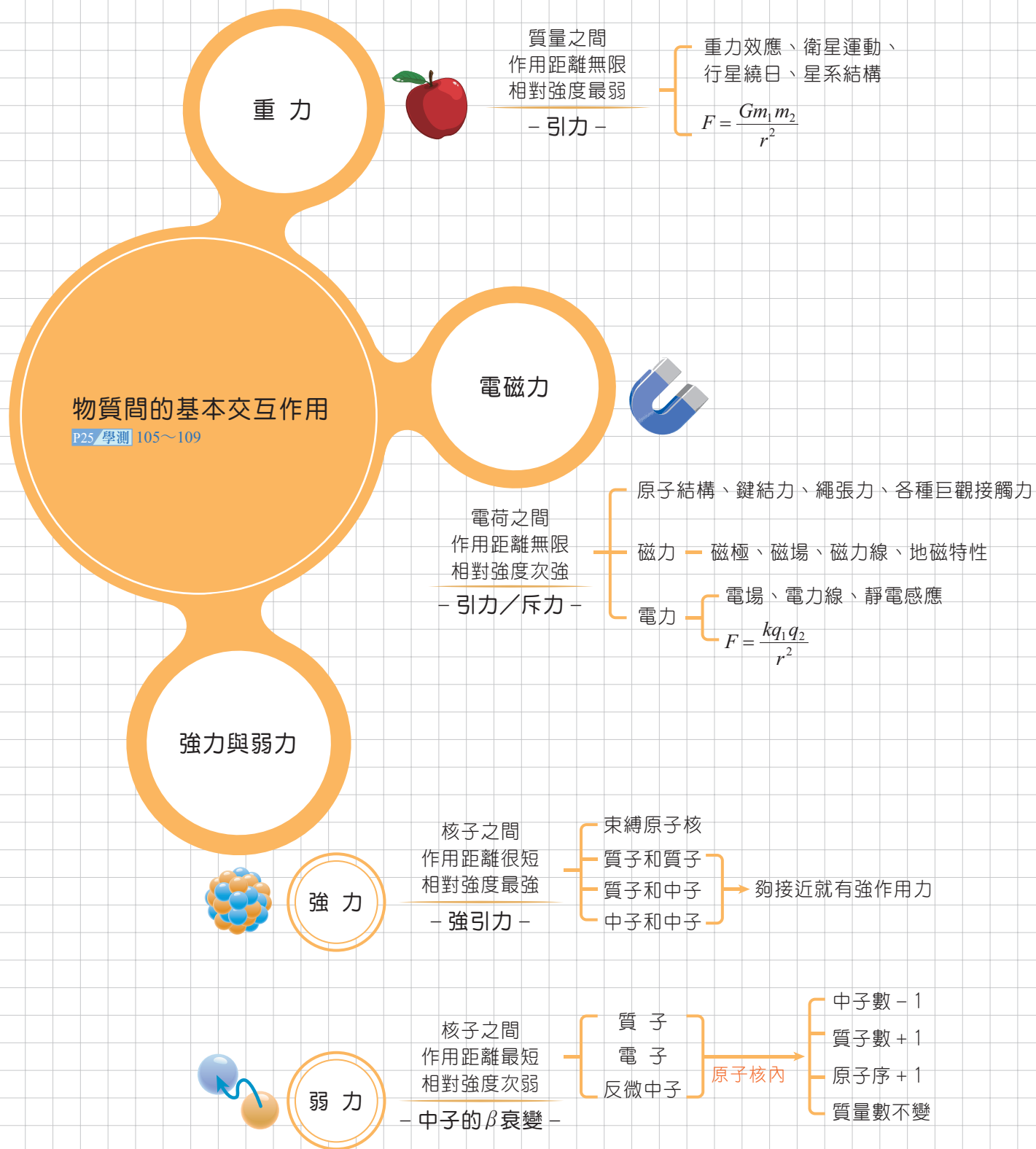
STATISTICS

歷屆學測命題數

YEAR

QUANTITY



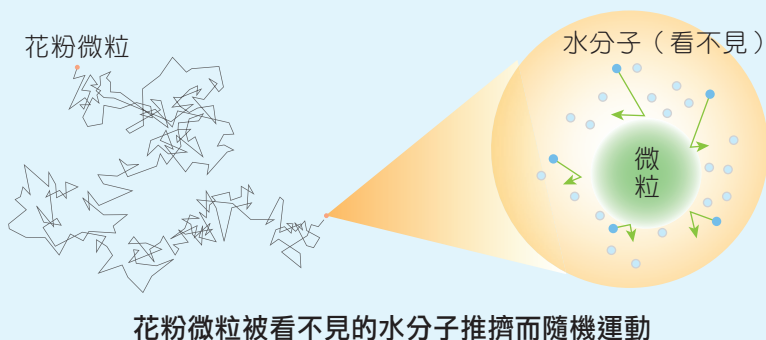




## 概念 1

## 原子論的起源與復興

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 起 源 | 古希臘哲學家 <u>留基伯</u> 、 <u>德莫克利特</u> 等人認為若將物質不斷的分割，終究會存在一個最小而無法再細分的基本單位，稱之為 <u>原子</u> 。原子的英文 (atom) 其字義即為「不可分割之物」                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 沒 落 | <p><u>亞里士多德</u>等人則主張萬物是由「水、火、土、氣」四種基本元素依不同比例所結合，稱為「四元素論」。四元素論是十七世紀之前，西方世界對物質組成的主流觀點，原子論則逐漸被漠視與淡忘</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 復 興 | <p>1. 十八世紀末，<u>拉瓦節</u>經由實驗測量得知化學反應前後的質量守恆，同時提倡不同物質是各由其元素所組成的。<u>拉瓦節</u>的元素說和古希臘並不相同，他不認為物質世界只有「水、火、土、氣」四種基本元素</p> <p>2. 1803 年<u>道耳頓</u>對氣體進行分析後，主張原子組成元素，且自然界中的各種原子就是物質世界的最基本單位，這是現代原子理論的濫觴</p> <p>3. 1827 年<u>英國</u>植物學家<u>布朗</u>發現<u>懸浮於水中的花粉微粒會持續進行不規則的折線式運動</u>，此一現象被稱為<u>布朗運動</u></p> <p>4. 1905 年<u>愛因斯坦</u>對<u>布朗運動</u>進行數學分析後，證明其運動行為顯示水是由許多微小粒子所組成的，此一說法後來又獲得實驗與理論支持，至此現代原子論才終於又成為科學界的共識</p> <p>5. 事實上，花粉微粒是因為其周圍有大量水分子在不停的熱運動，而碰撞的合力效應導致花粉微粒出現了隨機型態的<u>布朗運動</u></p> |



## 物理小筆記

水分子  
(看不見、熱運動)

↓ 密集又頻繁的碰撞

花粉微粒  
(被看見、布朗運動)

## 概念 2

## 原子的種類與大小

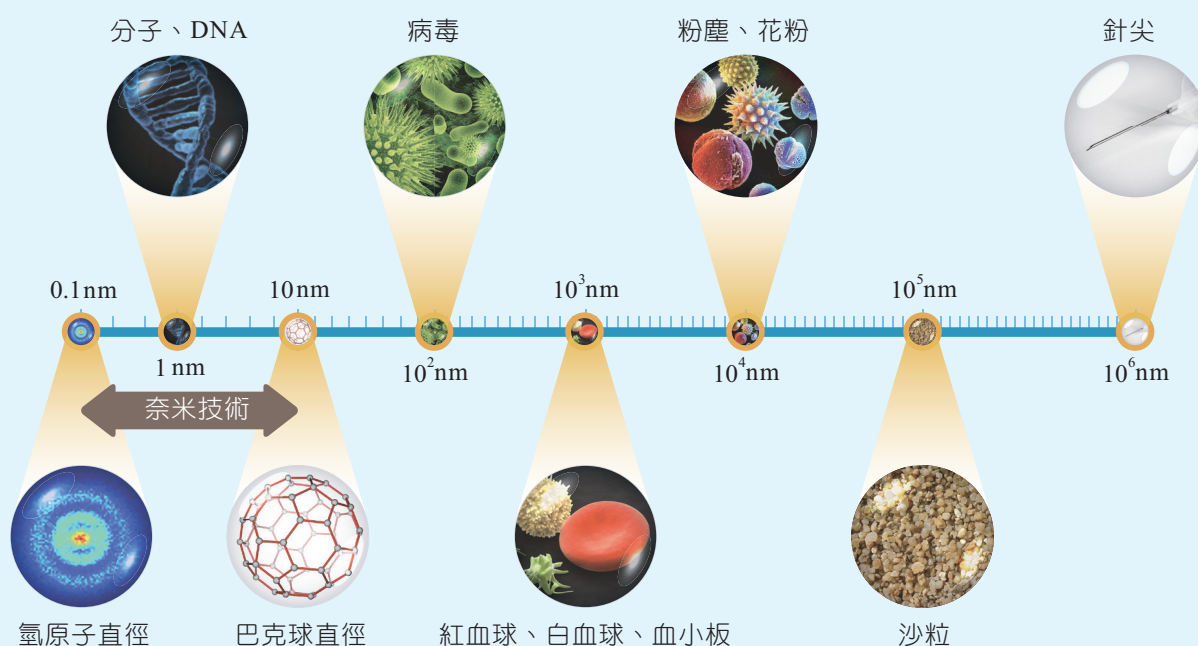
- 目前共有 118 種已知元素，其中 98 種存在於自然界，其餘則可由人工方法製得，但通常極不穩定，會在很短的時間內衰變成常見元素。
- 宇宙含量最多的元素是氫，約占有可見物質的  $\frac{3}{4}$ ，氦約  $\frac{1}{4}$ ，其他元素總合則不足  $\frac{1}{100}$ 。

### 3. 原子的質量與大小

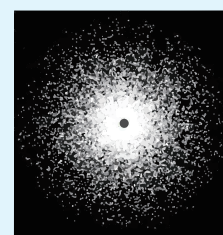
| 原 子    | 質 量                | 半 徑               |
|--------|--------------------|-------------------|
| 氫 (H)  | 1 amu <b>MIN</b>   | 0.53 Å            |
| 氦 (He) | 4 amu              | 0.31 Å <b>MIN</b> |
| 銩 (Fr) | 223 amu            | 2.98 Å <b>MAX</b> |
| 鰐 (Og) | 294 amu <b>MAX</b> | 1.52 Å            |

註 amu (atomic mass unit) 稱為原子質量單位， $1 \text{ amu} = 1.6 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

### 4. 幾種微小物體的尺度



5. 因為原子太小了，人類的視覺或觸覺均無法直接看見或感受到一顆獨立的原子，所以我們會需要一點想像力，但不要將原子想成是撞球這種邊界非常確切的東西，因為原子的外圍是一些分布於特定空間範圍但卻出沒不定的電子。依近代物理學的建議，我們可以把原子視為類似右圖般一個邊際有點模糊的非實心球體，此稱為電子雲模型。



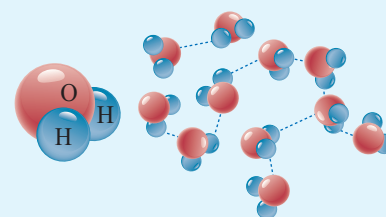
### 概念3 物質三態的原子觀點

1. **原子間的作用力**：當原子彼此距離夠近時，常會因為電荷間的庫侖力而結合在一起，化學上將這樣的作用稱為鍵結，依其鍵結特性與強弱又分為共價鍵、金屬鍵、離子鍵和氫鍵。另外，凡得瓦力是原子間最弱的作用力，一般不歸類於化學鍵。

2. **分子的形成**：原子會以特定的比例與結構而形成分子。

例 水分子是由一個氧原子與兩個氫原子所組成。

3. 分子形成的純物質其化學特性是決定於分子的特性而非其組成原子。



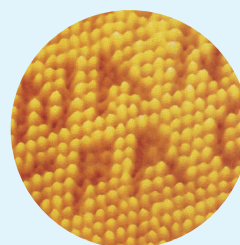
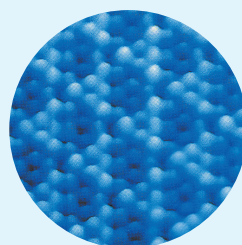
水分子及水分子間的氫鍵

4. 物質會因其組成的基本單元（原子或分子）間的作用力強弱與當時的溫度、環境壓力條件而呈現出不同的物態。



## 概念 4 原子的觀測及操控術

1. 掃描穿隧顯微鏡（STM）和原子力顯微鏡（AFM）兩者皆非光學顯微鏡，但可利用間接造影的方式描繪出個別原子的影像，並可移動單獨一顆原子以控制其形成特殊的排列方式。
2. 操控原子的可行性表示我們可以藉用人工排列和堆積原子的方式來製造新的材料，這種「由下而上」（bottom-up）的技術將使微化電子元件、奈米級材料開發及 DNA 重組等科技出現重大的進展。



左圖：STM掃描出的矽晶表面原子排列  
右圖：以STM將結晶表面一部分原子去除

### 範例 1 原子與物質三態

詳答參見詳解本 P.2

關於下列科學現象的敘述，何者正確？

- (A) 布朗在光學顯微鏡中看見了水分子的不規則運動
- (B) 物質在固態時其組成分子會被凍結而靜止不動
- (C) 所有物質在固態的密度都會較液態時大
- (D) 即使光學顯微鏡的放大倍數再增加，我們還是無法直接用眼睛看見一顆原子
- (E) 現代的科技還沒精密到可以單獨移動一顆原子

解



關於物質三態的性質比較，下列敘述何者正確？

- (A)溫度是影響物態變化的唯一因素
- (B)物質在氣態時，個別原子的質量會變輕
- (C)物質在液態時的體積必然較在固態時大
- (D)熱脹冷縮是因為物質被加熱後，個別原子的體積會變得較大
- (E)物質之組成分子間的作用力大小關係是：固態 > 液態 > 氣態

解

## 貳

# 原子與原子核的組成

### 概念1

### 原子的內部結構

#### 1. 電子與原子核

##### 1895年 電子的發現



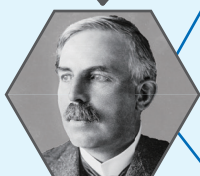
J.J. 湯姆森由陰極射線的實驗結果斷定所有的原子內部都含有一種帶**負電**的粒子，這種粒子我們現在稱之為**電子**，湯姆森也測出了電子的電荷與質量的比值

##### 1909年 油滴實驗



密立坎由油滴實驗測出電子的帶電量約為  $1.6 \times 10^{-19}$  庫侖，並據此推算出電子的質量僅約為  $9.1 \times 10^{-31}$  公斤。電子是科學史第一個被發現的基本粒子，也打破了早期認為原子是「不可分割」的概念

##### 1911年 原子核的發現



拉塞福的  $\alpha$  粒子散射實驗顯示，原子的質量大部分是集中在其中心很小的一個空間範圍，現稱之為**原子核**。原子核的直徑約為  $10^{-14} \sim 10^{-15}$  公尺，這差不多是原子本身大小的十萬分之一。換句話說，原子核外的空間中除了到處游移的電子之外，幾乎是空無一物

##### 1919年 質子的發現

拉塞福又發現了原子核內存在一種帶**正電**的**質子**，其質量為電子的 1836 倍

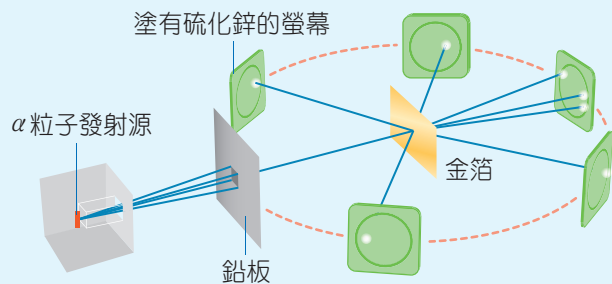
##### 1932年 中子的發現



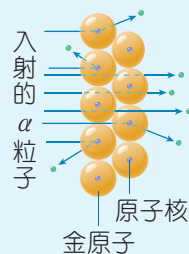
查克克證實原子核內還有另外一種電中性的**中子**，中子比質子稍微重一些，其質量為電子的 1839 倍。質子與中子被統稱為核子 (nucleon)，意即組成原子核的粒子

## 2. 原子的基本圖像：綜合以上發現，當時的科學家對原子提出了一種類似行星繞日的模型。

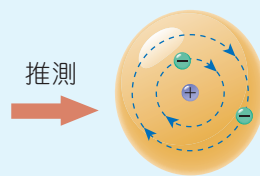
- (1) 原子核位於原子的中心處，體積很小但是卻占有原子的絕大部分質量。
- (2) 原子核內有質子和中子兩種粒子，故原子核帶**正電**。
- (3) 原子核外的電子因受到原子核的正電吸引而環繞原子核運轉。
- (4) 原子在一般情況下原子核內的質子數和核外的電子數相同，故原子會呈現電中性。



拉塞福利用 $\alpha$ 射線撞擊金箔的實驗示意圖



$\alpha$ 粒子散射路徑分析



由實驗結果，拉塞福確認原子核的存在，進而提出了行星模型

$\alpha$ 粒子的大角度散射讓拉塞福相信原子內大部分區域是空無一物的，所有的質量幾乎全集中在中心處

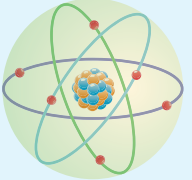
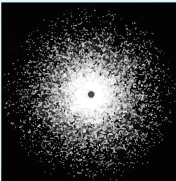
## 3. 原子序與質量數

|     |                                                                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原子序 | 原子核內的 <b>質子數</b> 即為該元素的原子序，這是因為質子數相同時，核外的電子數也會相同，而原子的電子數和軌域則影響了該元素的 <b>化學性質</b> ，同時也決定了元素在週期表中的合理序位 |
| 質量數 | 氫原子核內只有一個質子，其他元素的原子核內都有質子和中子，但兩者數目未必相同。 <b>質子數和中子數的總和稱為質量數</b> ，因為原子的質量近乎由此數目決定                     |

4. **同位素**：原子核內質子數相同而中子數不同的元素互為同位素，這些元素有相同的化學性質，應列於週期表中的同一序位。● 氫、氘、氚即互為同位素。

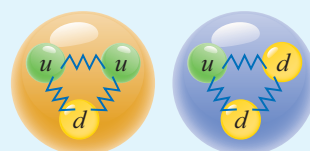
5. **原子核的表示法**：我們常以  ${}_Z^AX$  的符號來表示不同的核種，其中 X 為元素符號，Z 為質子數，A 為質量數（質子數 + 中子數）。● 氫 ( ${}_1^1\text{H}$ )、氘 ( ${}_1^2\text{D}$ )、碳 ( ${}_6^{12}\text{C}$ )。

6. 拉塞福提出的原子行星繞日模型有其不合理之處，後來量子力學認為把電子看成像行星一樣有著明顯又特定的軌道是錯誤的，電子應該是在原子核周圍依照某些規則而隨機出現才對，這樣的想法稱為電子雲模型。

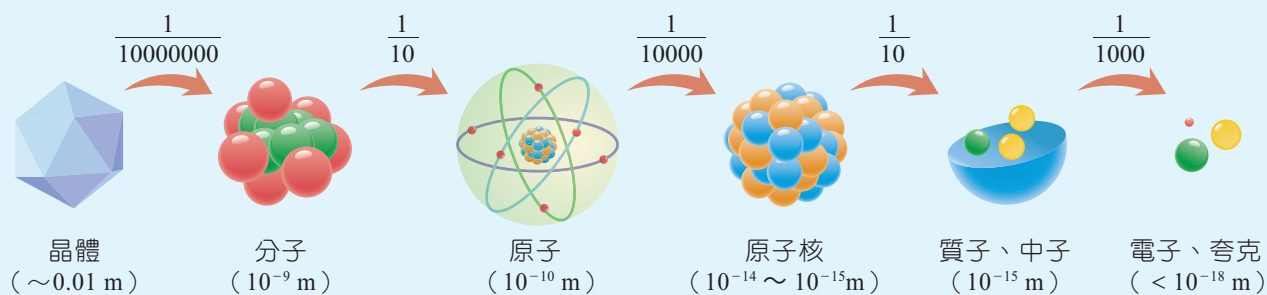
| 學說    | 內容                                          | 圖像                                                                                                                         |
|-------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 行星模型  | 早期認為電子受到原子核靜電力吸引而環繞原子核在特定軌道運行，就像行星環繞太陽運動的模式 |  <p>原子核<br/>電子</p> <p>電子會循著特定的軌道運行</p> |
| 電子雲模型 | 後來量子力學認為電子應該是在原子核周圍依照某些規則而隨機出現才對            |  <p>電子雲密度大處表示電子出現機率高</p>               |



1. **夸克理論**：自 1930 年後，科學家們建造了許多加速器來進行次原子粒子的碰撞實驗，結果發現自然界有更基本的粒子。1964 年蓋爾曼發表理論指出質子和中子都是由**夸克**這種基本粒子所組成的。
2. 1970 年後實驗室中陸續找到了六種不同的夸克，分別命名為上夸克、下夸克、奇夸克、魅夸克、頂夸克、底夸克。夸克不會單獨出現，而是以組合的型態存在。
3. 質子由 2 個上夸克（各帶電量  $+\frac{2e}{3}$ ）和 1 個下夸克（帶電量  $-\frac{e}{3}$ ）所組成，中子則是由 1 個上夸克（帶電量  $+\frac{2e}{3}$ ）和 2 個下夸克（各帶電量  $-\frac{e}{3}$ ）所組成。
4. 目前並無任何理論或實驗指出電子和夸克具有更小的內部結構，因此我們將電子和夸克視為是基本粒子之一，兩者的大小估計都小於  $10^{-18}$  公尺。



質子和中子各由 3 個夸克組成



由晶體至夸克的結構與大小示意圖

## 範例2 原子與原子核

詳答參見詳解本 P.3

下列關於原子的敘述，何者正確？

- (A) 原子核是電中性的 (B) 中子和質子都是基本粒子 (C) 中子的質量和電子差不多  
(D) 質子的帶電量較電子多 (E) 中子和質子都由夸克組成

解

類題

下列關於原子模型的描述，何者正確？

- (A) 原子內沒有帶電粒子  
(B) 原子的質量均勻分布於整個原子空間  
(C) 質子、中子和電子都是由夸克組成的  
(D) 原子的絕大部分質量是集中在原子核處  
(E) 原子內的正、負電荷均勻分布於整個原子空間

解

### 範例3 原子核的表示法

臺灣與世界上主要核電廠都採用鈾 235 ( ${}^{235}_{92}\text{U}$ ) 做為反應爐的燃料棒材料，但日本與法國則有部分核電廠是採用鈾 239 ( ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ ) 為燃料棒材料。這兩種元素的質子數與中子數各為何？

${}^{235}_{92}\text{U}$ ：質子數 = \_\_\_\_\_，中子數 = \_\_\_\_\_； ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ ：質子數 = \_\_\_\_\_，中子數 = \_\_\_\_\_。

解

類題

鈦是一種硬度極高的銀白色金屬，即使在 2000°C 的高溫下仍是最耐蝕、耐磨的材料，因此常被應用在高溫裝置或電子開關等地方。已知鈦的元素符號記為  ${}^{193}_{77}\text{Ti}$ ，則其質子數 = \_\_\_\_\_，中子數 = \_\_\_\_\_，質量數 = \_\_\_\_\_。

解

### 範例4 同位素

下列關於原子核的敘述，何者正確？

- (A) 原子核內一定會有中子
- (B) 同位素的質量數相同
- (C) 同位素的化學特性不相同
- (D) 原子核內的質子數和中子數一定相同
- (E) 質子數相同而中子數不同的元素互為同位素

解

類題

若自然界的銅元素中  ${}^{63}_{29}\text{Cu}$  含量 69%、 ${}^{65}_{29}\text{Cu}$  含量 31%，則銅的原子量約為何？（元素的原子量可由自然界中各同位素的質量及其存在比例計算而得）

- (A) 61.8
- (B) 63.6
- (C) 64.0
- (D) 64.5
- (E) 65.4

解

在 1970 年代以前，科學家不知道核子（質子或中子）為何可以被束縛在原子核內。當時已經知道原子核是由質子和中子組成，質子帶正電，中子不帶電。由於正電荷之間會互相排斥，帶正電的質子應該會造成原子核的裂解，但是卻沒有觀測到類似的現象，因此需要新的物理學說來解釋此一現象。科學家們因此提出有一種更強的吸引力存在，稱之為「強作用力」，並認為這是在質子和中子等核子之間的基本作用力。

但隨著夸克理論的成功，人們發現質子和中子並非基本粒子，它們都是由更小的夸克所組成。因此強作用力應該是首先扮演著將夸克聚集成為質子和中子的作用力，而核子之間的引力則是上述強作用力的副作用或是延伸效應。

因為強作用力在 0.8 fm（飛米）內極為強大，故夸克總是以聚合的型態存在，此稱為「夸克禁閉效應」，所以到目前為止我們還找不到單獨存在的夸克。而且夸克聚集成為質子或中子之後，強作用力似乎具有某種「中和」的效果，因此在 1～3 fm（飛米）之外，強作用力雖然仍大於電磁斥力因而能將核子聚集，但強度卻很快消弱。其減小的趨勢大約隨距離成指數型遞減（不過並沒有簡單的數學表示式），有的科學家稱此為「殘留強作用力」（residual strong force）。請依上文的內容，回答 1.～2.題：

- 上文中描述「夸克禁閉效應」時，提及強作用力在 0.8 fm（飛米）內極為強大，試由本文內容判斷 fm（飛米）應是以下哪種長度單位？\_\_\_\_\_
  - $10^{-3}$  公尺
  - $10^{-6}$  公尺
  - $10^{-9}$  公尺
  - $10^{-12}$  公尺
  - $10^{-15}$  公尺
- 對於文末提到夸克在組成核子（質子或中子）之後，對外的強作用力就會隨距離迅速消弱的現象，科學家們說：「這就類似於氫原子內的質子與電子藉由電磁力而形成了氫原子後，對外即呈現了巨觀上的電中性。故兩個氫原子在夠接近的條件下雖然還是可以因為電磁力而結合成氫分子，但其鍵結強度就會比原子內的質子與電子之間的電磁力弱很多了」。對於上述這種比喻方式，下列敘述哪些正確？（應選三項）\_\_\_\_\_
  - 氫原子內的質子與電子是要類比於組成核子的夸克
  - 氫原子是要類比於原子核
  - 氫原子是要類比於核子（質子或中子）
  - 氫分子是要類比於原子核
  - 氫原子之間的鍵結是要類比於核子內部夸克間的強作用力

英國愛丁堡大學的彼得·希格斯教授是 2013 年的諾貝爾物理獎兩位得主之一，表彰其「理論上發現次原子粒子質量起源的機制，且所預測的基本粒子後來被歐洲核子研究組織的大強子對撞機實驗找到，因而獲得證實」。根據粒子物理標準模型，我們所知的一切物質是由六個夸克與六個輕子組成，夸克可結合構成質子、中子。這些粒子受到四種基本相互作用，不同的相互作用會有各自的中介粒子，例如電磁作用的中介粒子是光子，夸克間強作用的中介粒子是膠子。

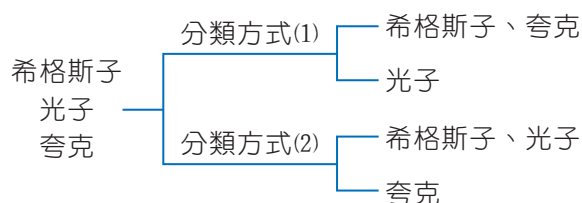
夸克的質量極大，若將其質量轉換成能量，遠大於可見光光子的能量，例如頂夸克質量高達約  $173 \text{ GeV}/c^2$ 。但夸克的質量是從哪裡來的呢？希格斯教授在 1964 年分別提出希格斯場的理論機制，他提出的模型大致是「在大霹靂之初，宇宙間還沒有粒子具有質量，但是希格斯場已經充斥宇宙的每一個角落，當粒子與希格斯場相互作用，夸克等粒子便獲得質量，希格斯子是希格斯場的振動所生的中介粒子」。

2012 年，歐洲核子研究組織的 ATLAS 與 CMS 實驗找到希格斯粒子。ATLAS 與 CMS 實驗，臺灣都有參加。這顆俗稱的「上帝粒子」讓科學家找了近五十年，終於找到並量測到其質量約  $126 \text{ GeV}/c^2$ ，完成了粒子物理標準模型的最後一塊拼圖。 命題：臺南一中 王俊乃老師

3. 根據上文資訊，請合理判斷希格斯教授在 2013 年獲得諾貝爾物理獎，主要表彰他的貢獻為下列何者？\_\_\_\_\_

- (A) 首先針提出問題：「為何粒子具有質量？」
- (B) 率先在大強子對撞機實驗之後，推測實驗結果背後可能的因果關係
- (C) 首先規劃與建立尋找希格斯子的實驗機構
- (D) 首先針對粒子為何具有質量的問題提出想法與模型假設
- (E) 首先發表大強子對撞機的實驗結果發現了希格斯子的報告

4. 某生在閱讀完上述短文後做心得報告，在報告中嘗試以(1)、(2)兩種方式對希格斯子、可見光光子及夸克等三種基本粒子做分類，如右圖。請合理判斷，從選項(甲)～(丁)選擇該生的分類方式並填入表格。



- (甲) 相互作用過程的中介粒子
- (乙) 帶電與不帶電
- (丙) 實驗發現
- (丁) 質量（或能量）的大小

| 分類方式(1) | 分類方式(2) |
|---------|---------|
|         |         |

5. 某生說，在閱讀上述短文後，他推論「觀察到希格斯子，猶如帶我們回到宇宙演化史中，\_\_\_\_\_剛產生的時期。」請根據上述短文，判斷空格的答案應該是下列何者？並摘錄上述短文的相關段落來作為證據，以支持你的答案。

- (甲) 氦原子核
- (乙) 氦原子
- (丙) 質子
- (丁) 夸克

| 空格答案 | 摘錄短文 |
|------|------|
|      |      |
|      |      |
|      |      |
|      |      |
|      |      |
|      |      |



● 原子與物質的三態

1.英國植物學家布朗在西元 1827 年發現水中的花粉微粒會進行不規則的折線式運動，此稱為布朗運動。下列有關布朗運動的敘述，何者正確？

- (A)微粒質量愈大時，布朗運動會愈明顯
- (B)微粒的布朗運動是水的對流所造成的
- (C)普朗克首先提出布朗運動的數學理論
- (D)微小粒子的布朗運動現象不是只有在水中才會出現
- (E)要用掃描穿隧顯微鏡（STM）才能觀察到微粒的布朗運動

2.若把水分子視為邊長 3 埃的正立方體，而操場的表面積是  $8000 \text{ m}^2$ ，則要用水分子鋪滿操場的表面至少需用多少克的水？（水的密度 =  $1 \text{ g/cm}^3$ ，亞佛加厥常數 =  $6.02 \times 10^{23}$ ）

- (A)  $2.4 \times 10^{-6}$
- (B)  $2.4 \times 10^{-3}$
- (C)  $1.2 \times 10^{-2}$
- (D) 2.4
- (E) 240

進階

● 原子與原子核的組成

3.已知六種夸克其符號與帶電量如下表，據此請判斷質子應該是由下述哪些夸克組成的？

| 種 類 | 上夸克<br>Up quark                             | 下夸克<br>Down quark | 奇夸克<br>Strange quark | 魅夸克<br>Charm quark | 底夸克<br>Bottom quark | 頂夸克<br>Top quark |
|-----|---------------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|---------------------|------------------|
| 符 號 | u                                           | d                 | s                    | c                  | b                   | t                |
| 電 量 | $+\frac{2}{3}e$                             | $-\frac{1}{3}e$   | $-\frac{1}{3}e$      | $+\frac{2}{3}e$    | $-\frac{1}{3}e$     | $+\frac{2}{3}e$  |
| 備 註 | 上列中 e 代表一個電子的電荷量，即 $1.6 \times 10^{-19}$ 庫倫 |                   |                      |                    |                     |                  |

- (A) 1 個上夸克、1 個下夸克
- (B) 1 個上夸克、1 個魅夸克
- (C) 1 個上夸克、2 個下夸克
- (D) 2 個上夸克、1 個下夸克
- (E) 1 個下夸克、2 個奇夸克

4.科學家們在目前的基本粒子「標準模型」中，認為基本粒子可分為費米子和玻色子兩類，而費米子又有夸克（quarks）和輕子（leptons）兩大家族，電子即屬於輕子的一種。下列關於夸克和電子的敘述何者正確？

- (A)電子是由夸克所組成的
- (B)目前所找到的夸克共有六種
- (C)夸克可組成質子但不能組成中子
- (D)夸克的帶電量與電子相同
- (E)夸克所帶的電性皆為正電

詳答參見詳解本 P.5

5.自然界中的碳元素有 98.89% 是  $^{12}\text{C}$ ，而其放射性同位素  $^{14}\text{C}$  含量約只有百萬分之一， $^{14}\text{C}$  通常是經由宇宙射線對空氣中的氮原子撞擊而產生的，因其具有放射性，且半衰期約 5730 年，故常被作為考古學上鑑定古物年代之用。下列有關  $^{12}\text{C}$  與  $^{14}\text{C}$  的敘述，何者正確？

- (A)  $^{12}\text{C}$  有 6 個質子、6 個中子
- (B)  $^{12}\text{C}$  和  $^{14}\text{C}$  有相同的中子數
- (C)  $^{14}\text{C}$  有 8 個質子、6 個中子
- (D)碳元素只有  $^{12}\text{C}$  和  $^{14}\text{C}$  兩種同位素
- (E)元素週期表上碳的原子量主要是由  $^{14}\text{C}$  在決定

2011 年 3 月 11 日下午，臺北時間 1 點 46 分，日本東北部發生了一個規模 9.0 的大地震又引發海嘯，造成當地居民嚴重的生命和財產損失，並導致福島第一核電廠的輻射物質外洩。當時在福島核電站周圍檢測到的放射性物質主要是銫-137 和碘-131，其中銫-137 會造成人體造血系統和神經系統的損傷，而碘-131 若被人體吸收後，其  $\beta$  衰變過程中的放射線將會對甲狀腺體產生極大的傷害。

一般用以防止碘-131 進入甲狀腺的方法是先食用內含非放射性碘-127 的碘片（碘化鉀），使人體甲狀腺內的碘達成飽和，可使甲狀腺不再吸收放射性碘-131。但由於碘片對於核子事故釋放的其他放射性物質並無保護作用，過早服用也無助於避免吸收放射性碘-131，反而有可能產生影響記憶力、造成甲狀腺亢進等作用，因此衛生署呼籲民眾務必應遵照醫師指示，切勿隨意服用碘片以免危害身體健康。請回答 6.~ 7.題：

6. 上述短文中提及服用含有碘-127 的碘片後，就可以使人體的甲狀腺避免再吸收到放射性碘-131。關於此一現象的成因，下列敘述何者正確？

- (A) 碘-127 和碘-131 具有相同的質量
- (B) 碘-127 的活性較碘-131 大
- (C) 碘-127 和碘-131 具有相同的化學性質
- (D) 碘-127 和碘-131 的原子核皆帶正電，故會互相排斥
- (E) 碘-131 對人體的傷害來自於其特殊的化學性質

7. 關於碘-127 ( $^{127}_{53}\text{I}$ ) 和碘-131 ( $^{131}_{53}\text{I}$ ) 的敘述，下列何者正確？

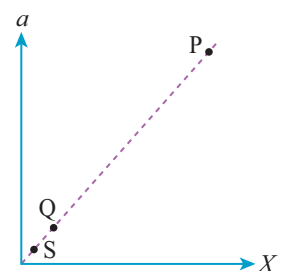
- (A) 碘-127 的質量數是 53
- (B) 碘-127 的原子核內有 127 個質子
- (C) 碘-131 的原子核內有 131 個中子
- (D) 碘-131 的原子核內有 78 個中子
- (E) 電中性的碘-127 和碘-131 的原子核外各有 127 和 131 個電子

#### ● 物質間的基本交互作用

8. 某生為驗證萬有引力與距離間的關係，分別測量了地表附近下落的蘋果、地球的同步衛星和月球繞地公轉這三種運動相對地心的加速度  $a$ ，整理後作出右圖（僅為示意，未依實際比例）。

下列對於右圖的敘述，哪些正確？（應選二項）

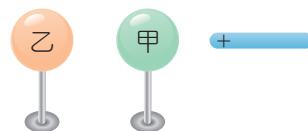
- (A) 圖中橫軸  $X$  應為物體到地心的距離平方值
- (B) 圖中橫軸  $X$  應為物體到地心的距離平方值之倒數
- (C) 圖中 P、Q、S 依序標示的是蘋果、同步衛星、月球
- (D) 圖中 P、Q、S 依序標示的是蘋果、月球、同步衛星
- (E) 圖中 P、Q、S 依序標示的是月球、同步衛星、蘋果



9. A、B 兩顆人造衛星質量比為 3：1，皆繞地球作等速率圓周運動，且其軌道距地表之高度分別為  $R$ 、 $3R$  ( $R$  為地球半徑)，則 A、B 兩衛星加速度大小之比為何？

- (A) 2：1
- (B) 3：3
- (C) 4：1
- (D) 9：1
- (E) 27：1

10. 如右圖示，甲、乙兩金屬球相距甚近但未接觸，皆以絕緣棒豎立於地面上，今取一帶正電玻璃棒自右方靠近甲球，以手觸摸乙球後先移開手再移開玻璃棒，則下列敘述何者正確？

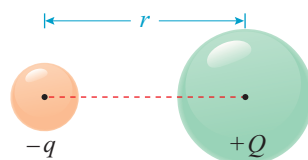


- (A) 乙球為電中性
- (B) 乙球帶正電
- (C) 甲球帶負電
- (D) 甲球帶正電
- (E) 甲、乙兩球間會有靜電引力

11. 質子質量為  $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ，電子質量為  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ，兩者帶電量皆為  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，萬有引力常數  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ，真空中庫倫常數  $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 。當質子與電子相距  $0.1 \text{ nm}$  時，彼此間之靜電力與萬有引力大小之比值約為何？

- (A)  $10^{39}$
- (B)  $10^{25}$
- (C)  $10^{10}$
- (D) 1
- (E)  $10^{-10}$

12. 兩均質金屬球分別帶有異性電荷  $+Q$ 、 $-q$ ，質量分別為  $M$ 、 $m$ ，兩球心相距  $r$ ，而  $r$  略大於兩球半徑之和。若測得兩球之間的庫倫力大小為  $F_1$ ，萬有引力大小為  $F_2$ ，庫倫常數  $k$ 、萬有引力常數  $G$ ，電子質量甚小可不計，則下列何者正確？



- (A)  $F_1 > \frac{kQq}{r^2}$ ， $F_2 > \frac{GMm}{r^2}$
- (B)  $F_1 = \frac{kQq}{r^2}$ ， $F_2 = \frac{GMm}{r^2}$
- (C)  $F_1 < \frac{kQq}{r^2}$ ， $F_2 < \frac{GMm}{r^2}$
- (D)  $F_1 > \frac{kQq}{r^2}$ ， $F_2 = \frac{GMm}{r^2}$
- (E)  $F_1 > \frac{kQq}{r^2}$ ， $F_2 < \frac{GMm}{r^2}$

進階

13. 下列關於強作用力的敘述，何者正確？

- (A) 任何粒子間只要距離夠近就會出現強作用力
- (B) 只有中子和中子間才會出現強作用力
- (C) 只有質子和中子間才會出現強作用力
- (D) 兩個質子相距  $10^{-10} \text{ m}$  時，彼此間之強作用力  $>$  靜電力
- (E) 兩個質子相距  $10^{-16} \text{ m}$  時，彼此間之強作用力  $>$  靜電力

14. 以下何者是和弱交互作用有關的現象？

- (A) 行星繞日運動
- (B) 氣體放電現象
- (C) 中子的  $\beta$  衰變
- (D) 分子間的凡得瓦力作用
- (E) 鈉離子和氯離子會形成離子鍵

15. 目前所知自然界四種基本交互作用力的相對強弱關係，下列何者正確？

- (A) 強力  $>$  電磁力  $>$  萬有引力  $>$  弱力
- (B) 強力  $>$  電磁力  $>$  弱力  $>$  萬有引力
- (C) 強力  $>$  弱力  $>$  電磁力  $>$  萬有引力
- (D) 強力  $>$  萬有引力  $>$  電磁力  $>$  弱力
- (E) 強力  $>$  電磁力  $>$  萬有引力  $=$  弱力

2015 年諾貝爾物理學獎是由研究微中子振盪現象的梶田隆章和阿瑟·麥克唐納共同獲得。他們分別以不同的方法證實了微中子會在不同的狀態間進行轉換，而此種轉換現象表示微中子確實是具有微小的質量。

科學家表示，雖然微中子的數量在宇宙極多（僅次於光子），但是因為它很小又不帶電，而且不會感受到在原子核內把質子與中子緊箍在一起的作用力，因此是極難以被捕捉到的基本粒子。請回答 16.~17.題：

- \_\_\_\_\_ 16.上文中所謂「原子核內把質子與中子緊箍在一起的作用力」，指的應是下列何者？
- (A)萬有引力 (B)強作用力  
(C)弱作用力 (D)磁力  
(E)電力
- \_\_\_\_\_ 17.依據文章內容，若要設計一個能直接偵測到微中子的裝置，也許可以從物質間的哪些基本交互作用著手？（應選二項）
- (A)強作用力 (B)弱作用力  
(C)電力 (D)磁力  
(E)萬有引力

### 歷屆經典考題

- \_\_\_\_\_ 1.兩個點電荷間的斥力原為  $F$ 。若其中一個點電荷的電量，增加為原來的兩倍，且兩個點電荷間的距離，也增加為原來的兩倍，則其斥力為何？
- (A)  $4F$  (B)  $2F$  (C)  $F$   
(D)  $\frac{F}{2}$  (E)  $\frac{F}{4}$

90 學測

西元 1808 年，道耳頓提出原子說，主張物質是由原子所組成，其後，亞佛加厥提出分子的概念。然而原子與分子到底有多大？究竟一克的氫氣有多少個原子？用現在的說法，一莫耳的原子或分子是多少？這個問題，早已由美國著名的政治家也是科學家富蘭克林，在西元 1773 年寫給朋友的一封信中提及。他曾將一茶匙的油倒在湖面上，發現油會迅速擴張，直到蓋住約半畝的湖面就不再擴張了。假設油分子的形狀是正立方體，此實驗中一茶匙油的體積約為 5.0 立方公分，半畝湖面的面積約為  $2 \times 10^7$  平方公分，油的密度約為 0.95 克／立方公分。請回答 2.~4.題：

91 學測補考

2. 假設覆蓋在湖面的油層只有一個分子厚，則一個油分子的大小約為多少埃？\_\_\_\_\_
- (1 埃 =  $10^{-8}$  公分)
3. 湖面上約有多少個油分子？\_\_\_\_\_
4. 假設油分子的質量為每莫耳 200 克，根據富蘭克林的觀察做估算，一莫耳油中所含分子的數目約為何？\_\_\_\_\_



5. 在大氣中飛行的民航飛機，與在太空中沿圓形軌道運行的人造衛星，都受到地球重力的作用。下列有關民航飛機與人造衛星的敘述，何者正確？

| 61% 答對率 | 92 學測

- (A) 飛機在空中飛行時，機上乘客受到的地球重力為零
- (B) 人造衛星內的裝備受到的地球重力為零，因此是處於無重量的狀態
- (C) 人造衛星在圓形軌道上等速率前進時，可以不須耗用燃料提供前行的動力
- (D) 飛機在空中等速率前行時，若飛行高度不變，則不須耗用燃料提供前行的動力

6. 溴的原子序為 35，已知溴存在兩個同位素，其百分率幾近相同，而溴的原子量為 80，則溴的兩個同位素中的中子數分別為何？

- (A) 43 和 45
- (B) 79 和 81
- (C) 42 和 44
- (D) 44 和 46
- (E) 45 和 47

| 50% 答對率 | 94 學測

7. 科學博覽會實驗者站在塑膠凳子上，以手指接觸高達上萬伏特高電壓的金屬球，但見他頭髮直豎，人卻安然無恙。下列的物理解釋何者正確？（應選二項）

| 34% 全對率 | 96 學測

- (A) 手指接觸高電壓金屬球後，頭髮帶同性電荷，所以頭髮直豎
- (B) 手指接觸高電壓金屬球後，頭髮與高電壓相斥，所以頭髮直豎
- (C) 手指接觸高電壓金屬球後，塑膠凳將身體電荷導入地面，故不被電擊
- (D) 身體雖與高電壓金屬球等電位，但因塑膠凳將身體與地面隔絕，故不會被電擊
- (E) 人體為電的不良導體，故不會被電擊

詳答參見詳解本 P.6

某元素有兩種同位素。一種為  $^{10}_5\text{X}$ ，質量為 10.0129 amu，占 19.91%；另一種為  $^{11}_5\text{X}$ ，質量為 11.0093 amu，占 80.09%。根據以上資料，請回答 8.~ 9.題：

97 學測

8. 元素 X 的原子量是下列哪一個？（取到二位小數）

- (A) 5.00
- (B) 10.01
- (C) 10.50
- (D) 10.81
- (E) 11.01

| 54% 答對率 |

9. X 原子最外層有幾個電子？

- (A) 1
- (B) 2
- (C) 3
- (D) 4
- (E) 5

| 26% 答對率 |

10. 福衛三號衛星系統的衛星繞行於距離地面約 800 公里高度的軌道上，假設衛星作等速率圓周運動，則下列有關此衛星繞地球運轉的敘述，哪些正確？（應選二項）

- (A) 萬有引力作為衛星繞地球運轉所需的向心力
- (B) 衛星的加速度沿其軌道切線方向，並與其切線速度同向
- (C) 衛星的加速度沿其軌道切線方向，並與其切線速度反向
- (D) 衛星的加速度方向和衛星與地心之連線方向平行，且為指向地心方向
- (E) 衛星的加速度方向和衛星與地心之連線方向平行，且為指離地心方向

| 31% 全對率 | 99 學測

11. 下列關於  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  (質量數 210) 原子及  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  (質量數 226) 原子的敘述，何者正確？

- (A)  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  和  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  兩種原子核中的中子數相差 16
- (B)  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  和  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  兩種原子核中的質子數相差 16
- (C)  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  和  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  兩種原子中的電子數相差 4
- (D) 釷和鐳兩個元素，在自然界都不存在
- (E) 釷和鐳的放射性都是源自其原子核釋出 X 光

| 64% 答對率 | 101 學測

12. 質子和中子能組成穩定的原子核結構，下列哪些選項是其主要原因？(應選三項)

- (A) 質子和質子間的電磁力
- (B) 質子和中子間的電磁力
- (C) 質子和質子間的強作用力
- (D) 質子和中子間的強作用力
- (E) 中子和中子間的強作用力
- (F) 中子和中子間的弱作用力

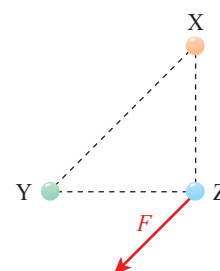
| 32% 全對率 | 102 學測

13. 銀有兩種同位素，其原子質量為 107 amu 和 109 amu，而其天然含量分別為 51.35% 及 48.65%，故銀的平均原子量為 107.9 amu。試問任一銀原子，其原子質量為 107.9 amu 的機率(%) 為何？

- (A) 0
- (B) 2.70
- (C) 48.65
- (D) 51.35
- (E) 100

| 57% 答對率 | 103 學測

14. 三個點電荷 X、Y、Z 位於等腰直角三角形的三個頂點如右圖所示，Z 所受 X、Y 的庫倫靜電力之合力為  $F$ 。若 X 與 Y 的位置互換，而 Z 的位置不變，則下列何者為 Z 所受 X、Y 的庫倫靜電力之合力方向？



- (A)
- (B)
- (C)
- (D)
- (E)

| 54% 答對率 | 103 學測

15. 太陽內部核融合的反應速率相當穩定，足以持續提供地球 100 億年的能源需求。根據研究，影響核融合反應速率的主要作用力，與中子衰變成質子、電子和另一個稱為反微中子的電中性粒子的過程，屬於同一種基本交互作用。由此可知下列何者為影響核融合反應速率的主要作用力？

- (A) 靜電力
- (B) 強力
- (C) 弱力
- (D) 重力 (萬有引力)
- (E) 電力與磁力

| 51% 答對率 | 103 學測

16. 下列選項中的示意圖，顯示在靜止狀態下，電荷、金屬球、磁鐵之間的交互作用力，圖中各箭號的指向與長度，分別代表受力的方向與量值。若(A)(B)(E)三選項中，兩箭號的長度相等，則哪些圖正確？(應選二項)

- (A) 帶正電點電荷  $\rightarrow$   $\leftarrow$  電中性金屬球
- (B) 帶正電點電荷  $\rightarrow$   $\leftarrow$  帶正電點電荷
- (C) 帶正電點電荷  $\rightarrow$   $\leftarrow$  帶負電點電荷
- (D) 磁鐵  $\rightarrow$   $\leftarrow$  磁鐵
- (E) 磁鐵  $\rightarrow$   $\leftarrow$  磁鐵

| 45% 全對率 | 104 學測

(1)、(2)答案顛倒亦可

【測驗能力】論證與建模：由資料數據的變化趨勢，看出其蘊含的意義

【無法得分或只能得到部分分數的答案】

(1)單擺週期、(2)擺角平方，錯誤處是應為關係圖要通過原點才能是兩物理量成正比；或是忽視擺角平方，而寫錯答案為(1)單擺週期的變化、(2)擺角的變化

### 模擬精選試題

試題參見講義 P.12 ~ 14

- 1.(E) 2.(D) 3.(D) 4.(C) 5.(B) 6.(C) 7.(E) 8.(D)  
9.(B) 10.(D)

- (A)古典與近代物理的分野在於 1900 年量子論的提出  
(B)靜電庫侖定律是古典物理電磁學的一部分  
(C)在運動速度較慢時，狹義相對論中的公式會近似於古典物理中的結論。換句話說，我們可以將古典物理的公式視為是相對論中，當物體運動速度遠小於光速時的特例  
(D)物體接近光速時的運動現象，需配合相對論說明，這也是近代物理學的範疇  
(E)電子的行為以量子力學描述，是近代物理學的範疇
- 牛頓推論出地表落體及行星繞日運動所需的力，其實都是一種與距離平方成反比的引力
- 現行的長度單位設定基準是將光在真空中前進  $\frac{1}{299792458}$  秒內所移動的距離定義成 1 公尺，而此設定的前提就是把真空中的光速視為定值
- (A) 1 毫米 = 1 mm =  $10^{-3}$  m  
(B) 1 奈米 = 1 nm =  $10^{-9}$  m =  $10^{-12}$  km  
(C) 1  $\mu$ A =  $10^{-6}$  A =  $10^{-3}$  mA  
(D) 1 Å =  $10^{-10}$  m = 0.1 nm  
(E) 1 km =  $10^3$  m =  $10^5$  cm
- 1 牛頓的力量可使 1 公斤的物體出現 1 公尺/秒<sup>2</sup> 的加速度，依此定義可知 1N = 1kg · m/s<sup>2</sup>
- 紅血球的直徑為 0.001 毫米 =  $10^{-6}$  m，原子的平均直徑為  $10^{-10}$  m，若紅血球的體積中可容納  $N$  個原子，則一個紅血球的體積 =  $N$  個原子的體積，而體積與直徑的三次方成正比（不論用立方體或球體來看這關係都會成立），故  $(10^{-6} \text{ m})^3 = N \times (10^{-10} \text{ m})^3 \Rightarrow N = 10^{12}$ （個）
- 非洲之星的體積  
$$= \frac{\text{質量}}{\text{密度}} = \frac{530 \times (200 \times 10^{-3} \text{ g})}{3.52 \text{ g/cm}^3} \approx 30.1 \text{ (cm}^3\text{)}$$
- 設金薄片的面積  $A$ ，質量 = 密度 × 體積  
$$\Rightarrow 1 \text{ kg} = 19.3 \times \frac{10^{-3} \text{ kg}}{(10^{-2} \text{ m})^3} \times (1 \times 10^{-6} \text{ m}) \times A$$
$$\Rightarrow A \approx 51.8 \text{ (m}^2\text{)}$$
- $t = \frac{5500 \times 10^4}{100 \times 24 \times 365} \approx 63 \text{ (年)}$

$$10. t = \frac{5500 \times 10^4 \times 10^3}{3 \times 10^8 \times 60} \approx 3 \text{ (分鐘)}$$

### 歷屆經典考題

試題參見講義 P.14 ~ 15

- 1.(D) 2.(E) 3.(C) 4.(B) 5.(B)

- 使用的碳總量 = 每條碳管質量 × (十億條)  
$$= (7.2 \times 10^{17} \times \frac{12 \times 10^{-3}}{6.02 \times 10^{23}}) \times 10^9 \approx 14.4 \text{ (公斤)}$$
- 因空氣的密度遠小於玻璃，故可假設有氣泡的玻璃其質量與不含氣泡時相等，且設其中玻璃的體積為  $V$ ，而氣泡的體積為  $V'$ ，則  $2.5 \times V = 2.3 \times (V + V')$   
$$\Rightarrow \frac{V'}{V} \approx 0.08 = 8\%$$
- 因為金和銀的密度都比水大，可知此合金的平均密度會大於水，置入水中為一沉體，故排開水的體積 = 合金的體積  
$$= \frac{500 \times 0.9}{19.3} + \frac{500 \times 0.1}{10.5} \approx 28.1 \text{ (cm}^3\text{)}$$
- 外星人身體的平均密度  
$$d = \frac{\text{質量}}{\text{體積}} = \frac{8 \times 4}{0.8 \times (0.5)^3} = 320 = 3.2 \times 10^2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$
- (甲)牛頓發現萬有引力  
(乙)德布羅意提出物質波理論  
(丙)法拉第發現並整理出電磁感應定律  
(丁)庫倫發現電荷間的靜電力與距離平方成反比關係  
(戊)愛因斯坦提出光子（光子）假說，合理的解釋了光電效應

## 2

## 物質的組成和交互作用

試題參見講義 P.20 ~ 33

### 範例 1 (D)

- 布朗看見的是花粉微粒，而非水分子本身的運動
- 固態時組成分子仍會在晶格上微幅振動
- 這和物質凝固時結晶的方式有關
- 分子的大小只有數個埃，而可見光的波長則在 3800 埃 ~ 7700 埃之間，所以用光學顯微鏡無法直接看見任何一顆獨立的原子或分子
- 現代的科技已經可以移動一顆獨立的原子

### 類題 (E)

- 物質所受的壓力大小也會影響其當時的物態
- 物質在氣態時，個別原子的質量仍是不變的，但因原子的距離擴大，故物質平均密度會減小
- 不一定，這和物質形成固態時的結構方式有關，冰融化成水時體積就是變小的
- 熱脹冷縮是因為物質被加熱後，個別原子的振動幅度變大、原子間間隙變大造成的效果。不過也有些物質是熱縮冷脹，例如生鐵、銻、鉍和聚乙烯材料等

(E)物質之組成分子間的作用力大小關係決定了分子的聚合形態與特性

**範例 2** (E)

- (A)原子核是帶正電
- (B)中子和質子都由夸克組成，不算是基本粒子
- (C)質子的質量約是電子的 1836 倍，中子約為 1839 倍
- (D)質子的帶電量和電子相同
- (E)中子和質子各由三個夸克組成

**類題** (D)

- (A)原子內的電子和質子都帶有電荷
- (B)原子的質量幾乎都集中在原子核處
- (C)質子、中子是由夸克組成的，但電子不是
- (D)原子核內質子和中子的質量都約為電子的 1840 倍
- (E)原子內的正電荷集中在原子核處，負電荷（電子）則分布於核外的空間中

**範例 3** 92；143；94；145

$^{235}_{92}\text{U}$  質子數 = 92，中子數 =  $235 - 92 = 143$

$^{239}_{94}\text{Pu}$  質子數 = 94，中子數 =  $239 - 94 = 145$

【補充】 $^{239}_{94}\text{Pu}$  毒性極強，半衰期約兩萬四千年，可用以製造核子武器，1945 年 8 月 9 日在日本長崎市爆炸的原子彈其內核即為鈾

**類題** 77；116；193

$^{193}_{77}\text{Ir}$  質子數 = 77，中子數 =  $193 - 77 = 116$ ，質量數 = 193

**範例 4** (E)

- (A)氫原子核就只是一個質子
- (B)因為中子數不同，故質量數會不同
- (C)同位素因核外電子軌域結構相同，故化學特性也會相同
- (D)原子核內質子數和中子數不一定會相同
- (E)氫、氘、氚就是互為同位素

**類題** (B)

銅的原子量 =  $0.69 \times 63 + 0.31 \times 65 \approx 63.6$  (克／莫耳)

**範例 5** 11.8

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \propto \frac{m_{\text{行星}}}{r^2}$$
$$\Rightarrow \frac{F_{\text{木星}}}{F_{\text{地球}}} = \frac{m_{\text{木星}}}{m_{\text{地球}}} \times \left(\frac{r_{\text{地球}}}{r_{\text{木星}}}\right)^2 = \frac{318}{1} \times \left(\frac{1}{5.2}\right)^2 \approx 11.8$$

**類題** (E)

物體所受重力大小與其距地心距離平方成反比：

$$\frac{W'}{W} = \left(\frac{R}{3R}\right)^2 = \frac{1}{9}, W' = \frac{W}{9}$$

**範例 6** (A)(C)

(A)不論是圓周軌道的圓心或橢圓軌道的焦點都會在軌道的

平面上

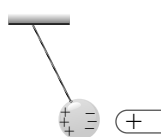
- (B)衛星軌道平面不一定要與赤道面重合
- (C)平方反比的引力作用下，衛星的軌道可為正圓或橢圓
- (D)衛星只有受到萬有引力作用
- (E)衛星可為等速率正圓軌道或變速率橢圓軌道運行

**類題** (A)(D)

- (B)行星在甲處受力最大，加速度最大
- (C)行星在甲處（近日點）公轉速率最快

**範例 7** (B)(C)(E)

- (B)金屬球會因靜電感應而使其右邊出現淨負電荷、左邊出現淨正電荷；這些電荷和玻璃棒上的正電荷會造成淨引力，如右圖示
- (C)金屬球內的自由電子會向右邊聚集，但電子總數不變
- (D)正電荷是原子核內的質子，質子分布不受靜電感應影響
- (E)金屬球右邊負電荷分布密度大於正電荷，金屬球左邊負電荷分布密度小於正電荷，故造成局部的淨電荷出現



**類題** (D)

電荷可吸引異性電或電中性物體；其對電中性導體的引力來自於靜電感應效應，而對電中性絕緣體的引力來自於電極化的效應

**範例 8** 5

$$F = \frac{kq \times 2q}{r^2} \dots \textcircled{1}$$

$$\text{置入 C 後，A 受力 } F' = \frac{kq \times 3q}{\left(\frac{r}{2}\right)^2} - \frac{kq \times 2q}{r^2} \dots \textcircled{2}$$

$$\frac{\textcircled{2}}{\textcircled{1}} \Rightarrow F' = 5F$$

**類題** (D)

$$F = \frac{k \times 3q \times q}{r^2} \dots \textcircled{1}$$

$$\text{兩球接觸後總電荷} = (+3q) + (-q) = 2q$$

$$\Rightarrow \text{兩球各帶電 } q, F' = \frac{k \times q \times q}{(2r)^2} \dots \textcircled{2}$$

$$\frac{\textcircled{2}}{\textcircled{1}} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{1}{12} \Rightarrow F' = \frac{F}{12}$$

**範例 9** (A)(B)

原圖中兩磁棒之磁極處磁力線是互斥的，因此可見相鄰的磁極皆為同名極

**類題** (C)

- (A)磁棒外的磁力線應由 N 極指向 S 極
- (B)同名極相斥，磁力線應互相推擠
- (D)異名極相吸，磁力線應互相連結



# 範例 10 (C)(D)

- (B)強力和弱力均為極短程力，作用範圍都在原子核內  
(C)相對強度：強力 > 電磁力 > 弱力 > 重力  
(D) $\beta^-$  衰變：中子  $\rightarrow$  質子 + 電子 + 反微中子  
(E)原子核內的粒子間互相皆有強作用力

## 類題 (D)(E)

- (A)兩原子核間距離太遠，強力不起作用  
(B)原子核和電子之間、電子和電子之間主要是電磁力作用  
(C)(D)原子間的鍵結主要是靠電磁力作用  
(E)兩個氫核聚合成氦核時，會有質子轉變成中子（質子 + 質子  $\rightarrow$  氦原子核 + 正子 + 微中子），故涉及弱作用力

# 範例 11 (B)

質子間相距  $< 10^{-15}$  m 時，其間最大的作用力即為強力；相距  $> 10^{-15}$  m 時，同時有電磁力與重力的作用，但電磁力遠大於重力

## 類題 (D)

四種基本力的有效作用距離範圍是：電磁力  $\rightarrow$  無限遠，萬有引力  $\rightarrow$  無限遠，強力  $\rightarrow$  短於  $10^{-15}$  m，弱力  $\rightarrow$  短於  $10^{-18}$  m

# 範例 12 (B)(D)

木塊所受的重力是地球對木塊的萬有引力；繩張力、彈力則都是分子或原子間電磁力的表現

## 類題 (C)(D)

重力是萬有引力，壓力或浮力都是分子或原子間的電磁力表現

## 科學素養試題

試題參見講義 P.34 ~ 35

1.(E) 2.(A)(C)(D) 3.(D)

1.  $1\text{ fm} = 10^{-15}\text{ m}$ ，亦可由文中提到強力是在原子核內的作用，判知其範圍應約在  $10^{-14} \sim 10^{-15}\text{ m}$  的尺度

2. 科學家的比喻，可參考以下對照表

|         | 氫分子的組成       | 原子核的組成        |
|---------|--------------|---------------|
| 作用力類型   | 電磁力          | 強作用力          |
| 主要效應（強） | 使電子與質子結合成氫原子 | 使夸克結合成質子與中子   |
| 殘留效應（弱） | 使氫原子再結合成氫分子  | 使質子與中子再結合成原子核 |

- (A)氫原子內的質子與電子  $\rightarrow$  核子內的各種夸克  
(B)(C)氫原子  $\rightarrow$  核子（質子或中子）  
(D)氫原子組成氫分子  $\rightarrow$  核子（質子或中子）組成原子核  
(E)①氫原子內質子與電子之間較強的電磁力  $\rightarrow$  核子內夸克之間較強的強作用力

②氫原子之間較弱的電磁力（鍵結） $\rightarrow$  核子（質子或中子）之間較強的強作用力

3.【測驗能力】發現問題：依據選定的問題提出想法、假說或模型

(A)在希格斯場提出以前，科學家們就已經提出問題：「夸克的巨大質量從哪裡來？」

(B)(C)(E)歐洲核子研究組織規劃大強子對撞機的實驗，實驗結果發現希格斯子，驗證了希格斯場的理論

4.【測驗能力】表達與分享：對各類科學資訊進行評估與判斷

| 分類方式 (1) | 分類方式 (2) |
|----------|----------|
| (T)      | (甲)      |

希格斯子和夸克的質量（能量）都遠大於可見光的光子能量，希格斯子和光子皆是相互作用的中介粒子，夸克是組成物質的粒子

5.【測驗能力】表達與分享：反思探究成果的應用性、限制性，合乎邏輯的推論

| 空格答案 | 摘錄短文                                                                                                                                |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (T)  | 在大霹靂之初，宇宙間還沒有粒子具有質量，但是希格斯場已經充斥宇宙的每一個角落，當粒子與希格斯場相互作用，夸克等粒子便獲得質量，希格斯子是希格斯場的振動所生的中介粒子<br>【無法得分或只能得到部分分數的答案】<br>空格答案填(T)，但無摘錄短文或是短文摘錄錯誤 |

## 模擬精選試題

試題參見講義 P.36 ~ 39

1.(D) 2.(D) 3.(D) 4.(B) 5.(A) 6.(C) 7.(D) 8.(B)(C)  
9.(C) 10.(E) 11.(A) 12.(D) 13.(E) 14.(C) 15.(B) 16.(B)  
17.(B)(E)

1.(A)微粒的質量愈小時，因分子碰撞而使微粒產生的加速度會愈大，布朗運動也愈明顯

(B)微粒的布朗運動是水分子的碰撞造成的

(C)布朗運動的數學理論首先是由愛因斯坦提出

(D)任何微小粒子只要夠小、夠輕，在液體和氣體中受到環境中分子的碰撞，都會出現布朗運動

(E)微粒的布朗運動用光學顯微鏡即可看到

2.若將水分子一個接著一個鋪滿操場表面，需用去總體積  $V = 8000 \times (3 \times 10^{-10}) = 2.4 \times 10^{-6}\text{ m}^3 = 2.4\text{ cm}^3$ ，需用水總質量  $m = 1 \times 2.4 = 2.4$ （克）

3.只有(D)才能組合出正確的質子帶電量：

$$\left(+\frac{2}{3}e\right) \times 2 + \left(-\frac{1}{3}e\right) = +e$$

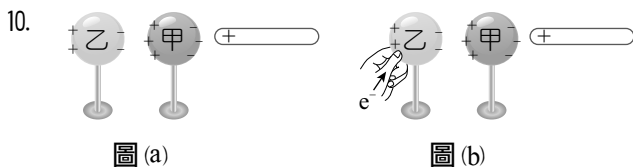
4.(A)電子是輕子的一種，輕子不由夸克組成

(B)共有上、下、奇、魅、頂、底六種夸克

- (C)質子、中子都是由夸克組成的  
 (D)夸克的帶電量可為電子的  $\frac{1}{3}$  和  $\frac{2}{3}$   
 (E)夸克所帶的電性有正也有負
- 5.(A)(B)(C)  $^{12}\text{C}$  有 6 個質子、6 個中子， $^{14}\text{C}$  有 6 個質子、8 個中子  
 (D)碳的穩定同位素還有  $^{13}\text{C}$ ，在自然界中的含量約占 1%  
 (E)因  $^{12}\text{C}$  含量遠大於  $^{14}\text{C}$ ，故碳的原子量主要由  $^{12}\text{C}$  決定
- 6.(A)碘 -131 的質量較碘 -127 大  
 (B)(C)(D)因為碘 -127 和碘 -131 的核外電子結構相同，故會有相同的化學性質，而人體甲狀腺處一旦有了足量的碘就不會再吸收了，故而可以避免吸收到碘 -131  
 (E)碘 -131 對人體的傷害來自輻射線而非化學性質
7.  $^{127}_{53}\text{I}$  的原子核內有 53 個質子、74 個中子、質量數 127，核外有 53 個電子； $^{131}_{53}\text{I}$  的原子核內有 53 個質子、78 個中子、質量數 131，核外有 53 個電子
- 8.(B)重力作用下物體的加速度應與距離平方成反比，但圖示為正比關係，故知 X 應為距離平方的倒數  
 (C)設地球半徑  $R$ ，則蘋果、同步衛星、月球距地心各約  $R$ 、 $6.7R$ 、 $60R$ ，故 P、Q、S 依序標示的是蘋果、同步衛星、月球

$$9. F = ma \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{\left(\frac{GMm}{r^2}\right)}{m} = \frac{GM}{r^2} \propto \frac{1}{r^2}$$

故  $\frac{a_A}{a_B} = \left(\frac{4R}{2R}\right)^2 = \frac{4}{1}$  (本題應先將衛星距地表之高度換算成其距地心之距離)



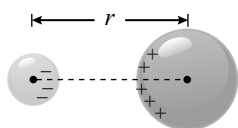
帶正電玻璃棒自右方靠近甲球時，甲、乙兩球右方都有感應負電荷，左方都有感應正電荷，如圖(a)。以手觸摸乙球時，乙球左方的感應正電荷會被中和，使乙球帶淨負電，如圖(b)。故最後結果為乙球帶負電，甲球電中性，但乙球對甲球的靜電感應會使兩者間出現互相吸引的靜電引力

$$11. \frac{F_e}{F_g} = \frac{kQq}{GMm} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{6.67 \times 10^{-11} \times 1.67 \times 10^{-27} \times 9.1 \times 10^{-31}} \approx 10^{39}$$

【註】(1)本題中各個答案數量級差異甚大，故可用上列數據中之冪次方項直接估算即可

(2)由本題的答案亦可看出在討論原子的結構時，萬有引力是可以合理的被忽略不計

- 12.金屬球是導體，兩球上的異性電荷會因相吸而向中間聚集，如右圖，這導致兩球之間之靜電引力大於當電荷均勻分布於球體時的狀況，即



$F_1 > \frac{kQq}{r^2}$ 。但因電子質量可不計，故兩球質量仍是均勻分布，故  $F_2 = \frac{GMm}{r^2}$

- 13.(A)並非所有的粒子在很近的距離時都會出現強作用力  
 (B)(C)質子—中子、質子—質子、中子—中子間都可以出現強作用力  
 (D)質子相距  $10^{-10}\text{m}$  時，強作用力近乎消失  
 (E)質子相距  $< 10^{-15}\text{m}$  時，強作用力  $>$  靜電力
- 14.(A)行星繞日運動是萬有引力作用  
 (B)氣體放電現象也屬電磁力作用  
 (C)弱交互作用導致中子出現  $\beta$  衰變  
 (D)(E)離子鍵、凡得瓦力屬電磁力作用
- 15.四種基本交互作用力的相對強弱關係：強力  $>$  電磁力  $>$  弱力  $>$  萬有引力，相對強度比約為  $100:1:10^{-4}:10^{-36}$
- 16.強作用力是原子核內核子間的吸引力
- 17.因為微中子不會承受強作用力及電磁力，故應由重力及弱作用力的效應切入進行偵測

### 歷屆經典考題

試題參見講義 P.39 ~ 43

|           |              |                         |                          |           |
|-----------|--------------|-------------------------|--------------------------|-----------|
| 1.(D)     | 2. 25 埃      | 3. $3.2 \times 10^{20}$ | 4. $1.35 \times 10^{22}$ | 5.(C)     |
| 6.(D)     | 7.(A)(D)     | 8.(D)                   | 9.(C)                    | 10.(A)(D) |
| 11.(C)    | 12.(C)(D)(E) | 13.(A)                  | 14.(D)                   | 15.(C)    |
| 16.(A)(E) | 17.(B)(C)    | 18.(C)(E)               | 19.(E)                   | 20.(D)    |
| 21.(D)    | 22.(B)(C)(E) | 23.(B)                  | 24.(E)                   |           |

$$1. F = \frac{kq_1q_2}{r^2} \propto \frac{q_1}{r^2} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{2q_1}{q_1} \times \left(\frac{r}{2r}\right)^2 = \frac{1}{2}$$

2.設油在湖面上擴張成薄膜後其體積不變，而薄膜厚度  $d$  (即油分子大小)，則  $5 = 2 \times 10^7 \times d$

$$\Rightarrow d = 2.5 \times 10^{-7} \text{ cm} = 25 \text{ 埃}$$

3.設一茶匙油的總體積 =  $N$  個分子的體積之和

$$\Rightarrow 5 = N \times (2.5 \times 10^{-7})^3$$

$$\Rightarrow N = 3.2 \times 10^{20} \text{ (個)}$$

4.一茶匙油的質量  $m = d \times V = 0.95 \times 5 = 4.75$  克

$$\text{設每莫耳分子數為 } N_0, \text{ 則 } \frac{N_0}{3.2 \times 10^{20}} = \frac{200}{4.75}$$

$$\Rightarrow N_0 \approx 1.35 \times 10^{22} \text{ (個)}$$

5.(A)(B)機上乘客、人造衛星內的裝備都有受到地球的重力作用

(C)人造衛星的初速配合上地球的重力作用恰可使其維持等速率圓周運動

(D)飛機須以燃料提供動力以對抗空氣阻力

6.假設溴的兩個同位素之中子數分別為  $n_1$ 、 $n_2$ ，則兩者的質量數分別為  $35 + n_1$ 、 $35 + n_2$ ，又題述含量各為 50%，

$$\text{故 } \frac{1}{2}(35 + n_1) + \frac{1}{2}(35 + n_2) = 80 \Rightarrow n_1 + n_2 = 90$$

只有選項(D)符合此一條件

7.(A)(B)人體皮膚、頭髮均為導體，故接觸金屬球後，頭髮會帶同性電荷而互斥豎起

(C)(D)塑膠凳會將身體與地面絕緣，故電流不會經身體流向地球，故不被電擊

(E)人體電阻不是太大，算是容易導電的

8. 元素 X 的原子量

$$= 0.1991 \times 10.0129 + 0.8009 \times 11.0093 \approx 10.81$$

9. X 原子的總電子數 = 質子數 = 5，扣除內層軌域 2 個電子，最外層尚有 3 個電子

10. 萬有引力指向圓周軌道的圓心，為衛星繞地球運轉所需的向心力。衛星的加速度和其受力同向指向地心，是改變運動方向的法線加速度

11.  $^{210}_{84}\text{Po}$ ：質子數 84，中子數 =  $210 - 84 = 126$

$^{226}_{88}\text{Ra}$ ：質子數 88，中子數 =  $226 - 88 = 138$

故兩者中子數相差 =  $138 - 126 = 12$

質子數相差 = 電子數相差 =  $88 - 84 = 4$

$^{210}_{84}\text{Po}$  (釷) 和  $^{226}_{88}\text{Ra}$  (鐳) 都是居里夫人發現的天然放射性元素

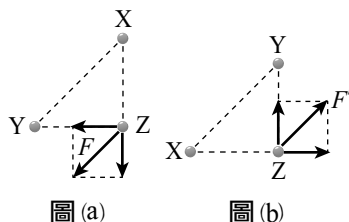
12. 核子間都是藉由強作用力互相吸引而結合成原子核

13. 自然界並不存在原子量 107.9 amu 的銀原子

14. 原圖表示 X 對 Z 為斥力，

Y 對 Z 為引力，如圖(a)。

若將 X、Y 位置互換，則作用力關係如圖(b)



15. 中子的  $\beta$  衰變主要涉及的就是弱力作用

16. (A) 電中性金屬球被靜電感應後與帶正電點電荷互相吸引，兩作用力大小相等、方向相反

(B) 兩正電荷應互相排斥

(C)(D) 物體間相互作用力應大小相等

(E) 異名極相吸，兩作用力大小相等、方向相反

17. (A)(C) 原子核內的質子之間有重力、靜電力以及強力

(B) 弱力只能出現在小於原子核的空間範圍內，靜電力與重力的作用範圍則是無限

(D) 原子核內的質子與核外的電子間只有靜電力與甚小的重力

(E) 只有重力和靜電力的量值是與距離的平方成反比

18. (A)  $\alpha$  粒子與電子間有靜電引力

(B)(D)(E)  $\alpha$  粒子的大角度散射是因為受到集中於原子核處正電荷的靜電斥力

(C) 電子損失能量時系統力學能減少，電子會更接近原子核

19. 因為原子核內的中子或質子之間皆有強力作用，故甲、乙敘述正確。因為弱力作用範圍最短且牛頓未測量蘋果與地球間重力隨距離變化關係（因能夠改變的距離太小），故丙、丁皆錯

20. 原子的直徑約 0.1 nm

$$\frac{n}{N}(100\text{ nm}) = \frac{(100 \div 0.1)^2}{(100 \div 0.1)^3} = \frac{10^6}{10^9} = 10^{-3} \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{n}{N}(1.0\text{ cm}) = \frac{(10^7 \div 0.1)^2}{(10^7 \div 0.1)^3} = \frac{10^{16}}{10^{24}} = 10^{-8} \dots \textcircled{2}$$

$$\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{2}} \text{ 得所求} = \frac{10^{-3}}{10^{-8}} = 10^5$$

21. (A)(B)(C) 題述防靜電工作服需導電性高，故使用金屬、導電纖維等材料均屬合理

(D) 電阻愈大則愈不利於電荷流動

(E) 適當的接地或放電，可防止工作服累積太多靜電荷

22. (A) 摩擦力與正向力的來源是兩物體接觸面上分子間的電磁作用力

(D) 因弱交互作用的範圍甚小，發生的機率也較強交互作用小，故原子核內的中子不易發生衰變。若中子極易衰變，自然界中就沒有穩定存在的原子了

23. (B) 圖中左端電荷受靜電力  $F = \frac{k(2Q)Q}{R^2} + \frac{k(2Q)(2Q)}{(2R)^2} = \frac{3kQ^2}{R^2}$  (向左)，此為各選項中之極大值

24. (丙) 1911 年拉塞福發現原子核的存在，(乙) 1933 年波耳的氫原子模型中設定電子只在特定的穩定態軌道運行，(甲) 1964 年蓋爾曼提出夸克組成質子和中子的理論

### 3 物體的運動

試題參見講義 P.47 ~ 63



#### 運動的描述

範例 1 (1) 42 (2) 30；下

(1) 路徑長  $\Delta \ell = 6 + 36 = 42$  (公尺)

(2) 位移  $\Delta \vec{x} = (-30) - 0 = -30 = 30$  (公尺)

向下 (此計算式中設向下為負向，且原高度設為 0 值)

類題 (B)

$$\Delta \ell : \Delta y = (20 + 5) : (20 - 5) = 25 : 15 = 5 : 3$$

範例 2 (A)(B)(D)

(A) 平均速率  $v_{0-3} = \frac{6}{3} = 2$  (m/s)

(B) 平均速率  $v_{0-5} = \frac{12}{5} = 2.4$  (m/s)

(C) 平均速度  $v_{0-5} = \frac{0}{5} = 0$

(D) 第 5 秒末的瞬時速率  $v_5 =$  平均速率  $v_{3-5} = \frac{6}{2} = 3$  (m/s)

(E) 平均速度  $v_{0-11} = \frac{18}{11}$  (m/s)

類題 (A)(C)(D)

(A)  $|\vec{v}_{av}| = \frac{20}{20} = 1.0$  (m/s) (B)  $t = 20$  秒時，物體為靜止

(C)  $v_{av} = \frac{20}{10} = 2.0$  (m/s)

(D)  $v_{av} = \frac{20 + 20}{40} = 1.0$  (m/s)

(E)  $|\vec{v}_{av}| = \frac{0}{40} = 0$  (m/s)